

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

ВЫПУСКНАЯ  
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ПРОВЕРЕНА

Рецензент,  
Директор ООО «Ремстроймонтаж»  
\_\_\_\_\_ К.А. Хасанов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой  
«Промышленная теплоэнергетика»  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ К.В. Осинцев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Выбор источника теплоснабжения для ЦППН-7 Приобского месторождения  
ХМАО-Югра ООО «РН-Юганскнефтегаз»**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА  
ЮУрГУ–13.03.01.2020.425.05 ПЗ ВКР

Консультант по разделу  
«Безопасность жизнедеятельности»,  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ И.П. Палатинская

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Руководитель работы,  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Т.Б. Жиргалова

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы  
студент группы ПЗ–579

\_\_\_\_\_ А.В. Киржацких

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Консультант по разделу  
«Экономика и управление»,  
старший преподаватель

\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер,  
старший преподаватель

\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск 2020

## АННОТАЦИЯ

Киржацких А.В. Выбор источника теплоснабжения для ЦППН-7 Приобского месторождения ХМАО-Югра ООО «РН-Юганскнефтегаз». – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, ЗФ, 2020, 96 с., 17 ил., библиогр. список – 53 наим., 5 листов чертежей ф. А1, 2 демонстрационных листа ф. А1.

В связи со сменой теплоснабжающей организацией было принято решение о выборе источника теплоснабжения для ЦППН-7 Приобского месторождения.

Целью выпускной квалификационной работы (ВКР) является выбор источника теплоснабжения отвечающим потребностям завода в тепловой энергии

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

Задачами работы являются:

- расчет тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и ГВС;
- расчет и выбор типа регулирования тепловой нагрузки;
- выбор основного и вспомогательного оборудования для котельной;
- тепловой поверочный расчет выбранного котельного агрегата;
- выбор вспомогательного оборудования;
- выбор мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности;
- расчет концентрации оксидов азот и выбор минимальной высоты дымовой трубы;
- выбор оборудования системы КИПиА котельной;
- технико-экономическое обоснование выбранного источника теплоснабжения и разработка мероприятий по реализации проекта.

					<i>13.03.01.2020.425.05 ПЗ</i>							
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>		
<i>Выполнил</i>	<i>Киржацких А.В.</i>				<i>Выбор источника теплоснабжения для ЦППН-7 Приобского месторождения ХМАО-Югра ООО «РН-Юганскнефтегаз»</i>			<i>В</i>	<i>К</i>	<i>Р</i>	<i>3</i>	<i>96</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Жиргалова Т.Б.</i>											
<i>Н. Контр.</i>	<i>Алабугина Р.А.</i>											
<i>Зав. каф.</i>	<i>Осинцев К.В.</i>											
<i>ЮУрГУ Кафедра «Промышленная теплоэнергетика»</i>												

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ .....	7
2 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ РАЗРАБОТОК ПО ТЕМЕ ВКР .....	9
3 ВЫБОР ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ .....	14
3.1 Расчет тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и ГВС .....	14
3.2 Расчет температурного графика котельной .....	18
3.3 Выбор основного оборудования котельной .....	21
3.4 Тепловой расчет котла .....	24
3.4.1 Расчет объемов и энтальпий воздуха и продуктов сгорания	24
3.4.2 Тепловой баланс котла и расчет расхода топлива .....	27
3.4.3 Поверочный расчет топки .....	29
3.4.4 Поверочный расчет конвективного пучка .....	33
3.4.5 Расчет невязки теплового баланса водогрейного котла .....	34
3.5 Тепловая схема котельной .....	35
3.6 Химводоподготовка .....	38
3.7 Выбор вспомогательного оборудования .....	41
4 НАУЧНАЯ ЧАСТЬ. ВЫБОР ГОРЕЛОК ДЛЯ ЖАРОТРУБНЫХ КОТЛОВ .....	48
5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ОБОРУДОВАНИИ КОТЕЛЬНОЙ .....	59
5.1 Предлагаемые методы энергосбережения .....	59
5.2 Энергосбережение водогрейных котлов .....	60
6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ .....	63
6.1 Определение объемов продуктов сгорания топлива .....	63
6.2 Определение минимальной высоты дымовой трубы .....	66
7 АВТОМАТИЗАЦИЯ .....	70
8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	75
8.1 Мероприятия по безопасности здания котельной .....	78
8.2 Тепловая изоляция .....	79
8.3 Безопасность топливоподачи .....	79
8.4 Мероприятия по обеспечению условий безопасности трудового процесса .....	80
9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ .....	83
9.1 Техничко-экономический расчет .....	83
9.1.1 Расчет капитальных затрат на строительство блочно-модульной котельной ARTMK300 .....	83
9.1.2 Расчет капитальных затрат на строительство блочно-модульной котельной «Термотехник» ТТ100 .....	85
9.1.3 Определение текущих затрат на обслуживание блочно-модульной котельной ARTMK300 .....	87
9.1.4 Определение текущих затрат на обслуживание блочно-модульной котельной «Термотехник» ТТ100 .....	89

9.1.5	Сравнение вариантов технических решений и выбор лучшего .....	90
9.2	SWOT-анализ вариантов технических решений .....	90
9.3	Планирование целей предприятия и проекта .....	91
9.4	Планирование мероприятий по реализации проекта (график Ганта) .....	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....		93
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....		94

## ВВЕДЕНИЕ

Тепловая энергия – один из основных видов энергии, используемых человеком для обеспечения необходимых условий его жизнедеятельности. Благодаря изобретению парового двигателя и перехода от использования мускульной силы рабочих на энергию пара и воды в первых машинах, произошла первая индустриальная революция. Прогресс не стоит на месте, он движется семимильными шагами и мы стоим на пороге четвертой индустриальной революции – «Индустрии 4.0». Данный этап связывают с развитием искусственного интеллекта, уже сейчас появляются «умные» (автоматизированные) котельные, которые работают без непосредственного участия человека, и управлять которыми можно через сеть интернет.

Постепенно переходит замена старого, мало эффективного оборудования на более новое, современное, энергоэффективное. Широко внедряются энергосберегающие технологии, технологии экономии топлива и энергии на собственные нужды.

Современная котельная оборудуется весьма сложными котлоагрегатами, оснащенными контрольно-измерительной аппаратурой (КИП), средствами автоматизации и дистанционного контроля которые должны не только обеспечивать бесперебойное и качественное теплоснабжение предприятия, и но быть энергоэффективными, и легко, без участия человека, выходить в сеть и получать и передавать необходимую для работы информацию. Помимо основного оборудования в котельной есть и вспомогательное – предназначенное для подготовки и подачи топлива, воды, воздуха для горения, чистки и удаления продуктов сгорания.

Системы теплоснабжения предприятия состоит из теплогенерирующей установки, где производится теплоноситель; системы водяных тепловых сетей и водопроводов, которые транспортируют теплоноситель до потребителя; и теплопотребляющего оборудования, которое используется для отопления производственных и других помещений, подогрева холодного наружного воздуха, направляемого на вентиляцию помещений, подогрева воды для санитарных нужд работников предприятия.

Одним из наиболее ответственных этапов при выборе систем теплоснабжения промышленных предприятий является расчет тепловых нагрузок, так как расход тепла характеризуется большой неравномерностью. Тепловые нагрузки условно можно разделить на две группы – круглогодичные и сезонные. Как видно из названия, для покрытия круглогодичных нагрузок тепло отпускается на протяжении всего года, для покрытия сезонных – тепло отпускается только в определенный сезон (отопление, кондиционирование воздуха и вентиляция).

					13.03.01.2020.425.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6



В котельной предполагается использовать котлы серии RD-S, которые имеют горизонтальную цилиндрическую топку, образованную оребренными трубами, расположенными по окружности и соединенными в змеевик. Топка котла снаружи заключена в герметичный газовый короб. Продукты сгорания из топки проходят между оребренными экранными трубами, отдавая им тепло, и попадают в газовый короб, откуда удаляются через газоход.

Преимущества котлов RD-S:

- высокий КПД – 91%;
- низкий уровень затрат на эксплуатацию и обслуживание;
- широкий диапазон регулирования производительности;
- конструкция котла позволяет использовать различные варианты комплектации КИПиА;
- возможен перевод котла с одного вида топлива на другой;
- возможность установки горелок для разного вида топлива.

					<i>13.03.01.2020.425.05 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						8
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		









Высокая скорость циркуляции теплоносителя в топочных трубах позволяет в несколько раз снизить отложения накипи на стенках труб и увеличивает интенсивность теплообмена.

Невозвратная геометрия пламени позволяет использовать в изоляции крышки легкие эффективные огнеупорные материалы с возможностью легкой замены.

Малое тепловое напряжение топки позволяет поддерживать низкие выбросы NOx в дымовых газах даже с недорогими горелками.

Назначение – котлы серии RS-D являются водогрейными водотрубными котлами гидронного типа с газоплотной топкой, работающими на природном и сжиженном газе и легком дизельном топливе.

Сферы применения – системы отопления и вентиляции, горячее водоснабжение промышленных, административных, коммунально-бытовых и сельскохозяйственных объектов, обеспечение тепловой энергией технологического оборудования.

Котлы RS-D производятся серийно в диапазоне номинальной мощности от 250 кВт до 10000 кВт. Котлы RS-D имеют устойчивые несущие опоры и могут быть установлены на ровном прочном полу без дополнительного фундамента.

Сравним по основным показателям (таблица 2.1) котлы RS-D и котлы серии Термотехник ТТ 100, производства ГК «Термотехник»

Таблица 2.1 – Сравнение RS-D 3500, RS-D 5000 и ТТ 100

Наименование параметра	Модель котла		
	RS-D 3500	RS-D 5000	ТТ 100
Номинальная мощность, МВт	3,5	5	5
Вид топлива	природный газ, дизельное топливо		
Максимальная температура воды на выходе, °С	110	110	140
Минимальная температура воды на входе в котел, °С	50	50	60
КПД, %	95	95	91
Масса, кг	5600	7500	7800
Габариты, Д×Ш×В, мм	5165×1925×2528	7160×1925×2275	7064×1944×2228
Максимальное рабочее давление, МПа	0,8	0,8	0,8
Стоимость, тыс. руб.	1150	1200	1430

При выборе оборудования большое значение имеет стоимость оборудования, доставка и удобство обслуживания. Кроме того, котлы «RS-D» имеют устойчивые несущие опоры и могут быть установлены на ровном полу без дополнительного фундамента.

Подводя итог вышесказанному, принято решение об установке котлов производства ООО «Завод Котельного Оборудования» г. Туймазы как так данные котлы максимально полно соответствуют условиям эксплуатации, отличаются надежностью, и цена у них ниже, чем у аналогичных котлов других производителей.

					13.03.01.2020.425.05 ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 3 ВЫБОР ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Каждая система теплоснабжения состоит из следующих основных элементов: источника тепловой энергии, тепловой сети, абонентских вводов и местных систем потребителей теплоты.

#### 3.1 Расчет тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и ГВС

Теплотехнический расчет тепловой нагрузки, потребителем которой является завод ЦППН-7, начнем с определения максимального часового и годового расхода тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

Технологический процесс котельной представляет собой передачу тепла и энергии водогрейным котлам.

Основное назначение системы теплоснабжения состоит в обеспечении потребителей необходимым количеством теплоты требуемого качества, то есть теплоносителем определенных параметров.

На заводе источник теплоты и теплоприемники потребителей размещены отдельно, поэтому теплота от источника до потребителя передается по тепловым сетям и теплоснабжение происходит от одного источника теплоты нескольким группам потребителей.

Процесс теплоснабжения состоит из трех последовательных операций:

- подготовка теплоносителя;
- транспортировка теплоносителя;
- использование теплоносителя.

Тепловая энергия потребляется предприятием в виде тепла. Теплоносителем является горячая вода. Основными потребителями тепловой энергии являются системы отопления, вентиляции, горячего водоснабжения. Система теплоснабжения закрытая.

Для определения необходимой мощности котельной определим максимальные часовые нагрузки по укрупненным параметрам.

В таблице 3.1 представлены климатические характеристики для ЦППН-7.

Таблица 3.1 – Климатические характеристики для ЦППН-7

Параметр	°С
Расчетная температура $t_{н.о}$	-35
Средняя температура за отопительный период,	-5,9
Средняя температура самого холодного месяца	-13,8
Продолжительность отопительного периода, час	5060

Число часов за отопительный период в ЦППН-7 Приобского месторождения представим в таблице 3.2.



Таблица 3.4 – Удельный расход тепла на отопление и вентиляцию

Название объекта	Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий $q_o$ , Вт/м <sup>2</sup> ·°С
АБК	0,359
ХАЛ	0,359
Стоянка резервной техники	0,255
Операторная	0,255
Склад	0,255
Насосная внешней перекачки	0,255
Столовая	0,255
Пожарное депо	0,255
Насосная станция очищенных стоков	0,255
ПНС	0,255
ВОС	0,313

Расчет годовых расходов тепла на отопление, вентиляцию определим по формуле (3.2):

$$Q_o^{ГОД} = 24 \cdot Q_{max}^0 \cdot \frac{t_{вн} - t_{ср.о}}{t_{вн} - t_{но}} \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (3.2)$$

где  $n$  – продолжительность отопительного периода, дн.;

Расчет максимальный часовых расходов на горячее водоснабжение определим по следующим формулам (3.3):

$$Q_{max1}^{ГВС} = \frac{q_G \cdot n_{П}}{t_1 - t_2} \cdot 1000, \quad (3.3)$$

где  $q_G$  – удельный расход горячей воды на одного потребителя, л/чел.;

$n_{П}$  – количество потребителей, чел.;

$t_1$  – температура горячей воды,  $t_1 = +65^\circ\text{C}$ ;

$t_2$  – температура холодной воды,  $t_2 = +5^\circ\text{C}$ ;

А также по формуле (3.4):

$$Q_{max2}^{ГВС} = G_{ГН}^{МАКС} \cdot (t_1 - t_2) \cdot C \cdot 10^{-3}, \quad (3.4)$$

где  $G_{ГН}^{МАКС}$  – максимально-часовой расход горячей воды, т/ч;

$a$  – норма расхода горячей воды на одного потребителя, л/сут;

$k$  – коэффициент часовой неравномерности потребления горячей воды.

И по формуле (3.5):

$$G_{ГН}^{МАКС} = a \cdot n_{П} \cdot k \cdot 10^{-3} \quad (3.5)$$

Расчет годовых расходов тепла на горячее водоснабжение определим по формуле (3.6):

$$Q_{ГВС}^{ГОД} = \left( Z \cdot Q_{max}^{ГВС} \cdot n + Z \cdot Q_{max}^{ГВС} \cdot \frac{65-t_{хл}}{65-t_{хз}} \cdot (365-n) \right) \cdot 10^{-6} \quad (3.5)$$

где  $Z$  – время потребления горячей воды в течении суток;

$t_{хл}$  – температура холодной воды летом,  $t_{хл}=15^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{хз}$  – температура холодной воды зимой,  $t_{хз}=5^{\circ}\text{C}$ .

Подставляем значения в формулы, полученные данные сводим в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Потребность в тепле промышленного предприятия

Наименование потребителя	Расход, МВт (Гкал/час)		
	Отопление и вентиляция	ГВС	Итого
АБК	2,048 (1,761)	–	2,048 (1,761)
ХАЛ	5,750 (4,944)	–	5,750 (4,944)
Стоянка резервной техники	0,141 (0,120)	–	0,141 (0,120)
Операторная	0,130 (0,112)	–	0,130 (0,112)
Склад	0,130 (0,112)	–	0,130 (0,112)
Насосная внешней перекачки	0,124 (0,107)	–	0,124 (0,107)
Столовая	1,302 (1,120)	0,060 (0,052)	1,362 (1,172)
Пожарное депо	0,452 (0,387)	0,100 (0,086)	0,550 (0,473)
Насосная станция очищенных стоков	0,600 (0,516)	0,060 (0,052)	0,660 (0,568)
ПНС	0,125 (0,107)	0,046 (0,040)	0,171 (0,147)
ВОС	0,989 (0,850)	1,020 (0,877)	2,009 (1,727)
<b>ИТОГО:</b>	<b>11,788(10,136)</b>	<b>1,286 (1,107)</b>	<b>13,074(11,243)</b>

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что для нужд отопления, вентиляции и горячего водоснабжения ЦППН-7 требуется котельная мощностью 13,5 МВт.



### 3.2 Расчет температурного графика котельной

Тепловую нагрузку можно разделить на сезонную и круглогодичную. Изменение сезонной нагрузки зависит главным образом от климатических условий – температуры наружного воздуха, его влажности, скорости ветра, солнечной радиации и т.п. Основную роль играет изменение температуры наружного воздуха. Сезонная нагрузка имеет сравнительно постоянный суточный график и переменный годовой. К сезонной нагрузке относят нагрузки отопления, вентиляции (зимние нагрузки), кондиционирования (летняя нагрузка). К круглогодичной нагрузке относятся нагрузка горячего водоснабжения (ГВС) и технологическая нагрузка. График технологической нагрузки зависит от характера производства. График нагрузки ГВС зависит от благоустройства зданий, состава населения, графика рабочего дня, режима работы коммунальных предприятий. Технологическая и нагрузка ГВС слабо зависят от времени года.

Тепловая нагрузка в течение отопительного сезона меняется. Поэтому для поддержания требуемого теплового режима тепловую нагрузку необходимо регулировать. Различают центральное, групповое, местное и индивидуальное регулирование. Центральное регулирование осуществляется на ТЭЦ и котельных. Групповое – на групповых тепловых подстанциях (ГТП). Местное – на местных тепловых подстанциях (МТП). Индивидуальное – непосредственно у абонентов. Если тепловая нагрузка у всех потребителей примерно одинакова, то можно ограничиться центральным регулированием. В большинстве же случаев тепловая нагрузка неоднородна. В этом случае центральное регулирование ведется по характерной тепловой нагрузке для большинства потребителей. В первую очередь это отопительная нагрузка и совместная нагрузка отопления и ГВС. Во втором случае расход воды в тепловой сети увеличивается незначительно по сравнению с регулированием по отопительной нагрузке или не меняется.

Расчет температурного графика котельной производится с целью определения общих тепловых нагрузок, которые состоят из внешних нагрузок и расходов теплоты на собственные нужды, и распределение этих нагрузок в отдельных частях котельной для обоснования выбора основного оборудования; а также нахождения тепловых и массовых потоков, необходимых для выбора вспомогательного оборудования, вычисления диаметров трубопроводов и арматуры. Исходные данные представлены ниже. Система теплоснабжения закрытая.

Основные исходные данные для расчета тепловой схемы котельной:

- температура воды в подающем трубопроводе  $\tau'_{01}=150^{\circ}\text{C}$ ;
- температура воды в обратном трубопроводе  $\tau'_{02}=70^{\circ}\text{C}$ ;
- температура воздуха внутри помещения  $t_{\text{в}}^{\text{п}}=17^{\circ}\text{C}$ ;
- расчетная температура наружного воздуха  $t_{\text{но}}=-35^{\circ}\text{C}$ ;
- температура воды, поступающая в системы отопления  $\tau'_{03}=95^{\circ}\text{C}$ ;

Перепад температур в тепловой сети определим по формуле (3.1):

$$\delta\tau'_0 = \tau'_{01} - \tau'_{02} \quad (3.6)$$

									Лист
									18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.425.05 ПЗ				

$$\delta\tau'_0=150-70=80\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Разность температур в системе отопления у потребителя определим по (3.7):

$$\theta'_0=\tau'_{03}-\tau'_{02} \quad (3.7)$$

$$\theta'_0=95-70=25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температурный напор нагревательного прибора определим по формуле (3.8):

$$\Delta t'_0=\frac{\tau'_{03}+\tau'_{02}}{2}-t_B \quad (3.8)$$

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

Относительную величину тепловой нагрузки определим по формуле (3.9):

$$\overline{Q}_o=\frac{Q_o}{Q'_o} \quad (3.9)$$

Температуру воды в подающей линии определим по формуле (3.10):

$$\tau_{01}=t_B+\Delta t'_0\cdot\overline{Q}_o^{0,8}+\overline{Q}_o\cdot(\delta\tau'_0-0,5\cdot\theta'_0) \quad (3.10)$$

Температуру воды в обратной линии определим по формуле (3.11):

$$\tau_{02}=t_B+\Delta t'_0\cdot\overline{Q}_o^{0,8}-0,5\cdot\overline{Q}_o\cdot\theta'_0 \quad (3.11)$$

Величину тепловой нагрузки на отопление находим из формулы (3.12):

$$Q_o^{+8}=Q'_o\cdot\frac{t_B-t_H}{t_B-t_{H.o.}} \quad (3.12)$$

Полученные данные сведем в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Качественного регулирования по отопительной нагрузке в закрытых системах теплоснабжения

Температура наружного воздуха $t_H$ , $^{\circ}\text{C}$	$Q_o$ , МВт	$\overline{Q}_o$	$\tau_{01}$ , $^{\circ}\text{C}$	$\tau_{02}$ , $^{\circ}\text{C}$
1	2	3	4	5
-35	11,788	1	150,0	70,0

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5
-20	11,227	0,(9)	111,7	54,7
-15	10,206	0,(8)	98,8	49,6
-10	8,798	0,(7)	86,0	44,5
-5	7,393	0,(5)	73,3	39,4
0	5,914	0,(4)	60,5	34,2
5	4,446	0,(3)	47,7	29,2
8	3,557	0,(2)	40,0	26,2

Построим температурный график по результатам вычислений (рисунок 3.1):

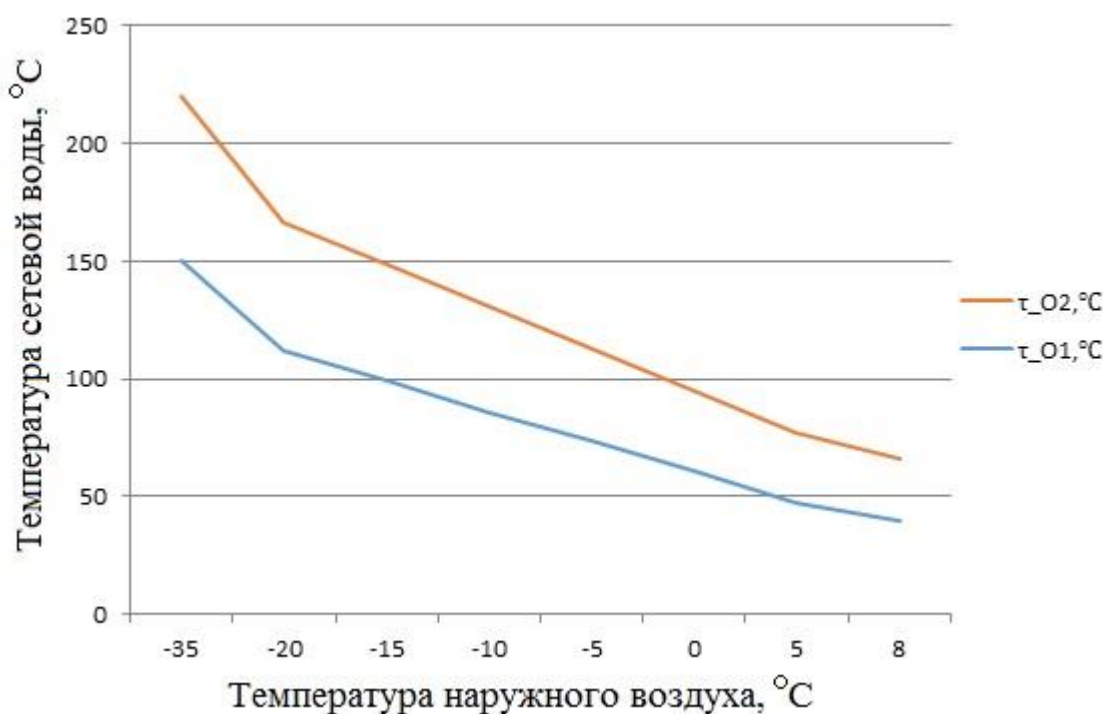


Рисунок 3.1 – График температуры теплоносителя при качественном регулировании по отопительной нагрузке в закрытой системе теплоснабжения

### 3.3 Выбор основного оборудования котельной

Котлы серии RS-D являются водогрейными водотрубными котлами гадронного типа с газоплотной топкой. Топливом для выбранных котлов является природный или сжиженный газ и легкое дизельное топливо.

Котлы серии RS-D имеют специальную «прощающую» конструкцию теплообменника, который свободно плавает в каркасе котла. Такая конструкция предусматривает возможность резкого охлаждения и нагрева без возникновения механических напряжений. Трубы теплообменника имеют форму змеевика, и жестко закреплены только на задней стенке котла. При такой конструкции тепловое расширение



трубы, радиационная и конвективная поверхность нагрева объединена в одно целое, что позволяет уменьшить металлоемкость, и снизить вес котла и габаритные размеры.

Для облегчения доступа к сварочным швам при ремонте, повороты труб вынесены за пределы топки, а для улучшения омыывания дымовыми газами и увеличения теплопередачи, снаружи на трубы топки установлены газовые рассекатели.

При заводской комплектации кроме котла поставляются:

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

В качестве горелочного устройства на котлах устанавливаются газовые модулирующие горелки F.V.R. серии «К».

В конструкцию горелок входит алюминиевый корпус, эффективно снижающий шум работающего оборудования. Продукция итальянской компании FBR характеризуется простотой обслуживания, энергоэффективностью и высокой надежностью. Агрегаты способны работать продолжительное время без утраты своих первоначальных качеств. При производстве горелок используются инновационные технологии и высококачественные комплектующие.

Количество котлов, устанавливаемых в котельной, следует выбирать по режиму наиболее холодного месяца – к установке принимаем 3 котла: «RS-D3500» – 1 штука и «RS-D5000» – 2 штуки, общей мощностью 13,5 МВт.

Технические характеристики котлов представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Технические характеристики котлов RS-D3500 и RS-D5000

Наименование	Параметры	
	2	3
1	2	3
Номинальная теплопроизводительность, кВт	3500	5000
Температура срабатывания предохранительного ограничителя, °С	110	110
Максимальное давление, бар	6	6
Макс. допустимый перепад температур Прям./Обр., °С	25	25
Минимально-допустимая температура обратного потока котла, °С	50	50
Полный объем воды, л	939	1224
КПД при полной нагрузке, %	94	94
КПД при частичной нагрузке (30%),%	96	96

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3
Температура отработанных газов при полной нагрузке, °С	145	145
Сопротивление в котле со стороны уходящих газов, мбар	6	6
Подсоединение к тепловой сети - прямой патрубок; - обратный патрубок	Фланец DN150, PN16 DN150, PN16	Фланец DN150, PN16 DN150, PN16
Транспортировочный вес котла, кг	5600	7500

### 3.4 Тепловой расчет котла

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

#### 3.4.1 Расчет объемов и энтальпий воздуха и продуктов сгорания

Состав природного газа по объему газового месторождения представлен в таблице 3.7

Таблица 3.7 – Состав природного газа газопровода Бухара-Урал

Газопровод	Состав газа по объему, %							$Q_H^C$ кДж/м <sup>3</sup>	$\rho_r^C$ кг/м <sup>3</sup>
	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>		
Бухара-Урал	94,9	3,2	0,4	0,1	0,1	0,9	0,4	36720	0,758

Действительное количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 м<sup>3</sup> топлива, должно быть несколько большим теоретического, так как при практическом сжигании топлива не все количество теоретически необходимого воздуха используется для горения топлива; часть его не участвует в реакции горения в результате недостаточного перемешивания воздуха с топливом, а также из-за того, что воздух не успевает вступить в соприкосновение с углеродом топлива и уходит в газоходы котла в свободном состоянии. Поэтому отношение количества воздуха, действительно подаваемого в топку, к теоретически необходимому называют коэффициентом избытка воздуха в топке и представлен в формуле (3.13):

$$\alpha_T = \frac{V_B^D}{V_B^O}, \quad (3.13)$$

где  $V_B^D$  — действительный объем воздуха, поданного в топку на 1 м<sup>3</sup> топлива.

Коэффициент избытка воздуха в общем случае зависит от вида сжигаемого топлива, его состава, типа горелок, способа подачи воздуха, конструкции топочного устройства и т.д. Для сжигания природного газа обычно принимают  $\alpha_T=1,05... 1,15$ .

Теоретический объем воздуха, необходимого для полного сгорания 1 м<sup>3</sup> природного газа (при  $\alpha_T=1$ ) определим по формуле (3.14):

$$V_B^O = 0,0476 \cdot \left[ 0,5 \cdot \text{CO}_2 + 0,5 \cdot \text{H}_2 + 1,5 \cdot \text{H}_2\text{S} + \sum \left( m + \frac{n}{4} \right) \cdot \text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2 \right] \quad (3.14)$$

$$V_B^O = 0,0476 \cdot \left[ \left( 1 + \frac{4}{4} \right) \cdot 44,1 + \left( 2 + \frac{6}{4} \right) \cdot 22 + \left( 3 + \frac{8}{4} \right) \cdot 5,2 + \left( 4 + \frac{10}{4} \right) \cdot 1,4 + \left( 5 + \frac{12}{4} \right) \cdot 0,3 \right] = 9,65 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Определим теоретический объем продуктов сгорания при сгорании 1 м<sup>3</sup> природного газа:

Теоретический объем азота в продуктах сгорания, формула (3.15):

$$V_{\text{N}_2}^O = 0,79 \cdot V_B^O + \frac{\text{N}_2}{100} \quad (3.16)$$

$$V_{\text{N}_2}^O = 0,79 \cdot 9,65 + \frac{27}{100} = 7,89 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Теоретический объем водяного пара в продуктах сгорания определим по формуле (3.17):

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^O = 0,01 \cdot \left[ \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2 + \sum \frac{n}{2} \cdot \text{C}_m\text{H}_n + 0,124 \cdot d_{\text{г.тл}} \right] + 0,0161 \cdot V_B^O \quad (3.17)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^O = 0,01 \cdot [2 \cdot 44,1 + 3 \cdot 22 + 4 \cdot 5,2 + 5 \cdot 1,4 + 6 \cdot 0,3 + 0,124 \cdot 10] + 0,01 \cdot 9,65 = 2,16 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Теоретический объем трехатомных газов в продуктах сгорания определим по формуле (3.18):

$$V_{\text{R}_2\text{O}}^O = 0,01 \cdot \left[ \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{S} + \sum m \cdot \text{C}_m\text{H}_n \right] \quad (3.18)$$

$$V_{R_2O}^0 = 0,01 \cdot [0,12 + 44,1 + 2 \cdot 22 + 3 \cdot 5,2 + 4 \cdot 1,4 + 5 \cdot 0,3] = 1,11 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Так как конструкция котла выполнена в газоплотном исполнении, присосов воздуха нет, коэффициент избытка воздуха в поверхностях нагрева примем  $\alpha = 1,05 = \text{const}$ . Характеристика продуктов сгорания представлена в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Характеристика продуктов сгорания в поверхностях нагрева

Величина	Топка	Конвективный пучок
Коэффициент избытка воздуха за газоходом, $\alpha''$	1,05	1,05
Коэффициент избытка воздуха средний, $\alpha_{\text{ср}}$	1,05	1,05
$V_{R1} = V_{N_2}^0 + (\alpha - 1) \cdot V^0, \text{ м}^3 / \text{м}^3$	9,11	9,11
$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0, \text{ м}^3 / \text{м}^3$	2,17	2,17
$V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{R_2} + V_{H_2O}, \text{ м}^3 / \text{м}^3$	11,28	11,28
$r_{RO_2} = V_{R_2O} / V_{\Gamma}$	0,09	0,09
$r_{H_2O} = V_{H_2O} / V_{\Gamma}$	0,19	0,19
$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}$	0,28	0,28

При тепловом расчете котлов для определения количества тепла, отданного газами в топке котла, газоходах и т.д. необходимо знать теплосодержание продуктов сгорания (количество тепла, необходимое для нагревания при постоянном давлении от  $0^\circ\text{C}$  до  $t$  продуктов, образовавшихся от сгорания 1 кг топлива.

Теплосодержание продуктов сгорания в приведено в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Теплосодержание продуктов сгорания в газоходах

$\vartheta, ^\circ\text{C}$	$I_B^0, \text{ кДж/м}^3$	$I_{\Gamma}^0, \text{ кДж/м}^3$	$I = I_{\Gamma}^0 + (\alpha'' - 1) \cdot I_B^0, \text{ кДж/м}^3$
			$\alpha_m'' = 1,05$
1	2	3	4
30	380,3	–	–
100	1289,5	1503,1	1567,5
200	2591,6	3035,4	3164,9
300	3918,8	4605,5	4801,4
400	5271,2	6217,4	6479,9
500	6657,0	7875,4	8208,2
600	8076,3	9562,7	9966,4
700	9533,3	11295,9	11772,6
800	11002,9	13087,9	13637,9
900	12468,3	14913,4	15536,7
1000	13975,5	16772,3	17470,9



Продолжение таблицы 3.9

1	2	3	4
1100	15524,7	18635,4	19411,6
1200	17073,8	20511,1	21364,8
1300	18618,7	22441,2	23372,1
1400	20209,6	24404,8	25415,3
1500	21800,6	26351,7	37251,8
1600	23387,5	28332,1	29501,4
1700	24978,4	30329,1	31578,1
1800	26565,2	32334,6	33662,9
1900	28193,9	34369,4	35779,1
2000	29826,7	36395,8	37837,1
2100	31455,4	38447,3	40020,1
2200	33084,1	40503,1	42157,3

### 3.4.2 Тепловой баланс котла и расчет расхода топлива

Тепловой баланс котла устанавливает равенство между поступающим в агрегат количеством теплоты и его расходом.

В котле химически связанная энергия топлива в процессе горения преобразуется в физическую теплоту горючих продуктов сгорания. Вследствие неизбежных потерь при передаче теплоты и преобразования энергии вырабатываемый продукт (вода) воспринимает только часть теплоты. Другую часть составляют потери, которые зависят от эффективности организации процессов преобразования энергии (сжигания топлива) и передачи теплоты вырабатываемому продукту.

При работе водогрейного котла вся поступившая в него теплота расходуется на выработку полезной теплоты, содержащейся в горячей воде, и на покрытие различных потерь теплоты. Суммарное количество теплоты, поступившее в котельный агрегат, называют располагаемой теплотой. Теплота, покинувшая котельный агрегат, представляет собой сумму полезной теплоты и потерь теплоты, связанных с технологическим процессом выработки пара или горячей воды. Сводная таблица результатов расчетов теплового баланса представлена в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Расчет теплового баланса котла и расхода топлива

Наименование	Величина		Ед. изм.	Расчет
	Обозначение	Расчетная формула или способ определения		
1	2	3	4	5
Располагаемая теплота топлива	$Q_P^P$	$Q_H^P + Q_{В.ВН} + i_{ТЛ}$	кДж/кг	37050

Продолжение таблицы 3.10

1	2	3	4	5
Температура уходящих газов	$\vartheta_{yx}$	по паспорту котла	°С	170
Энтальпия уходящих газов	$I_{yx}$	по таблице 3.9	кДж/м <sup>3</sup>	2688
Температура холодного воздуха	$t_{xв}$	по выбору	°С	30
Энтальпия холодного воздуха	$I_{xв}$	по таблице 3.9	кДж/м <sup>3</sup>	380
Потери тепла с уходящими газами	$q_2$	$\frac{(I_{yx} - a_{yx} I_{xв}) \cdot (100 - q_4)}{Q_p^P}$	%	6,4
Потери тепла от химического недожега	$q_3$	по расчетной характеристике топлива	%	0,5
Потери тепла от механического недожега	$q_4$		%	0
Потери тепла в окружающую среду	$q_5$		%	3,0
Сумма тепловых потерь	$\sum q$	$q_2 + q_3 + q_4 + q_5$	%	9,9
КПД котла	$\eta_{ка}$	по техническим характеристикам котла	%	95
Коэффициент сохранения тепла	$\phi$	$\phi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{бр} + q_5}$	—	0,98
Температура питательной воды на входе	$t'$	по техническим характеристикам котла	°С	70
Энтальпия питательной воды на входе	$i'$	по таблице 3.9	кДж/кг	294
Температура питательной воды на выходе из котла	$t''$	по техническим характеристикам котла	°С	95
Энтальпия питательной воды на выходе	$i''$	по таблице 3.9	кДж/кг	399
Расход питательной воды через котел	$G$	$\frac{Q_{ка} \cdot 10^3}{i'' - i'}$	кг/с	17,5
Потный расход топлива	$B$	$\frac{Q_{к.а.}}{Q_p^P \cdot \eta_{бр.}}$	м <sup>3</sup> /с	0,68
Расчетный расход топлива	$B_p$	$B \cdot \frac{100 - q_4}{100}$	м <sup>3</sup> /с	0,68

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

13.03.01.2020.425.05 ПЗ

Лист

27

### 3.4.3 Поверочный расчет топки

При поверочном расчете топки котла по ее конструктивным и тепловым характеристикам определяют температуру газов на выходе из топки. Результаты расчетов представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Поверочный расчет топки

Наименование	Величина		Ед. изм.	Расчет
	Обозначение	Расчетная формула или способ определения		
1	2	3	4	5
Общая поверхность теплообмена	$H_{\text{общ}}$	по конструктивным характеристикам котла	м <sup>2</sup>	263
Полная поверхность стен топочной камеры	$F_{\text{ст}}$	$\frac{H_{\text{общ}}}{2} + \frac{\pi \cdot d^2}{2} \cdot 2$	м <sup>2</sup>	135,5
Лучевоспринимающая поверхность нагрева	$H_{\text{л}}$	$\frac{H_{\text{общ}}}{2}$	м <sup>2</sup>	131,5
Коэффициент загрязнения	$\xi$	принимаем	–	0,65
Коэффициент тепловой эффективности экранов	$\psi$	$\xi \cdot \frac{H_{\text{л}}}{F_{\text{ст}}}$	–	0,325
Эффективная толщина излучающего слоя	$S$	$3,6 \cdot \frac{V_{\text{м}}}{F_{\text{ст}}}$	м	0,054
Объемная доля водяных паров	$\Gamma_{\text{H}_2\text{O}}$	по таблице 3.8	–	0,19
Объемная доля трехатомных газов	$\Gamma_{\text{RO}_2}$	по таблице 3.8	–	0,09
Суммарная поглощательная способность газов	$r_{\text{н}} \cdot S$	$r_{\text{н}} \cdot S$	м МПа	0,02
Температура газов на выходе из топки	$\vartheta_{\text{м}}''$	принимается	°С	1000
Энтальпия газов на выходе из топки	$I_{\text{м}}''$	по таблице 3.9	кДж/м <sup>3</sup>	17471,1
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	$k_{\text{Г}}$	по номограмме	–	4,2
Коэффициент ослабления лучей для несветящихся трехатомными газами	$k_{\text{НСВ}}$	$k_{\text{Г}} \cdot r_{\text{н}}$	(м МПа) <sup>-1</sup>	1,19

Продолжение таблицы 3.11

1	2	3	4	5
Сила поглощения потока	$k_{PS}$	$k_{HCB} \cdot S$	$(\text{м МПа})^{-1}$	0,12
Степень черноты топочной среды для несветящегося газового пламени	$a_{HCB}$	по номограмме	—	0,03
Соотношение между содержанием углерода и водорода в рабочей массе топлива	$\frac{C^p}{H^p}$	$0,12 \cdot \sum \frac{m}{n} \cdot C_m H_n$	—	3,003
Коэффициент ослабления лучей сажи-стыми частицами	$k_{саж}$	$0,3(2 - a_m) \left( 1,6 \frac{g_m}{1000} - 0,5 \right) \cdot \frac{C^p}{H^p}$	—	0,94
Коэффициент ослабления лучей для светящегося газового пламени	$k_{св}$	$k_r \cdot r_n + k_{саж}$	$(\text{м МПа})^{-1}$	1,06
Сила поглощения потока	$k_{PS}$	$k_{св} \cdot S$	$(\text{м МПа})^{-1}$	0,1
Степень частоты топочной среды для светящегося газового пламени	$a_{св}$	по номограмме	—	0,1
Видимое теплонапряжение топочного объема	$q_v$	$\frac{B_p Q_p^H}{V_m}$	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}$	792,1
Коэффициент заполнения топки светящимися газами	$m$	методом интерполяции	—	0,6
Эффективная степень черноты факела	$a_\phi$	$m \cdot a_{св} + (1 - m) a_{HCB}$	—	0,07
Степень черноты топки	$a_m$	$\frac{a_\phi}{a_\phi + (1 - a_\phi) \psi}$	—	0,11
Коэффициент избытка воздуха в топке	$a_m$	по таблице 3.8	—	1,05
Тепло, вносимое воздухом в топку	$Q_B$	$I_{\chi B} \cdot a_m$	$\text{кДж/м}^3$	399,32
Полезное тепловыделение в топке	$Q_m$	$Q_p^p \frac{100 - q_3}{100} + Q_B$	$\text{кДж/м}^3$	37497,3

Продолжение таблицы 3.11

1	2	3	4	5
Теоретическая температура горения	$\vartheta_a$	$\frac{Q_p^p + V^0 a_m c_B t_{\chi B} + c_T t_r}{V_{H_2O}^0 c_{H_2O} + V_{RO_2} c_{RO_2} + V_{N_2}^0 c}$	°C	2058
Средняя теплоемкость газов	$V_{c_{cp}}$	$\frac{Q_m - I_m''}{\vartheta_m - \vartheta_m''}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \text{К}}$	18,93
Относительное положение максимума температур	$\chi_m$	—	—	1
Коэффициент, учитывающий характер распределения температур по высоте топки	M	0,54–0,2 $\chi_m$	—	0,34
Температура газов на выходе из топки	$\vartheta_m$	$\frac{\vartheta_a}{m \left( \frac{5.67 \psi_{cp} F_{ст} a_T \vartheta_a^3}{10^{11} \phi B_p V_{c_{cp}}} \right)^{0,6} + 1} - 273$	°C	648
Энтальпия газов на выходе из топки	$I_m$	по таблице 3.9	кДж/м <sup>3</sup>	10833,4
Температура газов на выходе из топки	$\vartheta_m''$	принимается	°C	650
Энтальпия газов на выходе из топки	$I_m''$	по таблице 3.9	кДж/м <sup>3</sup>	10869,5
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	$k_{\Gamma}$	по номограмме	—	4,1
Коэффициент ослабления лучей для несветящихся трехатомными газами	$k_{НСВ}$	$k_{\Gamma} \cdot r_n$	(м МПа) <sup>-1</sup>	1,16
Сила поглощения потока	$k_{PS}$	$k_{НСВ} \cdot S$	(м МПа) <sup>-1</sup>	0,12
Степень черноты топочной среды для несветящегося газового пламени	$a_{НСВ}$	по номограмме	—	0,22
Соотношение между содержанием углерода и водорода в рабочей массе топлива	$\frac{C^p}{H^p}$	$0,12 \cdot \sum \frac{m}{n} \cdot C_m H_n$	—	3,003

Продолжение таблицы 3.11

1	2	3	4	5
Коэффициент ослабления лучей сажи-стыми частицами	$k_{саж}$	$0,3(2-a_m) \left(1,6 \frac{\vartheta_m''}{1000} - 0,5\right) \cdot \frac{C^p}{H^p}$	—	0,44
Коэффициент ослабления лучей для свещающегося газового пламени	$k_{св}$	$k_z \cdot r_n + k_{саж}$	$(\text{м МПа})^{-1}$	1,6
Сила поглощения потока	$k_{PS}$	$k_{св} \cdot S$	$(\text{м МПа})^{-1}$	0,16
Степень частоты топочной среды	$a_{св}$	по номограмме	—	0,14
Видимое теплонапр. топочного объема	$q_v$	$\frac{B_p Q_p^H}{V_m}$	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}$	792,1
Коэффициент заполнения топочного объема свет. газами	$m$	методом интерполяции	—	0,6
Эффективная степень черноты факела	$a_\phi$	$m \cdot a_{св} + (1-m) a_{нсв}$	—	0,17
Степень черноты топки	$a_m$	$\frac{a_\phi}{a_\phi + (1-a_\phi)\psi}$	—	0,25
Коэффициент избытка воздуха в топке	$a_m$	по таблице 3.8	—	1,05
Тепло, вносимое воздухом в топку	$Q_B$	$I_{\chi B} \cdot a_m$	$\text{кДж/м}^3$	399,32
Полезное тепловыделение в топке	$Q_m$	$Q_p^p \frac{100-q_3}{100} + Q_B$	$\text{кДж/м}^3$	37497,3
Теоретическая температура горения	$\vartheta_a$	$\frac{Q_p^p + V^0 a_m c_{\text{B}} t_{\chi B} + c_r t_r}{V_{\text{H}_2\text{O}}^0 c_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{RO}_2} c_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 c_{\text{N}_2}}$	$^{\circ}\text{C}$	2058
Средняя теплоемкость газов	$V_{c_{cp}}$	$\frac{Q_m - I_m''}{\vartheta_m - \vartheta_m''}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \text{К}}$	18,93
Относ. положение макс. температур	$\chi_m$	—	—	1
Коэффициент, учит. характер распредел. т-тур по высоте топки	$M$	$0,54 - 0,2\chi_m$	—	0,34
Температура газов на выходе из топки	$\vartheta_m$	$\frac{\vartheta_a}{m \left( \frac{5.67\psi_{cp} F_{ст} a_T \vartheta_a^3}{10^{11} \phi B_p V_{c_{cp}}} \right)^{0,6} - 273} + 1$	$^{\circ}\text{C}$	648

Окончание таблицы 3.11

1	2	3	4	5
Энтальпия газов на выходе из топки	$I_m$	по таблице 3.9	кДж/м <sup>3</sup>	10833,4
Тепло, переданное излучением в топке	$Q_{л}$	$\varphi(Q_m - I_m)$	кДж/м <sup>3</sup>	24610,2
Тепловая нагрузка лучевоспринимающей поверхности	$q_{л}$	$V_p \frac{Q_{л}}{H_{л}}$	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}$	16,94

### 3.4.4 Поверочный расчет конвективного пучка

Поверочный расчет конвективного пучка водогрейного котла серии RS-D представлен в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Поверочный расчет конвективного пучка

Наименование	Величина		Ед. изм.	Расчет
	Обозначение	Расчетная формула или способ определения		
1	2	3	4	5
Общая поверхность нагрева	$H_p$	по конструктивным характеристикам котла	м <sup>2</sup>	263
Эффективная толщина излучающего слоя	$S_o$	по номограмме	м	0,1
Температура газов перед конвективным пучком	$\vartheta_m$	из расчета топки	°С	648
Энтальпия газов перед конвективным пучком	$I_m$	из расчета топки	кДж/м <sup>3</sup>	10833,4
Температура газов за конвективным пучком	$\vartheta_{кн}$	по характеристикам котла	°С	170
Энтальпия газов за конвективным пучком	$I_{кн}$	по таблице 3.9	кДж/м <sup>3</sup>	10869
Тепловосприятие конвективного пучка по балансу	$Q_б$	$\varphi \cdot (I_m - I_{кн})$	кДж/м <sup>3</sup>	7903,23
Средняя температура газов	$\vartheta_{ср}$	$0,5 \cdot (\vartheta^I + \vartheta^{II})$	°С	409
Объем газов	$V_g$	по таблице 3.8	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	9,11
Средняя температура воды	$t_{ср}$	$\frac{t_B^I + t_B^{II}}{2}$	°С	82,5

Продолжение таблицы 3.12

1	2	3	4	5
Температурный напор на входе в пучок	$t_B$	$\vartheta_m - t_{cp}$	°C	565,5
Температурный напор на выходе из пучка	$t_M$	$\vartheta_{KH} - t_{cp}$	°C	87,5
Средний температурный напор	$\Delta t$	$\frac{t_B + t_M}{\ln \frac{t_B}{t_M}}$	°C	349,19
Средняя температура газов	$\vartheta_{cp}$	$\Delta t + t_{cp}$	°C	431,69
Секундный расход газов	$V_{сек}$	$V_p \cdot V_r \cdot \frac{\vartheta_{cp} + 273}{273}$	м <sup>3</sup> /с	2
Средняя скорость газов в конвективном газоходе	$W$	$\frac{V_{сек}}{F_r}$	м/с	0,19
Объемная доля трехатомных газов	$r$	по таблице 4.4.1.3	–	0,283
Суммарная поглощательная способность трехатомных газов	$P_n S$	$P \cdot r_n \cdot S$	м МПа	0,03
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	$k_r$	по номограмме	(м МПа)	4,2
Сила поглощения потока	$k_r P S$	$k_r P_n S$	(м МПа)	0,42
Коэффициент теплоотдачи излучением	$a_{л}$	по номограмме	$\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$	31
Коэффициент тепловой эффективности	$\psi$	$\xi \frac{H_{л}}{F_{ст}}$	–	0,325
Коэффициент теплопередачи	$k$	$\psi \cdot (a_k + a_{л})$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$	3,77
Тепловосприятие конвективного пучка по уравнению теплообмена	$Q_{kn}$	$\frac{k \cdot H_p \cdot \Delta t}{V_p \cdot 10^3}$	кДж/м <sup>3</sup>	10804,3
Расхождение расчетных тепловосприятий	$\Delta Q$	$\frac{Q_m - Q_{б}}{Q_m} \cdot 100\%$	%	0,6

### 3.4.5 Расчет невязки теплового баланса водогрейного котла

Завершающим этапом распределения тепловосприятий является проверка правильности распределения с помощью определения невязки теплового баланса котла. Расчет невязки теплового баланса водогрейных котлов RS-D3500 и RS-D5000 представлен в таблице 3.13.



Таблица 3.13 – Расчет невязки теплового баланса водогрейного котла

Наименование	Величина		Ед. изм.	Расчет
	Обозначение	Расчетная формула или способ определения		
Тепло вносимое воздухом в топку	$Q_B$	$I_{XB} \cdot a_m$	кДж/м <sup>3</sup>	430
Полезное тепловыделение в топке	$Q_m$	$Q_P^P \cdot \frac{100-q_3}{100} + Q_B$	кДж/м <sup>3</sup>	37295
Тепло, переданное излучением в топке	$Q_{л}$	$\varphi \cdot (Q_m - I_m'')$	кДж/м <sup>3</sup>	19012
Расчетная невязка теплового баланса	$\Delta Q$	$Q_P^P \cdot \eta_{ка} - (Q_{л} + Q_{кн})$	кДж/м <sup>3</sup>	165
Невязка	%	$\frac{\Delta Q}{Q_P^P} \cdot 100\%$	–	0,44

Так как полученная погрешность удовлетворяет допустимой – 2%, значит расчет произведен верно.

### 3.5 Тепловая схема котельной

Отопительные котельные обеспечивают потребителей тепловой энергией в виде горячей воды для целей отопления, вентиляции и ГВС. Тепловая мощность отопительной котельной зависит от температуры наружного воздуха и режимов потребления теплоты на ГВС.

Водогрейные котельный агрегаты осуществляют непосредственный подогрев сетевой воды, благодаря чему капитальные затраты на водогрейные котельные и вспомогательное оборудование ниже, чем при использовании паровых котельных агрегатов низкого давления, а тепловые схемы проще.

К работе водогрейных котельных в тепловой схеме источника теплоты предъявляют следующие требования:

- гидродинамический режим котельного агрегата должен исключать возможность локального вскипания воды;
- температурный режим поверхностей нагрева не должен вызывать внешней низкотемпературной коррозии.

Выполнение указанных требований обеспечивается различными приемами организации потоков теплоносителя (рециркуляция и перемычка), а также регулированием отпуска тепловой энергии котлами в тепловую сеть только путем изменения температуры воды на выходе из котельного агрегата. Вода из обратного трубопровода тепловой сети поступает с небольшим напором к сетевым насосам. Во всасывающую линию сетевых насосов подается так же вода, использованная в тепловой схеме для собственных нужд источника теплоты, подпиточная вода из блока водоподготовки, компенсирующая утечки в тепловой сети.

Во избежание низкотемпературной коррозии перед вводом обратной сетевой воды в водогрейный котел ее температура повышается путем подачи по линии рециркуляции насосом расчетного количества уже подогретой в котле воды. Минимальная температура воды на входе в водогрейные котлы при работе на газе принимается не ниже 70 °С.

После подогрева в котле вода разделяется на три потока: на собственные нужды источника теплоты, на рециркуляцию и на тепловую сеть. Рециркуляция воды требуется практически во всех режимах (за исключением максимально-зимнего режима при работе котельных агрегатов на газе по повышенному температурному графику  $t'_{01} = 150$  °С;  $t'_{02} = 70$  °С), так как обратная сетевая вода имеет температуру ниже нормируемых минимальных значений воды.

При всех режимах работы, кроме максимально-зимнего, для обеспечения требуемой по температурному графику температуры воды в подающей линии тепловой сети необходимое количество обратной сетевой воды через регулятор температуры по переключке подается, минуя котельный агрегат, на смешивание с водой выходящей из него.

Для тепловой схемы отопительной котельной с закрытой системой теплоснабжения характерны малые расходы подпиточной воды.

При расчете будем руководствоваться следующими положениями:

- потери теплоты в закрытой системе теплоснабжения принимаются в размере 1,5...2% расхода сетевой воды;
- потери воды в тепловой схеме источника теплоты принимаются в размере 25...30% количества подпиточной воды;
- максимальные часовые расходы теплоты на собственные нужды принимаются в размере до 3% максимальной тепловой мощности теплогенерирующей установки.

Расчетный расход циркулирующей воды определим по формуле (3.19):

$$G = \frac{Q_{об}}{(t' - t'') \cdot c_p} \quad (3.19)$$

$$G = \frac{11788}{(150 - 70) \cdot 4,19} = 35,17 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = 126,61 \text{ т/ч}$$

Для того что бы определить суммарную производительность котельной установки при нескольких режимах ее работы, произведем расчет тепловой схемы. Расчет будем производить для 4-х характерных режимов которые соответствуют температуре наружного воздуха. Определим тепловые нагрузки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение исходя из характерных режимов.

Тепловая нагрузка на отопление и вентиляцию, формула (3.20):

$$Q_{о.в} = Q_{о.в.расч} \cdot \frac{t_{в.н.расч} - t_{н.в.расч}}{t_{в.н.расч} - t_o} \quad (3.20)$$

где  $Q_{o.в}$  – расчетная тепловая нагрузка на отопление и вентиляцию, кДж/ч;  
 $t_{в.н.}^{расч}$  – расчетная температура внутри помещений, принимается +17 °С;  
 $t_{н.в.}$  – температура наружного воздуха, °С;  
 $t_o^{расч}$  – расчетная температура воздуха при максимально-зимнем режиме, °С.

Коэффициент снижения расхода теплоты на отопление и вентиляцию, формула (3.21):

$$K_{o.в} = \frac{t_{в.н.}^{расч} - t_{н.в.}}{t_{в.н.}^{расч} - t_o^{расч}} \quad (3.21)$$

Расход сетевой воды на отопление и вентиляцию, формула (3.22):

$$G_{o.в} = \frac{Q_{o.в}}{(t_1 - t_2) \cdot C_B}, \quad (3.22)$$

где  $Q_{o.в}$  – тепловая нагрузка на отопление и вентиляции, кДж/ч;  
 $t_1, t_2$  – температура сетевой воды в прямом и обратном трубопроводах, °С;  
 $C_B = 4,19$  кДж/кг·°С – теплоемкость воды.

Расход сетевой воды на горячее водоснабжение, формула (3.23):

$$G_{ГВ} = \frac{Q_{ГВ}}{(t_1 - t_2) \cdot C_B}, \quad (3.23)$$

где  $Q_{ГВ}$  – тепловая нагрузка на горячее водоснабжение, кДж/ч.

Общий расход воды потребителями в подающей магистрали тепловой сети, определим по формуле (3.24):

$$G_c = G_{o.в} + G_{ГВ} \quad (3.25)$$

Расчет тепловой схемы котельной производится с целью определения расхода воды при характерных режимах работы котельной и составления общего материального баланса воды. Расчет выполняется параллельно для всех режимов с применением табличной формы в рекомендуемой последовательности.

Расчетом определяется температура различных потоков воды (сетевой, подпиточной, химочищенной исходной).

В результате расчета тепловой схемы определяются необходимые максимальные мощности котельной, что позволит выбрать тип и количество котлоагрегатов, другого основного и вспомогательного оборудования и рассчитать электрические мощности для их привода.

Расчет тепловой схемы котельной представим в таблице 3.14.

					13.03.01.2020.425.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Таблица 3.14 – Расчет тепловой схемы котельной

Наименование	Расчетные режимы				
	Максимально-зимний	Ср. наиболее холодного месяца	Ср. отоп-ного сезона	В точке тем-ного перелома	Летний
Температура наружного воздуха, $t_{н.в.}$ , °С	-35	-13,8	-5,9	+1	+18
Отпуск теплоты на отопление и вентиляцию, $Q_{о.в.}$ , МВт	11,788	8,538	6,813	4,612	–
Отпуск тепла на горячее водоснабжение $Q_{г.в.}$ , МВт	1,286	1,286	1,286	1,286	1,286
Общая теплопроизводительность котельной $Q$ , МВт	13,074	9,824	8,099	5,898	1,286
Температура прямой сетевой воды на выходе из котельной, $t_{м.с.}$ , °С	95	73,5	65,0	65,0	65,0
Температура обратной сетевой воды после систем отопления и вентиляции, $t_{о.в.}$ , °С	70	57,0	56,6	56,4	–
Расход сетевой воды для отопления и вентиляции, $G_{о.в.}$ , кг/с	35,17	23,44	15,63	10,42	0
Расход сетевой воды для горячего водоснабжения, $G_{г.в.}$ , кг/с	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86
Общий расход сетевой воды, $G_c$ , кг/с	39,03	27,3	19,49	14,28	3,86
Коэффициент снижения расхода теплоты на отопление и вентиляцию $K_{о.в.}$	1	0,59	0,44	0,31	–

### 3.6 Химводоодготовка

Химическая водоподготовка (ХВП) современными методами и технологиями обеспечивает долгую и успешную жизнь котельному оборудованию, выгодное использование средств, исключение постоянного технического контроля и сервиса, так как предотвращает поломки, связанные с качеством питающей воды. Система водоподготовки котельной устанавливается для того, чтобы предотвратить формирование минеральных отложений, которые накапливаются внутри водонагревательных котлов. Такие отложения могут стать причиной потери мощности, а развитие коррозии может привести к полной остановке работы котельной из-за закупоривания внутренней части оборудования.

Водоподготовке уделяется особое внимание, поскольку качественно подготовленное тепловое оборудование является залогом бесперебойной работы котельных в течение отопительного сезона.

									Лист
									37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.425.05 ПЗ				

Специальным образом подготовленная вода предназначена для заполнения котлов, первоначального заполнения системы отопления и подпитки системы в случае повреждения системы и утечки теплоносителя.

Комплексная система водоочистки котельной состоит из следующих блоков: системы механической очистки (СМО) и системы химводоочистки (ХВО). Основу системы механической очистки составляют фильтры грубой и тонкой очистки. Основу системы химводоочистки составляют автоматическая установка обезжелезивания и автоматическая установка умягчения, накопительная емкость для покрытия пиковых водоразборов, насосы подачи химочищенной воды.

Качество воды характеризуется прозрачностью (содержанием взвешенных веществ), сухим остатком, жесткостью, щелочностью, окисляемостью. Показатели качества сетевой воды не должны превышать следующих установленных значений представленных в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Показатели качества сетевой воды

Показатель	Предельные значения
Прозрачность по шифру, см, не менее	30
Карбонатная жесткость, мкг-экв/кг	700
Значение рН при 25	7 – 11
Растворенного кислорода	50
Соединений железа	500
Содержание нефтепродуктов, мг/кг	1

Исходными данными для выбора оборудования предварительной водоочистки являются:

- максимальный часовой и суточный объем подпиточной воды;
  - режим подпитки (непрерывный/разовый);
  - химический анализ исходной воды и источник водоснабжения;
  - нормы качества подпиточной воды котлов (в зависимости от конструкции и рабочего давления).
- Обработка воды для водогрейных котлов включает в себя следующие основные этапы:
- удаление взвешенных частиц;
  - удаление железа;
  - умягчение, предотвращение накипобразования;
  - предотвращение коррозии (удаление кислорода и углекислого газа из питающей воды с помощью деаэраторов различных конструкций. Применение деаэратора позволяет существенно снизить содержание свободного кислорода (до 0,02 мг/кг), остальное же количество должно связываться химическим способом).

Рассмотрим более подробно этапы обработки воды:

– удаление механических примесей с помощью фильтров: для удаления осаждаемых (песок, окислы железа, соли  $\text{CaCO}_3$  и другие тяжелые частицы) и взвешенных частиц (мелкая глина, грязь и органические вещества) используются механические фильтры различных конструкций;

– удаление из воды железа: окисление кислородом воздуха или аэрацией, хлором, перманганатом калия, перекисью водорода, озоном с последующим осаждением; каталитическое окисление с последующей (реакция окисления железа происходит на поверхности гранул специальной фильтрующей среды; ионный обмен; мембранный метод (удаление бактерий, простейших и вирусов («холодная стерилизация»)), частичное или глубокое обессоливание, подготовка высококачественной питьевой воды; дистилляция

– Na-катионирование (фильтрование воды через слой катионита, содержащего обменный ион натрия; эксплуатация катионитного фильтра сводится к последовательному проведению следующих операций: умягчение, взрыхление, регенерация, отмывка.

Применение комплексонатного способа водоподготовки позволяет:

1. Снизить стоимость подготовки подпиточной воды при улучшении технологических характеристик теплоносителя, по сравнению с ее умягчением и деаэрацией;
2. Уменьшить коррозию металла внутренних поверхностей водогрейных котлов, систем теплоснабжения;
3. Устранить образование накипи, способствовать отмывке имеющихся на поверхностях котлов, системы теплоснабжения накипи и отложений;
4. Предотвратить шламообразование в котле;
5. Обеспечить соблюдение требований нормативной документации к оборудованию, объему химического контроля, оснащению лабораторий, ведению эксплуатационной документации.

Госгортехнадзором России согласованы к применению:

– ОЭДФ - Zn (Цинковый комплекс ОЭДФ), выпускаемый согласно ТУ2439-001-24210860-97 от 10.07.1997 г.,

– НТФ - Zn (Цинковый комплекс НТФ), выпускаемый согласно ТУ2439-002-24210860-99 от 01.02.1999 г.

Применение данных комплексонатов позволяет обеспечить надежность, безопасность и экономичность эксплуатации систем теплоснабжения, котлов. Эти комплексонаты являются ингибиторами как накипеобразования, так и коррозии.

Применение комплексонатов ОЭДФ-Zn, НТФ-Zn возможно при температуре нагрева воды до  $210^\circ\text{C}$ , что позволяет производить обработку подпиточной и сетевой воды водогрейных котлов, систем теплоснабжения с температурой нагрева свыше  $115^\circ\text{C}$ . ОЭДФ-Zn – (Цинковый комплекс ОЭДФ) – представляет собой 23-25 % водный раствор. Данный комплексонат разрешен к применению в воде хозяйственно-питьевого и хозяйственно-бытового водопользования дозой до 5 мг/л (в закрытых системах теплоснабжения концентрация комплексоната не нормируется). Гигиеническое заключение №61.РЦ.6.243.П.899.6.00 от 15.6.2000 г.

											Лист
											39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.425.05 ПЗ						

Типовая схема дозирования представлена на рисунке. 3.3: дозирование производится пропорционально в прямой зависимости от объема жидкости прошедшей через расходомер.

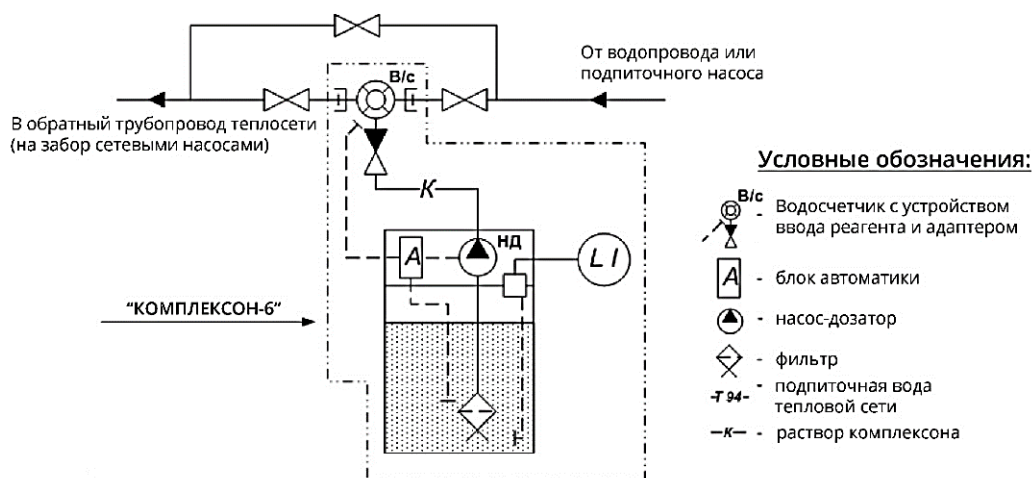


Рисунок 3.3 – Типовая схема дозирования

Установка дозирования комплексоната должна отвечать следующим требованиям:

- давление, создаваемое насосом дозатором должно превышать паспортное давление циркуляционных насосов системы теплоснабжения,
- дозирование должно производиться непосредственно в систему теплоснабжения (прямой, либо обратный трубопровод), дозирование в подпиточный трубопровод допускается непосредственной близости от врезки в систему,
- должна быть обеспечена точность дозирования.

При постоянном потреблении воды на подпитку котлов, систем теплоснабжения допускается постоянное дозирование по среднечасовому расходу воды на подпитку системы.

Источником воды для котельной являются городские сети.

После установки дозирования комплексоната необходимо провести режимно-наладочные испытания ХВО с целью настройки дозирования для поддержания концентрации ингибитора в сетевой воде и по окончании написания производственной инструкции на ХВО, а также необходимо проводить периодические замеры концентрации отбором проб.

### 3.7 Выбор вспомогательного оборудования

Котельная установка – это комплекс устройств, предназначенных для преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию горячей воды требуемых параметров.

На основании расчетов тепловой схемы котельной предусматривается установка трех водогрейных котлов серии RS-D.

Для обеспечения циркуляции теплоносителя и поддержания необходимого давления устанавливаются насосы производства «Wilо». Техническая характеристика насосов представлена в таблице 3.16 [6].

Таблица 3.16 – Технические характеристики насосов

Наименование	Марка	Насос				Электро-двигатель
		Количество	Расход м <sup>3</sup> /ч	Напор, м.вод.ст	Максимальная температура жидкости °С	Мощность, кВт
Насос сетевой	IL100/170-30/2	3	170	38	130	30
Насос котловой	BL80/220-5,5/4	1	95	12,7	130	5,5
Насос котловой	BL 125/210-7,5/4	2	135	12,7	130	7,5
Насос подпиточный	MVI 7002/1	2	17,5	45	130	11
Насос отопления котельной	TOP-RL 30/6,5	1	7	3,5	130	0,245

По правилам в котельной должно быть установлено не менее двух сетевых насосов. К установке принято 3 сетевых насоса Wilo-CronoLine IL100/170-30/2, один из которых используется в качестве резервного. Wilo-CronoLine IL100/170-30/2 – это одноступенчатый центробежный насос с сухим ротором линейного типа, предназначенный для установки в трубах или на фундаменте. Насос рекомендован для перекачки горячей и холодной воды без абразивных частиц в системах отопления, охлаждения и кондиционирования. Технические характеристики насоса Wilo-CronoLine IL100/170-30/2 представлены в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Технические характеристики сетевого насоса Wilo-CronoLine IL100/170-30/2

Показатель	Значение
1	2
Максимальная производительность, м <sup>3</sup> /час	308
Максимальный напор, м	40
Максимальное рабочее давление, бар	16
Максимальная температура жидкости, °С	140



Продолжение таблицы 3.17

1	2
Минимальная температура жидкости, °С	-20
Способ установки	наружный
Тип привода	электропривод
Напряжение питания, В	3x300
Мощность двигателя, кВт	30
Высота, мм	500
Масса, кг	247

Котловые насосы Wilo BL80/220-5,5/4 и BL 125/210-7,5/4 предназначены для перекачивания холодной и горячей воды без абразивных включений в системах отопления, кондиционирования и охлаждения. Котловые насосы – одноступенчатые низконапорные центробежные насосы в блочном исполнении с аксиальным всасывающим патрубком и радиально расположенным напорным патрубком со следующими элементами – скользящим торцевым уплотнением, фланцевым соединением с патрубком для замера давления, муфтой, соединительным элементов. К особенностям данных насосов можно отнести низкие эксплуатационные затраты благодаря высокому КПД, высокую степень защиты от коррозии благодаря катафорезному покрытию литых компонентов, в корпусе двигателя предусмотрены отверстия для выхода конденсата [9].

Подпитачные насосы предназначены для обеспечения восполнения потерь в сети. В качестве подпитачного насоса выбирается Wilo Multivert MVI 7002/1. Многоступенчатый нормально всасывающий вертикальный высоконапорный центробежный насос линейного типа.

К особенностям и преимуществам выбранных насосов можно отнести следующее:

- коррозионностойкие рабочее и ведущее колеса и ступенчатый корпус;
- разрешение к применению в питьевом водоснабжении для всех деталей, контактирующих с перекачиваемой средой (версия EPDM).

Основные технические характеристики представлены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Характеристики сетевого насоса Wilo Multivert MVI 7002/1

Показатель	Значение
Максимальное рабочее давление, бар	16
Максимальная температура жидкости, °С	120
Минимальная температура жидкости, °С	-15
Напряжение питания, В	3×400
Мощность двигателя, кВт	9
Высота, мм	660
Масса, кг	140

Насос отопления котельной «Wilo» TOP-RL 30/6,5 это циркуляционный насос с мокрым ротором, с резьбовым или фланцевым соединением. Предназначен для использования в системах отопления, кондиционирования, закрытых контурах охлаждения, промышленных циркуляционных системах.

К особенностям данного насоса относится ручная регулировка мощности с 3 ступенями частоты вращения. Корпус насоса с катафорезным покрытием (KTL) защищает от коррозии при образовании конденсата. Допустимый диапазон температур от -20° С до +130° С, кратковременно (2 ч) до +140° С. Подключение к сети 1~230 В, 50 Гц Класс защиты IP X4D. Резьбовое или фланцевое соединение (в зависимости от типа) Rp 1, Rp 1¼ или DN 40. Максимальное рабочее давление при стандартном исполнении: 10 бар или 6/10 бар [10].

Расширительные мембранные баки применяются в системах отопления для компенсации объема воды, которая расширяется при нагревании, а любая попытка сжать воду приводит к резкому увеличению объема. В системах отопления вода должна иметь возможность увеличивать свой объем.

Расширительные баки ERCE фирмы Elbi предназначены для компенсации теплового расширения теплоносителя в системах отопления. Баки имеют несменную мембрану. Модельный ряд включает в себя 8 моделей объемом от 35 до 500 л. Для компенсации объема воды устанавливаются два бака объемом 80 и 500 л. Характеристики расширительных баков представлены в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Технические характеристики расширительных баков

Типоразмер	Емкость, л	Предварительное закаченное давление, бар	Максимальное избыточное давление, бар	Рабочая температура мембраны, °С
ERCE 80	80	1,5	10	+99
ERCE 500	500	1,5	10	+99

Подбор горелок осуществляется, исходя из предъявленным к ним требованиям:

- создание достаточно равномерного поля температур в топочном устройстве;
- сжигание газа с минимальными избытками воздуха;
- устойчивость работы горелок при различных тепловых режимах.

Систему газоснабжения предназначенную для подачи природного газа к двум водогрейным котлам RS-D5000 номинальной тепловой мощностью по 5000 кВт, оснащаем комбинированными горелками F.B.R. К 550/М TL и один водогрейный котел RS-D3500 номинальной тепловой мощностью 3500 кВт, комбинированной горелкой F.B.R. К 350/М TL.

Основные технические характеристики системы газоснабжения представлены в таблице 3.20.

Таблица 3.20 – Основные технические характеристики системы газоснабжения

Параметр	Величина
Давление газа на вводе в котельную	0,3-0,55 МПа
Давление газа в точке подключения к горелке	40 кПа
Максимальный	1456 м <sup>3</sup> /ч
Минимальный	112 м <sup>3</sup> /ч

На входе газопровода в котельный зал устанавливается клапан запорный газовый с электромагнитным приводом ВН4Н-6. Для измерения давления газа на входе в котельную, а также на отпусках к горелкам устанавливаются манометры с классом точности 1,5. Манометры подключаются к трубопроводу через трехходовые шаровые краны. Очистка газа от примесей производится сетчатым газовым фильтром ФН4-1 со степенью фильтрации 50 мкм.

Для контроля засоренности фильтра перед и после него устанавливается манометры. При засорении фильтрующего элемента необходимо произвести его очистку или замену. Фильтр устанавливается перед счетчиком газа по ходу газа. В котельной устанавливается узел учета на базе ротационного счетчика РСГ G-250 (1:160) Ду100.

В качестве горелочного устройства на котлах устанавливаются газовые модулирующие горелки F.V.R. серии «К». Технические характеристики рассматриваемых горелок приведены в таблице 3.21.

Таблица 3.21 – Технические характеристики горелок F.V.R. серии «К»

Модель		К 350/М	К 550/М
1	2	3	4
Мощность мин. 1-й ступени/ 2-й ступени – макс. 2-й ступени	Мкал/ч	400/1200-3500	600/2000-5500
Мощность мин. 1-й ступени/ 2-й ступени – макс. 2-й ступени	kW	464/1390-4060	696/2325-6395
Расход G20(природный газ) мин. 1-й ступени/ мин. 2-й ступени – макс. 2-й ступени	м <sup>3</sup> /ч	47/140-409	70/235-647
Расход G31 (сжиженный газ) мин. 1-й ступени/ мин. 2-й ступени – макс. 2-й ступени	м <sup>3</sup> /ч	18/54-158	27/91-250
Минимальное давление газа DN65 FS65 Природный газ/сжиженное топливо	мбар	140/80	-/145



Продолжение таблицы 3.22

1	2
Диаметр условного прохода, мм	100
Максимальное входное давление, МПа	1,6
Габаритные размеры – длина, мм	140
Габаритные размеры – диаметр, мм	215
Тип соединения	фланцевое
Масса, кг не более	15,2

Для перекрытия потока газа в случае поступления сигналов опасности от датчиков утечки газа, либо при отсутствии тока в электрической сети устанавливается электромагнитный клапан ВН4Н-6 Ду 100. Данный клапан является нормально закрытым и его открытие осуществляется находящейся под напряжением электромагнитной катушкой. После срабатывания в исходное положение данные клапаны могут быть вновь установлены только при наличии напряжения в сети и когда датчики утечки газа не посылают сигналов опасности.

Контроль загазованности выполняется при помощи сигнализатора токсичных и горючих газов СТГ1-1.









– ротационные горелки менее требовательны к тонкой очистке мазута, диаметр выходного отверстия форсунки порядка 3,5–5,0 мм.

Выбирать горелочные устройства для котлов, работающих на тяжелом жидком топливе, следует с учетом техникоэкономических показателей и качества топлива.

Для легких мазутов, таких как Ф5, Ф12 и М40, без механической примесей и без содержания влаги, целесообразно использовать горелки, распыляющие топливо под высоким давлением. Для тяжелых мазутов или мазутов, содержащих механические примеси, предпочтительней использовать ротационные горелки.

Для нормальной работы горелочного устройства необходимо проводить профилактический осмотр не менее, чем один раз в год.

Горелку следует промыть и законсервировать согласно требованиям инструкции по эксплуатации по завершению отопительного периода или предстоящего длительного останова. Горелки, устанавливаемые для котельных на мазуте, отличаются между собой количеством ступеней – способом регулировки мощности. Подбор мазутных горелок к котлу требует тщательного подхода. Длина факела мазутных горелок, как правило, на 15–20 % длиннее, чем у газовых (данный параметр необходимо уточнять у производителей горелок), следовательно, необходимо проверять топку котла по длине факела. Рекомендуется принимать для проверки длину топки без поворотной камеры, а при использовании топлива, имеющего в своем составе механические примеси, подбирать оборудование так, чтобы факел не доходил до поворотной камеры на 200 мм.

По диаметру: факел не должен касаться стенок жаровой трубы котла. Расстояние от стенки до факела должно быть не менее, чем 50 мм. Котлы, работающие на мазуте, имеют сравнительно большие габариты по сравнению с котлами, предназначенными для работы на газу. Это объясняется приведенными выше требованиями, выполнение которых позволяет эксплуатировать котлы дольше, а также увеличенными по диаметру конвективными трубками второго и третьего хода. Подбор горелочного оборудования обязательно следует согласовывать с производителем котлов – для применения ротационных горелок необходимо выполнить требования производителя по передней дверце котла. Так как факел у ротационных горелок раскрывается близко к передней дверце, производитель горелок предъявляет требования по огнеупорному составу и его строению. Мощность горелочного устройства должна быть больше топочной мощности агрегата с учетом КПД котла и противодавления – сопротивления топки выхлопным газам. Расчет мощности возможно осуществить двумя способами:

1. При подборе горелок к определенному котлу необходимо уточнить мощность котла и его коэффициент полезного действия. КПД, как правило, указывается производителем котлов в паспорте устройства.

Расчет производится делением мощности котла на заявленный КПД.

Например, для котла на 2500 кВт с КПД 90 % мощность горелки должна быть не менее 2780 кВт.

2. При отдельном подборе горелки используется диаграмма мощности, которая составляется производителем и указывается вместе с техническими характеристиками оборудования (рисунок 4.1).

										Лист
										50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.425.05 ПЗ					

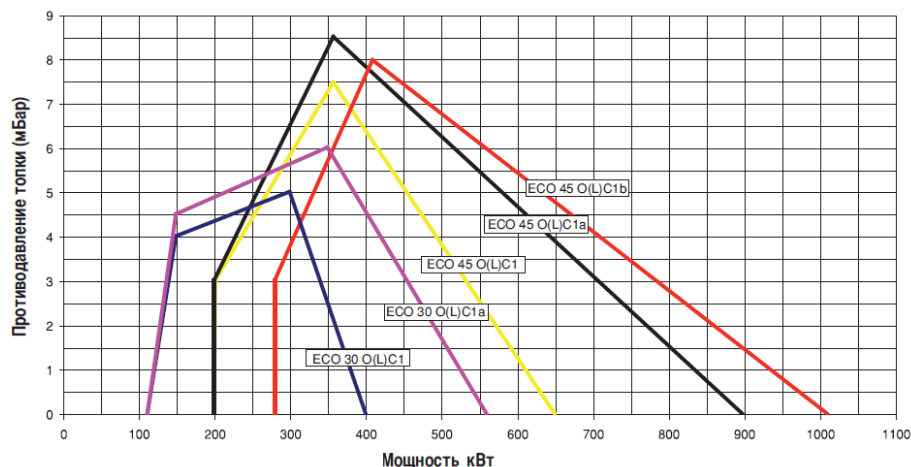


Рисунок 4.1 – Диаграмма мощности горелки

В графике по вертикали указывается противодействие топки в миллибарах (мбар), по горизонтали – мощность (кВт). Для подбора горелки необходимо найти точку, в которой оба параметра будут пересекаться.

Пример подбора горелки.

Коэффициент снижения мощности  $f=0,84$ , требуемая мощность горелки (тепловая мощность) на составляет 4870 кВт при заданном давлении камеры сгорания котла 8 мбар (при нормальных условиях). Теоретическая тепловая мощность:

$$\frac{4870 \text{ кВт}}{0,84} = 5800 \text{ кВт}$$

Теоретическое давление камеры сгорания:

$$\frac{8,0 \text{ мбар}}{0,84} = 9,5 \text{ мбар}$$

Установленная при помощи этого теоретического значения рабочая точка горелки должна лежать в рабочем поле выбранной горелки. В этом примере горелка данного типоразмера достигает максимальную мощность при рассчитанном давлении в камере сгорания 9,5 мбар только 5600 кВт. При этом получается для высоты 1950 м и, соответственно, коэффициента  $f=0,84$  максимально достижимая мощность данного типоразмера горелки:

$$4700 \text{ кВт} \cdot (5600 \text{ кВт} \cdot 0,84) = 4700 \text{ кВт}$$

Мощность котла 3000 кВт, КПД котла 94% Сопротивление камеры сгорания  $R_{к.с.} = 7,5$  мбар, горелка G10/1 D, мощность горелки  $Q_{г} = 3191,5$  кВт, Топливо природный газ с теплотворностью  $10,35$  кВт·ч/м<sup>3</sup> Давление подключения газа  $P_{г} = 100$  мбар.



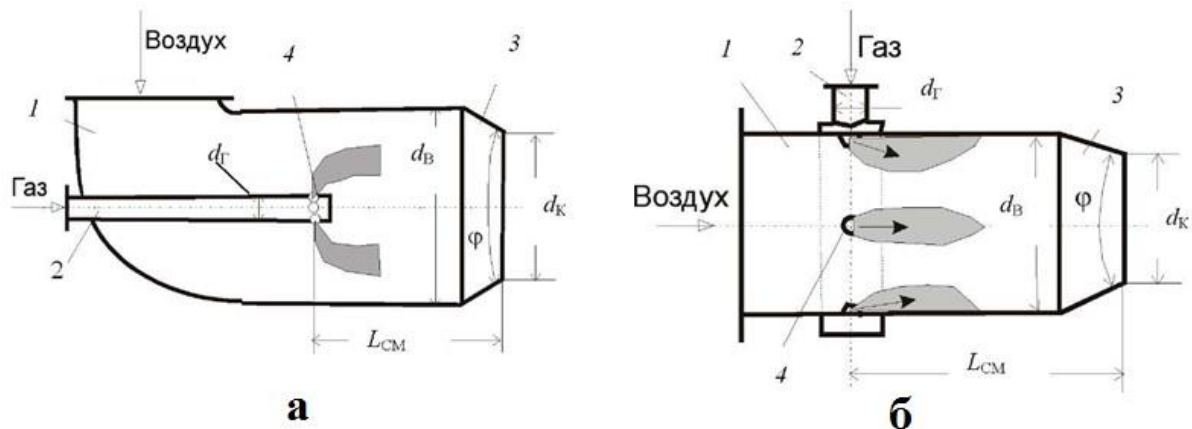


Рисунок 4.3 – Схема работы горелок:

- а – прямоточная диффузионная дутьевая с центральной подачей газа;  
 б – многоструйная с периферийной подачей газа; 1 – корпус горелки;  
 2 – труба подвода газа; 3 – конфузор; 4 – отверстия для выхода газа

Газ в горелку подается под давлением и через систему небольших отверстий выходит наружу.

При расчете диффузионных горелок необходимо учитывать следующие особенности процесса горения:

- наиболее длинный факел формируется диффузионными горелками типа «труба в трубе» при соизмеримых скоростях истечения газа из отверстий и воздуха;
- при сжигании природного газа длина факела может достигать 200 и более диаметров газового сопла;
- диффузионные горелки вихревого типа с многоструйной подачей газа формируют более короткие факелы.

В условиях развитой турбулентности газового потока относительная длина диффузионных факелов зависит от ряда факторов: теоретического расхода воздуха на горение, вязкости газа, начальной интенсивности турбулентности потоков газа и воздуха, начальной температуры газа и воздуха, соотношения начальных скоростей газа и воздуха, калибра горелки и т. п. Инжекционными называются горелки, в которых образование газоздушной смеси, идущей на горение, происходит за счет энергии струи газа. В таких горелках дополнительных устройств для подачи в нее воздуха не требуется. Принципиальная схема горелки показана на рисунке 4.4.

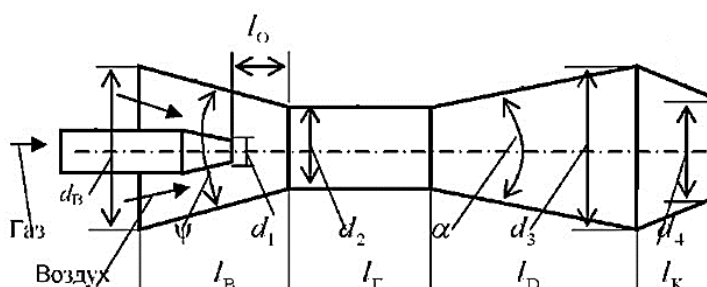


Рисунок 4.8.4 – Схема инжекционной горелки

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

Основной элемент инжекционной горелки – инжектор. Инжектор представляет собой газовое сопло, расположенное в суживающейся части горелки. Из сопла с высокой скоростью выходит струя газа. За счет своего движения она увлекает за собой воздух из окружающего пространства внутрь горелки в смесительную камеру, где далее происходит их смешение.

Основой расчета инжекционных горелок является уравнение инжекции, полученное из классического уравнения Эйлера (уравнение импульсов) (4.1):

$$\left(\frac{f_2}{f_1}\right)_{опт} = \left(1 + \frac{\xi_2}{2}\right) \cdot (1 + U_M) \cdot (1 + U_{об}) \quad (4.1)$$

где  $\left(\frac{f_2}{f_1}\right)_{опт}$  – оптимальное отношение площади сечения цилиндрической части смесителя (горловины) к площади сечения газового сопла;

$\xi_2$  – коэффициент сопротивления входной камеры смесителя, отнесенный к скорости газовой смеси в цилиндрической части смесителя;

$U_M$  – массовая кратность инжекции;

$U_{об}$  – объемная кратность инжекции.

Массовая кратность инжекции (4.2):

$$U_M = \frac{G_B}{G_G} \quad (4.2)$$

где  $G_B$  – массовый расход воздуха в горелке;

$G_G$  – массовый расход газа в горелке.

$$U_M = \frac{268,5}{127,5} = 2,1$$

Объемная кратность инжекции (4.3):

$$U_{об} = \frac{V_B}{V_G} \quad (4.3)$$

где  $V_B$  – объемный расход воздуха в горелке;

$V_G$  – объемный расход газа в горелке.

$$U_{об} = \frac{1274,5}{863,1} = 1,47$$

$$\left(\frac{f_2}{f_1}\right)_{опт} = \left(1 + \frac{3,7}{2}\right) \cdot (1 + 1,47) \cdot (1 + 2,1) = 21,82$$

Выбор соотношения по основному уравнению инжекции обеспечивает максимальный КПД смесительной камеры, определяемый по формуле (4.4):

$$\eta_{MAX} = \frac{(V_G - V_B) \cdot P_3}{V_G \cdot P_1} \quad (4.4)$$

где  $P_3$  – полное избыточное давление газозвушной смеси диффузора, Па;  
 $P_1$  – избыточное давление газа перед газовым соплом, Па.

$$\eta_{MAX} = \frac{(1274,5 - 863,1) \cdot 10163}{1274,5 \cdot 63000} = 63\%$$

Оптимальное соотношение обеспечивает максимальное давление газозвушной смеси  $P_3$  в конце диффузора и максимальную скорость истечения смеси из горелки, что приводит к расширению пределов регулирования тепловой мощности горелки при заданном давлении газа перед ней.

Максимальное давление газозвушной смеси в конце диффузора определяется из соотношения (4.5):

$$\frac{P_3}{P_1} = \frac{\mu^2}{\left(\frac{f_2}{f_1}\right)_{ОПП}} \quad (4.5)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода для газового сопла.

$$\frac{P_3}{P_1} = \frac{0,76^2}{21,82} = 0,026$$

Давление  $P_3$  в конце диффузора находится в зависимости от аэродинамических сопротивлений конфузора горелки, горелочного туннеля и других сопротивлений по тракту газозвушной смеси, а также от противодействия в камере сгорания (4.6):

$$P_3 = P_{3СТ} + \frac{\omega_3^2}{2} \cdot \rho_{СМ} = (1 + \sum \xi_4) \cdot \frac{\omega_4^2}{2} \cdot \rho_{СМ} \pm P_{КС} \quad (4.6)$$

где  $P_{3СТ}$  – статическое давление газозвушной смеси в конце диффузора, Па;

$\frac{\omega_3^2}{2} \cdot \rho_{СМ}$  – динамическое давление в конце диффузора, Па;

$\rho_{СМ}$  – плотность газозвушной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$\frac{\omega_4^2}{2} \cdot \rho_{СМ}$  – динамическое давление на выходе из горелки, Па;

$P_{KC}$  – избыточное противодавление (+) или разрежение (–) в камере сгорания, Па;

$\sum \xi_4$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений по тракту газозвдушной смеси, отнесенных к скорости в выходном сечении горелки.

Тогда получим (4.7):

$$P_1 = (1 + \sum \xi_4) \pm \frac{P_{KC}}{\frac{\omega_4^2}{2} \cdot \rho_{CM}} \cdot \frac{\omega_4^2}{2} \cdot \frac{1}{\mu_1^2} \cdot (1 + \frac{\xi_2}{2}) \cdot (1 + U_M) \cdot (1 + U_{OB}) \quad (4.7)$$

Вышеуказанное уравнение называется основным уравнением инжекционного смесителя. Оно устанавливает зависимость необходимого давления газа перед горелкой от режимных параметров ее работы

При конструктивном расчете инжекционной горелки обычно известно давление газа перед горелкой  $P_r$ . Избыточное давление газа перед газовым соплом  $\Delta P_r$  может быть найдено по эмпирической формуле (4.8):

$$\Delta P_1 = 0,27 \cdot \frac{Q_H^C}{100} + 40 \quad (4.8)$$

где  $Q_H^C$  – низшая теплота сгорания сухого газа, кДж/м<sup>3</sup>;

Скорость газа на выходе из сопла может быть определена по формуле (4.9):

$$\omega_r = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_1}{\rho_r}} \quad (4.9)$$

Диаметр выходного сечения сопла  $d_1$  рассчитывается из условия обеспечения надежной работы горелки, без проскоков пламени в смеситель при минимально необходимой тепловой мощности, по формуле (4.10):

$$d_1 = 2 \sqrt{\frac{V_1}{\pi \cdot \mu \cdot \omega_r}} \quad (4.10)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода, учитывающий неравномерность распределения скоростей потока газа по сечению сопла, сопротивление трения и сжатие.

Коэффициент  $\mu$  в основном зависит от формы сопла. Для конической формы сопла  $\mu = 0,85$  при угле конусности 30 °.

Диаметр горловины (смесителя) сопла  $d_2$  определяется из уравнения, выражающего закон сохранения количества движения при смешении газа с воздухом. Уравнение для определения диаметра горловины запишется в виде (4.11):

$$d_2 = d_1 \cdot \sqrt{(1 + \alpha_T \cdot V_B^\circ) \cdot (1 + \alpha_T \cdot V_B^\circ \cdot \frac{\rho_B}{\rho_T})} \quad (4.11)$$

где  $\alpha_T$  – коэффициент избытка инжектируемого воздуха;

$V_B^\circ$  – теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 нм<sup>3</sup> газа.

Диаметры конфузора  $d_B$  и диффузора  $d_3$  обычно принимаются примерно одинаковыми, и определяются соотношением (4.12):

$$d_B \approx d_3 = (1,5...1,7) \cdot d_2 \quad (4.12)$$

Диаметр кратера горелки  $d_4$  может быть принят (4.13):

$$d_4 = (1,07...1,1) \cdot d_2 \quad (4.13)$$

Остальные размеры горелки определяются по следующим соотношениям, полученным в результате экспериментальных исследований:

длина конфузора (4.14):

$$l_B = (1,5...1,7) \cdot d_2 \quad (4.14)$$

длина горловины (4.15):

$$l_T = (3,0...4,0) \cdot d_2 \quad (4.15)$$

длина кратера (4.16):

$$l_K = (1,2...1,7) \cdot d_2 \quad (4.16)$$

длина диффузора (4.8.17):

$$l_D = \frac{d_3 - d_2}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad (4.8.17)$$

где  $\alpha$  – угол расширения диффузора (6,8 °).

Расстояние от среза газового сопла до входа в цилиндрическую часть смесителя принимают в пределах (4.18):

$$l_K = (1,5...2,0) \cdot d_2 \quad (4.18)$$



## 5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ОБОРУДОВАНИИ КОТЕЛЬНОЙ

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов является одной из важнейших задач, стоящих перед экономикой РФ. Низкая энергоэффективность приводит к высоким издержкам общества на энергообеспечение, нарушается устойчивое энергоснабжение страны, ухудшается экологическая ситуация, усиливается конкуренция на мировых рынках.

Для обеспечения устойчивого энергосбережения в РФ проводится государственная энергосберегающая политика. Законодательством РФ был принят Федеральный закон № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. (ред. От 13.07.2015 г.) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», согласно которому все здания, вводимые в эксплуатацию, а также в процессе эксплуатации, должны соответствовать требованиям по энергоэффективности и иметь приборы учета энергоресурсов, а 27 августа 2009 г. Правительство РФ утвердило программу «Энергосбережение и повышение энергоэффективности на период до 2030 г.» [1].

С целью составления мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности должны проводиться специальные энергообследования, а по программе предусматривается экономия газа до 330 млрд куб.м, нефтепродуктов – 17 млн. тонн, теплоэнергии – 1550 млн Гкал, электроэнергии – 630 млрд кВт·ч. В связи с этим большое внимание уделяется снижению затрат топливно-энергетических ресурсов на собственные и производственные нужды.

### 5.1 Предлагаемые методы энергосбережения

Основными методами снижения затрат в котельной являются:

- оптимизация и минимизация состава работающего оборудования котельной в межтопительный период;
- реконструкция котельных;
- снижение затрат энергии на собственные нужды котельной путем внедрения высокоэкономичного оборудования;
- снижение потерь в тепловых сетях;
- организация учета и внедрение нормирования потребляемой энергии;
- использование передовых технологий и материалов для производства;
- грамотное распределение нагрузки по времени суток и по времени года
- использование систем автоматики.

Энергосбережение в котельной – это комплекс мероприятий и условий для оптимизации всех процессов участвующих в формировании КПД котельной и всей системы отопления в целом.

Основным критерием энергосбережения является снижение затрат энергетических ресурсов котельной при ее эксплуатации.

Пути для снижения затрат энергетических ресурсов являются:

- автоматизированное погодозависимое регулирование выработки и отпуска

					<i>13.03.01.2020.425.05 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

тепловой энергии. Обеспечивает оптимизацию затрат на выработку тепловой энергии и экономию топлива на 12–15% от котельных без погодозависимого регулирования;

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

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

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

– для контроля за потреблением энергоресурсов в котельной обязательно устанавливать узлы учета.

## 5.2 Энергосбережение водогрейных котлов

При эксплуатации водогрейных котлов энергосбережению способствует рациональное распределение нагрузки между несколькими одновременно работающими котлами.

С падением нагрузки ниже номинальной уменьшается температура уходящих газов, а значит, снижаются потери теплоты с уходящими газами. При малых нагрузках уменьшаются скорости истечения газа и воздуха, ухудшается их смешение и могут возникнуть потери с химической неполнотой сгорания. Абсолютные потери теплоты через обмуровку остаются практически неизменными, а относительные – возрастают. Это приводит к тому, что существуют режимы, которым соответствует максимальное значение КПД (рисунок 5.1).

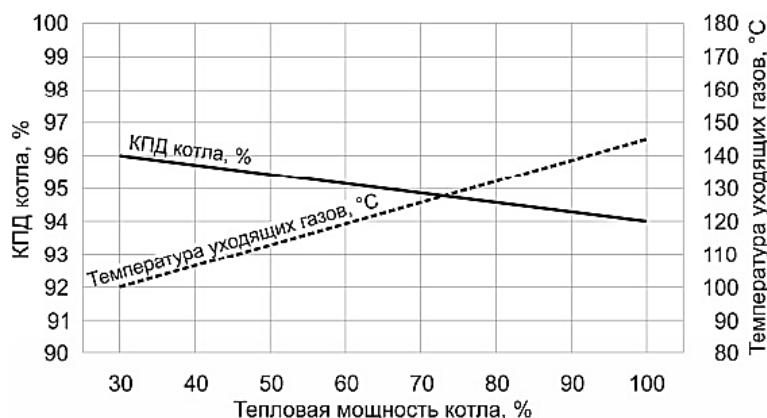


Рисунок 5.1 – График температуры уходящих газов и КПД котла

Поскольку зависимости КПД котлов, расходов удельного топлива от производительности индивидуальны для различных типов котлов, сроков их эксплуатации, то рациональным распределением нагрузки между двумя и более котлами можно влиять на суммарные энергозатраты котельной [1].

Проектом предлагается установку котлов RS-D 5000. К технологическим мероприятиям по повышению энергоэффективности данного котла отнесем следующее:

- применение оребренных труб позволяет объединить радиационную и конвективную поверхности нагрева в одно целое, а соответственно способствует уменьшению металлоемкости и существенно снижению веса котла и его размеров;

- по сравнению с жаротрубными реверсивными котлами, топка котла имеет меньшее аэродинамическое сопротивление, так как дымовые газы не возвращаются к передней стенке, а уходят сразу в газоход по всей площади топки, что позволяет подбирать горелки меньшего типоразмера и снижать уровень шума при работе горелки на полной мощности;

- высокая скорость циркуляции теплоносителя в топочных трубах позволяет в несколько раз снизить отложения накипи на стенках труб и увеличивает интенсивность теплообмена;

- невозвратная геометрия пламени позволяет использовать в изоляции крышки легкие эффективные огнеупорные материалы с возможностью легкой замены;

- малое тепловое напряжение топки позволяет поддерживать низкие выбросы  $NO_x$  в дымовых газах даже с недорогими горелками.

Химический состав и качество воды в системе оказывают непосредственное влияние на срок службы котельного оборудования работу и системы отопления в целом.

Отложения, возникающие из-за содержащихся в воде солей  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  и  $Fe^{2+}$  – наиболее распространенная проблема, с которой мы сталкиваемся в быту и в промышленности. На рисунке 5.2 приведены зависимости увеличения расхода топлива от толщины накипи.

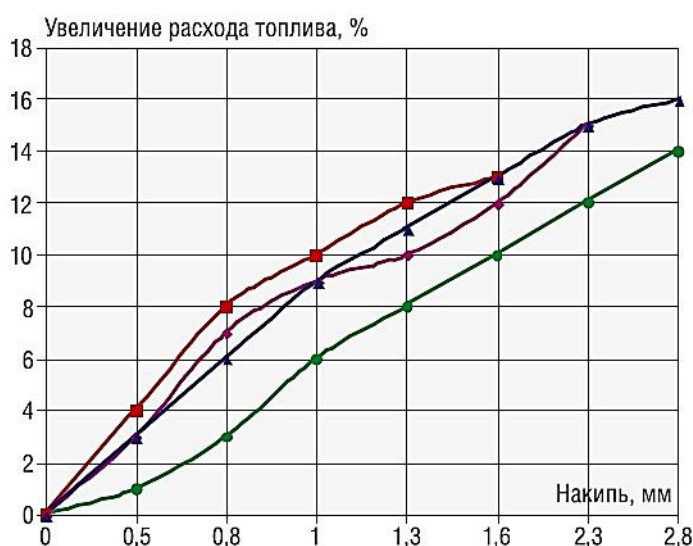


Рисунок 5.2 – Зависимость увеличения расхода топлива от толщины накипи

Растворимость солей под воздействием высокой температуры и повышенного давления приводит к образованию твёрдых (накипь) и мягких (шлам) осадков. Образование отложений приводит к серьезным потерям энергии. Эти потери могут достигать 60%. Рост отложений существенно снижает теплоотдачу, они могут полностью заблокировать часть системы, привести к закупориванию и ускорить коррозию. Известно, что накипь толщиной в 3,0 мм снижает коэффициент полезного действия котловой установки на 2,0...3,0%. Наличие в воде кислорода, хлора, двухвалентного железа и солей жёсткости увеличивают количество аварийных ситуаций, приводят к увеличению расхода топлива и снижают срок службы оборудования.

Для минимизации отложений на поверхностях нагрева котла проектом предусмотрена систем химводоподготовки, состав и технические характеристики которой указаны в разделе 3.6.

					<i>13.03.01.2020.425.05 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		61

## 6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

В качестве основного топлива в котельной будет использоваться природный газ. При сжигании газа образуются вредные вещества, которые попадают в атмосферу. К токсичным веществам относятся – серный и сернистый ангидрид ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ), а также продукты неполного сгорания ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ). Окислы азота оказывают вредное воздействие на органы дыхания животных и вызывают серьезные заболевания, а также разрушают оборудование и материалы.

Защита воздушного бассейна от загрязнений регламентируется предельно допустимыми концентрациями вредных веществ в атмосфере населенных пунктов. Под предельно допустимой концентрацией понимают концентрацию различных веществ и химических соединений, которая при ежедневном воздействии на организм человека не вызывает негативных последствий и заболеваний. Различают максимально-разовую и среднесуточную ПДК.

При одновременном совместном присутствии в выбросах веществ однонаправленного вредного действия их безразмерная суммарная концентрация не должна превышать 1,0 (6.1):

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \frac{C_3}{\text{ПДК}_3} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1,0, \quad (6.1)$$

где  $C_1, C_2, C_3, C_n$  – фактические концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе,  $\text{мг}/\text{м}^3$  ;

$\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \text{ПДК}_3, \text{ПДК}_n$  – предельно допустимая концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе,  $\text{мг}/\text{м}^3$  .

Любые газы подлежат рассеиванию в атмосфере, даже если они не токсичны. Основным методом снижения концентрации выбросов на уровне земли является рассеивание их через высокие дымовые трубы. Из дымовых труб поток газов выбрасывается в высокие слои атмосферы, перемешивается с воздухом, за счет чего концентрация вредных веществ на уровне дыхания снижается до нормального значения. Ветер является основным фактором влияющим на рассеивание токсичных веществ.

Комплекс мероприятий по охране атмосферного воздуха состоит из следующих пунктов:

- применение природного газа в качестве основного топлива, так как он относится к экологически чистым видам топлива;
- установка достаточно высоких дымовых труб.

### 6.1 Определение объемов продуктов сгорания топлива

В водогрейной отопительной котельной ЦППН-7 планируется установить три котла: RS-D 5000 – 2 шт. и RS-D 3500 – 1 шт. Все котлы будут присоединены к одной металлической дымовой трубе. Выполним выбор и расчет дымовой трубы.

										Лист
										62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2020.425.05 ПЗ

Котельная ЦППН-7 будет работать круглый год. В течении отопительного периода она будет покрывать тепловые нагрузки на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, а в летний период обеспечивать только горячей водой.

Основным топливом является природный газ газопровода Бухара-Урал с теплотворной способностью  $Q_H^P=8770$  ккал/м<sup>3</sup>. Характеристика топлива представлена в таблице 6. 1.

Таблица 6. 1 – Характеристики топлива

Газопровод	Состав газа по объему, %							$Q_H^C$ кДж/м <sup>3</sup>	$\rho_T^C$ кг/м <sup>3</sup>
	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>		
Бухара-Урал	94,9	3,2	0,4	0,1	0,1	0,9	0,4	36720	0,758

Теоретически необходимый объем воздуха для газообразного топлива принимаем из расчета котла  $V_0=9,65$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Теоретический объем продуктов сгорания (из расчета котла):

- объем трехатомных газов:  $V_{RO_2}=1,11$  м<sup>3</sup>/кг;
- объем двухатомных газов:  $V_{N_2}=7,89$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;
- объем водяных паров:  $V_{H_2O}=2,16$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Котел принимаем газоплотным, поэтому коэффициент избытка воздуха принимаем  $\alpha=1,05$ .

Объем дымовых газов при нормальных условиях определяем по формуле (6.2):

$$V_T = V_{RO_2}^0 + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 + (\alpha - 1) \cdot V^0 \quad (6.2)$$

$$V_T = 1,11 + 7,89 + 2,16 + (1,05 - 1) \cdot 9,65 = 11,64 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Объем продуктов сгорания, образующихся при сжигании топлива при рабочих условиях ( $P_p=97000$  Па;  $t_p=119$  °С) определим по формуле (6.3):

$$V_p = \frac{T_{yx} \cdot V_T \cdot P_{н.у.}}{T_{н.у.} \cdot P}, \quad (6.3)$$

где  $T_{yx}=170^\circ\text{C}=443$  К – средняя температура уходящих газов.

$$V_p = \frac{760 \cdot 11,64 \cdot 443}{273 \cdot 745} = 19,2 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Расход топлива на котел считаем по формуле (6.4):

$$B_p = \frac{\sum Q}{Q_H^p \cdot \eta}, \quad (6.4)$$

где  $\sum Q$  – суммарная мощность котлов, МВт;  
 $\eta = 95\%$  – КПД котла.

$$B_p = \frac{5+5+3,5}{36,72 \cdot 0,95} = 0,39 \text{ м}^3/\text{с}$$

Объем продуктов сгорания, образующихся при работе котлов определим по формуле (6.5):

$$V = V_p \cdot B_p \quad (6.5)$$

$$V = 19,2 \cdot 0,39 = 7,49 \text{ м}^3/\text{с}$$

В топочной камере образуется в основном окись азота NO (более 95%). Образование двуокиси азота NO<sub>2</sub> за счет окисления NO происходит при низких температурах и требует значительного времени. Выброс окислов азота, рассчитывается по NO<sub>2</sub>. Количество диоксида азота определим по формуле (6.6):

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot V \cdot Q_H^p \cdot K_{NO_2} (1 - \beta) \quad (6.6)$$

где  $\beta = 0$  – коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов окислов азота в результате применяемых технических решений;  
 $K_{NO_2}$  – параметр, характеризующий количество окислов азота, образующихся на МДж теплоты, кг/МДж.

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 0,39 \cdot 36720 \cdot 0,12 \cdot 1 = 1,72 \text{ г/с}$$

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  $C_m \leq \text{ПДК}$ .

Максимальная концентрация выбросов NO<sub>2</sub> рассчитывается по формуле (6.7):

$$C_m = \frac{A \cdot M_{NO_2} \cdot F \cdot m \cdot n}{h^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}} \quad (6.7)$$

где  $A=160$  – коэффициент, учитывающий рассеивающие свойства атмосферы при неблагоприятных метеорологических условиях, определяется климатической зоной;

$M_{NO_2}$  – расход выбрасываемого в атмосферу вещества, г/с;

					13.03.01.2020.425.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

$F$  – коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе. Для газообразных примесей  $F=1$ ;  
 $m$  и  $n$  – коэффициенты, учитывающие подъем факела над трубой;  
 $\Delta T$  – разность температур выбрасываемых газов и атмосферного воздуха;  
 $V$  – полный расход дымовых газов на срезе (устье) трубы, м<sup>3</sup>/с;  
 $\eta$  – поправочный коэффициент на рельеф. Если перепад высот в местности размещения источника выбросов не превышает 50 м на 1 км или препятствия удалены более чем на 50Н, то  $\eta=1$  [26].

## 6.2 Определение минимальной высоты дымовой трубы

Для расчета минимальной высоты  $H$  дымовой трубы предварительно задаемся оптимальной скоростью выхода дымовых газов. Примем  $w_0=20$  м/с, для котлов с искусственной тягой. По принятой скорости и известному расходу газов предварительно определим диаметр устья трубы по формуле (6.8):

$$D_0 = \sqrt{\frac{4V_{\text{г общ}}}{\pi w_0}} \quad (6.8)$$

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot 19,2}{3,14 \cdot 20}} = 1,1 \text{ м}$$

Из стандартных диаметров для кирпичных и железобетонных труб, примем  $D_0=1,2$  м. По принятому диаметру трубы найдем скорость выхода дымовых газов и используем ее для дальнейших расчетов, формула (6.9):

$$w_0 = \frac{4V_{\text{г общ}}}{\pi D_0^2} \quad (6.9)$$

$$w_0 = \frac{4 \cdot 7,49}{3,14 \cdot 1,2^2} = 6,62 \text{ м/с}$$

Принимаем параметр  $A=160$ , параметр  $F=1$  [26].

$\text{ПДК}_{\text{NO}_2} = 0,085 \text{ мг/м}^3$ .

Задаем высоту трубы  $H_1=10$  м, находим значения коэффициентов по формуле (6.10):

$$v_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \frac{\Delta T}{H}}, \quad (6.10)$$



где  $\Delta T$  – разность температур,  $\Delta T = 183,8$  К.

$$v_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{7,49 \cdot \frac{183,8}{10}} = 3,35 \text{ м/с}$$

Коэффициент  $n=1$  при  $v_M \geq 2$ , тогда коэффициент  $f$  находим по формуле (6.11):

$$f = \frac{10^3 w_0^2 D_0}{H^2 \Delta T} \quad (6.11)$$

$$f_1 = \frac{10^3 \cdot 6,62^2 \cdot 1,2}{10^2 \cdot 183,8} = 2,86$$

Так как  $f_1 = 2,86 \leq 100$ , то коэффициент  $m$  равен (6.12):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \quad (6.12)$$

$$m_1 = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{2,86} + 0,34\sqrt[3]{2,86}} = 1,67$$

Находим расчетную высоту трубы ( $H^p$ ) по формуле (6.13):

$$H = \sqrt{AF\eta nm \frac{M}{\text{ПДК}} \sqrt[3]{\frac{Z}{V_{\text{Г общ}} \Delta T}}}, \quad (6.13)$$

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

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

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

$A, F, n, m, \eta$  – коэффициенты;

$Z$  – Количество труб,  $Z=1$ .

$$H_1 = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,67 \cdot \frac{1,72}{0,085} \sqrt[3]{\frac{1}{6,62 \cdot 183,8}}} = 20,2 \text{ м}$$

Задаем высоту трубы  $H_2=20$  м, находим значения коэффициентов:

$$v_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{7,49 \cdot \frac{183,8}{20}} = 2,66 \text{ м/с}$$

Коэффициент  $n=1$  при  $v_M \geq 2$ ,

$$f_2 = \frac{10^3 \cdot 6,62^2 \cdot 1,2}{20^2 \cdot 183,8} = 0,71$$

Так как  $f_2 = 0,71 \leq 100$ , то коэффициент  $m$  равен:

$$m_2 = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,71} + 0,34\sqrt[3]{0,71}} = 0,95$$

Находим расчетную высоту трубы ( $H^P$ ) по формуле:

$$H_2 = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot \frac{1,72}{0,085} \sqrt[3]{\frac{1}{6,62 \cdot 183,8}}} = 22,5 \text{ м}$$

Задаем высоту трубы  $H_3 = 30$  м, находим значения коэффициентов:

$$v_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{7,49 \cdot \frac{183,8}{30}} = 2,32 \text{ м/с}$$

Коэффициент  $n=1$  при  $v_M \geq 2$ ,

$$f_3 = \frac{10^3 \cdot 6,62^2 \cdot 1,2}{30^2 \cdot 183,8} = 0,32$$

Так как  $f_3 = 0,32 \leq 100$ , то коэффициент  $m$  равен:

$$m_3 = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,32} + 0,34\sqrt[3]{0,32}} = 1,04$$

Находим расчетную высоту трубы ( $H^P$ ) по формуле:

$$H_3 = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,04 \cdot \frac{1,72}{0,085} \sqrt[3]{\frac{1}{6,62 \cdot 183,8}}} = 19,7 \text{ м}$$

Графическое определение минимальной высоты трубы приведено на рисунке 6.1.

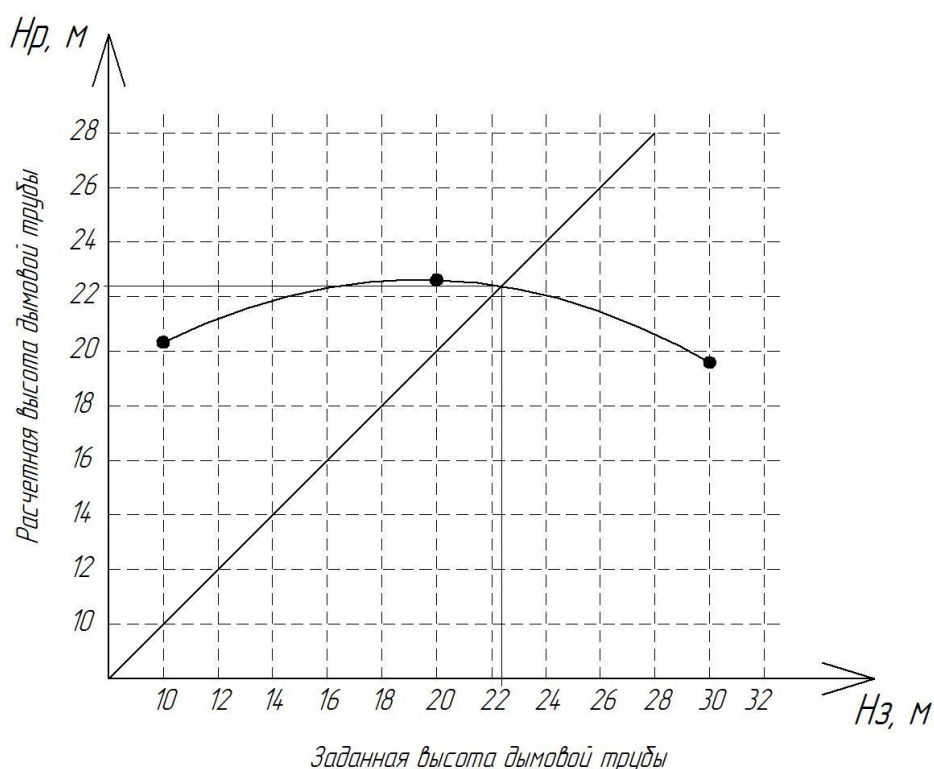


Рисунок 6.1 – График определения минимальной высоты трубы

По графику определяем минимальную высоту дымоходной трубы – 22,3 м

Принимаем к установке металлическую дымоходную трубу диаметром выходного отверстия 1,2 м и высотой 23 м.

Определим максимальную приземную концентрацию оксидов азота, так как  $v_m=2,32$ ,  $f=0,32 \leq 100$ , то формула (6.14):

$$C_{\text{NO}_2} = \frac{A \cdot M_{\text{NO}_2} \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_{\text{Г общ}} \Delta T}} \quad (6.14)$$

$$C_{\text{NO}_2} = \frac{160 \cdot 1,72 \cdot 1 \cdot 1,04 \cdot 1}{23^2 \cdot \sqrt[3]{6,62 \cdot 183,8}} = 0,03$$

$$C_{\text{NO}_2} = 0,03 \text{ мг/м}^3 \leq \text{ПДК}$$

По результатам расчет можно сделать следующий вывод: необходима одна дымоходная труба внутренним диаметром 1,2 м и высотой 23 м. Максимальная концентрация оксидов азота в приземном слое  $C_{\text{NO}_2} = 0,03 \text{ мг/м}^3$ , что не превышает максимально разовую ПДК этого вещества в атмосферном воздухе.



- промежуточные реле,
- автоматический выключатель электропитания.

Непосредственно на самом котле установлены следующие приборы:

- на выходном патрубке котла – электроконтактный манометр, два датчика температуры 1 и 2 ступени горения, датчик температуры защитного отключения, датчик потока воды;

- на входном патрубке – два предохранительных клапана пружинного типа.

Принцип работы пульта управления: при включении вводного автомата питание подается на горелку, горелка переходит в режим «Ожидание». Если клеммы 3–4 на горелке замкнуты, она переходит в режим «Запуск» и разжигается по заданной программе. Между клеммами 3–4 последовательно включены контакты всех датчиков (давление, поток, температура) эта цепь называется «разрешающей». При выходе любого из контролируемых параметров за заданные пределы – «разрешающая» цепь размыкается, горелка прекращает работу. Пульт управления и переходит в режим «Ожидание».

На пульте управления загорается световой индикатор, указывающий причину аварии. При возвращении контролируемых параметров в норму – индикатор гаснет и горелка разжигается автоматически. Кроме этого, на пульт управления вынесен световой индикатор «Горелка», который сигнализирует о блокировке горелки. На пульте предусмотрена кнопка «Тест» для проверки исправности световых индикаторов. Система автоматизации котельной выполнена на базе ОВЕН ПЛК 100. Локальный контроль и мониторинг работы осуществляется с помощью сенсорной панели управления СП270-Т, которая установлена в дверце щита управления котельной ЩУК.

ЩУК обеспечивает:

- автоматическое/ручное регулирование мощности горелки с поддержанием необходимой температуры на выходе котла;
- остановка горелки при возникновении следующих аварийных ситуаций:
  - превышение температура воды на выходе котла;
  - превышение/понижении давления воды на выходе котла;
  - повышение температуры дымовых газов на выходе котла;
- автоматическое погодозависимое регулирование температуры теплоносителя в сетевом контуре посредством двухходового запорнорегулирующего клапана;
- каскадное управление работой котлов.

Для оперативного оповещения обслуживающего персонала котельной, о нештатных ситуациях, в ЩУК устанавливается GSM модем ССУ 825. Работа извещателя заключается в непрерывном контроле уровня напряжений на линиях телесигнализации и выполнение посылки SMS сообщения на номера телефонов, записанных в памяти SIM карты (max-8 номеров), при появлении напряжений активного уровня на каком либо из каналов телесигнализации.

Учет тепла осуществляется с помощью тепловычислителя СПТ943.1 (производство АОЗТ НПФ «Логика», г. Санкт-Петербург). В состав узла

учета тепла входят 3 датчика температуры КТТПР-0,1, 3 датчика давления МИДА-ДИ и 3 расходомера воды ЭРСВ-520Ф (водогрейная часть). Учет расхода газа, поступающего в котельную производится корректором СПГ 761.1 (производство АОЗТ НПФ «Логика», г. Санкт-Петербург) [13].

Автоматика безопасности котельной отключает подачу газа путем закрытия электромагнитного клапана в следующих случаях:

- превышения концентрации метана в помещении (более 10% НКПР);
- превышения II ступени концентрации угарного газа (более 100 мг/м<sup>3</sup>);
- повышения давления газа после ГРУ более 0,005 МПа,
- при снижении давления газа после ГРУ менее 0,001 МПа.
- пожар в котельной (задымленность помещения);
- Автоматика безопасности котельной останавливает все котлы в случае:
  - повышения давления теплоносителя в общем коллекторе более 0,6 МПа (6 кгс/см<sup>2</sup>);
  - понижения давления теплоносителя в общем коллекторе менее 0,05 МПа (0.5 кгс/см<sup>2</sup>);
  - повышение температуры воды на выходе из котельной более 100°С.

Аварийный оповещатель подает звуковой и световой сигнал на наружной стене котельной в следующих случаях:

- при закрытии электромагнитного клапана и остановке всех котлов;
- при открывании входной двери (несанкционированный доступ в котельную);
- при остывании воды в контуре отопления ниже 35°С (защита от замерзания).

Кроме этого, каждый водогрейный котел оснащен своей собственной автоматикой безопасности, которая закрывает подачу газа к горелке при погасание пламени, повышение температуры воды в котле более 95°С, отсутствие тяги за котлом [8].

Пульт управления ROSSMATIC регулируют работу двухступенчатой, прогрессивной или модулируемой горелки (рисунок 7.1).

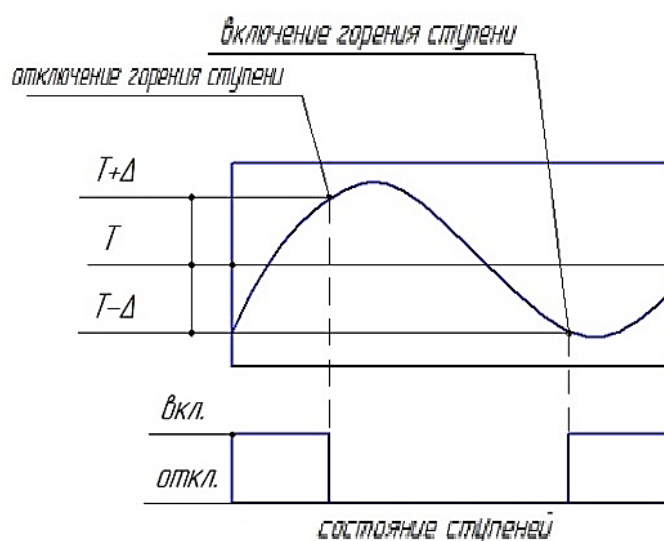


Рисунок 7.1 – Логика работы горелки

Управление горелкой происходит в установленном диапазоне переключений (гистерезис) в зависимости от отклонения между установленной и фактической температурой подающей линии котла. Если температура теплоносителя в котле меньше уставки «Т-Δ» ступень горелки включается. Если температура теплоносителя в котле превышает значение уставки «Т+Δ» ступень выключается.

На рисунке 7.2 схематично представлена динамика температурного режима работы котла при нагреве.

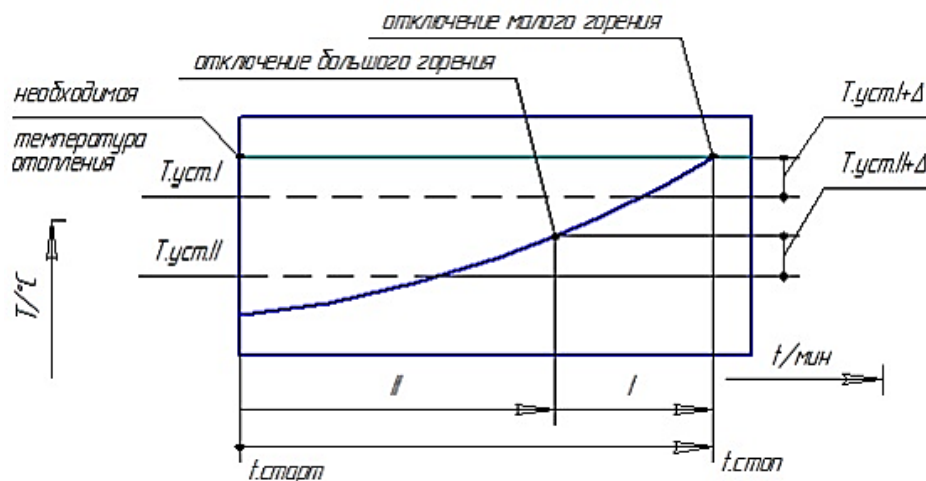


Рисунок 7.2 – Динамика работы котла при нагреве

Заданное значение температуры регулируется установкой I-ой ступени малого горения «Т.уст.I+Δ». Уставка для II-й ступени большого горения «Т.уст.II+Δ» должна быть меньше уставки малого горения не меньше чем на 5°C. Величины уставок большого и малого горения выбираются в зависимости от условий эксплуатации котла. В случае если температура теплоносителя в котле достигнет температуры уставки малого горения Т.уст.I+Δ произойдет отключения горелки котла в момент времени «t.стоп» (рисунок 7.3).

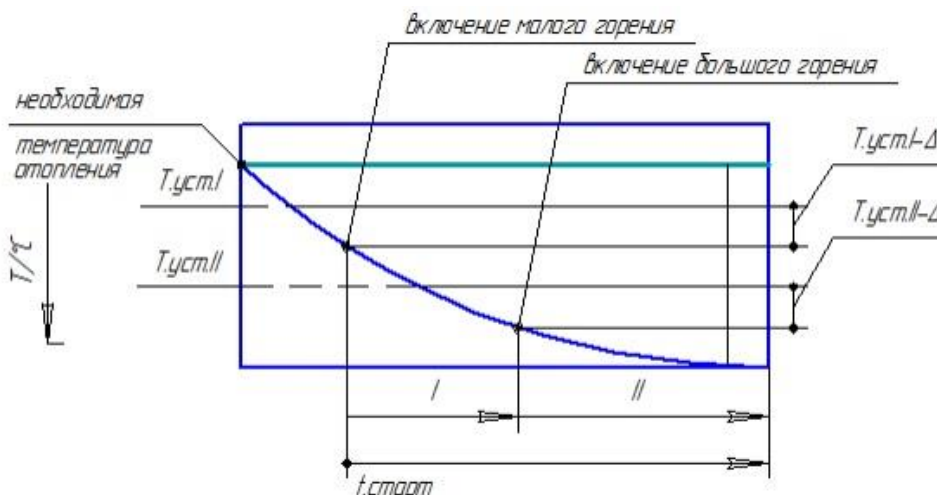


Рисунок 7.3 – Динамика работы котла при охлаждении

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

В момент времени «t.старт» после запуска горелки котла, котел начинает работать на 100% мощности (большое горение). При достижении температуры теплоносителя котла температуры уставки  $T_{уст. II+\Delta}$  происходит отключение большого горения, котел переходит в режим работы малого горения (I).

По мере охлаждения теплоносителя в котле до температуры уставки  $T_{уст. I-\Delta}$  произойдет включение малого горения горелки котла. В случае дальнейшего охлаждения температуры до уставки  $T_{уст. II-\Delta}$  – включиться режим большого горения.

Пульт управления ROSSMATIC 100 применяется для управления работой котла оснащенного горелкой с двухступенчатой системой регулирования. Включение/отключение ступеней горелки осуществляется регулятором 2TRM1/TRM202.

Контролируемые пультом управления параметры:

- давление теплоносителя (нижний предел), электроконтактный манометр;
- давление теплоносителя (верхний предел), электроконтактный манометр;
- температура теплоносителя предельная, капиллярный термостат;
- температура теплоносителя заданная (1 и 2 ступени), регулятор 2TRM1/TRM202;
- блокировка горелки.

На рисунке 7.4 представлен пульт управления Rossmatic 100.

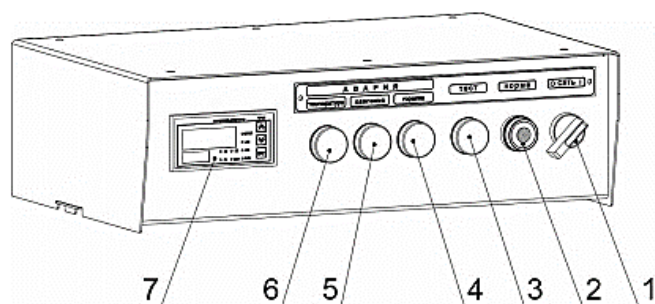


Рисунок 7.4 – Пульт управления Rossmatic 100:

- 1 – сетевой переключатель; 2 – индикатор «Норма» разрешения розжига горелки; 3 – кнопка «Тест» для проверки исправности световых индикаторов;
- 4 – индикатор «Горелка» сигнализирует о сигнале «Блокировка горелки»;
- 5 – индикатор «Давление», сигнал выхода давления теплоносителя за установленные пределы; 6 – индикатор «Температура» сигнал выхода температуры теплоносителя за установленные пределы;
- 7 – измеритель-регулятор 2TRM1/TRM202

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



## 8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

При обслуживании котельных установок на работника могут воздействовать вредные и опасные факторы, рассмотрим их более подробно.

1. Физические факторы – повышенная влажность воздуха, повышенная температура воздуха, тепловое излучение исходящее от нагретых поверхностей, трубопроводов, повышенный шум при работе оборудования (насосов, вентиляторов и др.), недостаточное естественное освещение.

2. Химические факторы – топливо котельной и продукты сгорания.

3. Факторы трудового процесса – травмоопасные и аварийные ситуации (утечка топлива, пожар, возможные поражения электрическим током, теплоносителем с высокой температурой или повышенным давлением).

К работе в котельной допускаются рабочие, прошедшие обучение и инструктаж по технике безопасности, обладающие практическими навыками безопасного выполнения работ.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала котельной предусмотрены защитные устройства:

- воздушно-указательные приборы для наблюдения за уровнем воды;
- водозапорный вентиль для регулирования расхода воды на котел;
- манометр, показывающий давление горячей воды;
- спускные и продувочные вентили;
- предохранительные клапана для автоматического выпуска избыточной воды из котла;
- воздушные клапана для удаления воздуха из котла.

Для оперативного оповещения обслуживающего персонала котельной, о нештатных ситуациях, в ЦУК устанавливается GSM модем ССU 825. Сигналы с GSM передаются на телефоны специалистов аварийно-диспетчерского персонала предприятия, обслуживающего котельную.

Требования безопасности к основному оборудованию:

- оборудование оснащается необходимыми средствами защиты и сигнализацией от отклонений рабочих параметров;
- металлические нетоковедущие части имеют заземление;
- постоянный контроль за исправным состоянием газового оборудования и газовых сетей;
- установка сигнализаторов для контроля параметров воздуха в помещении (загазованность воздуха оксидом углерода и природным газом)
- особые требования к полам: полы должны быть выполнены из негорючих материалов с негладкой и нескользкой поверхностью, иметь устройства для отвода воды в канализацию;
- размещение знаков безопасности у входа в газоопасные помещения.

Электробезопасность – это система организационных, технических мероприятий. А также средств защиты от поражений человека электрическим током. По сте-

пени надежности электроснабжения котельная относятся ко II категории. Основными потребителями электроэнергии являются насосы, задвижки, оборудованные электродвигателями.

Организационные мероприятия по электробезопасности включают в себя выбор оптимальных режимов работы персонала по обслуживанию электроустановок, ограничение мест и времени пребывания персонала в зоне воздействия электрического тока. Для защиты персонала от попадания под опасное для жизни напряжение, при повреждении изоляции, выполняется защитное зануление. В качестве проводников используются сальные трубы и нулевые проводники электропроводки, имеющие надежное соединение с нейтралью трансформаторов посредством нулевых жил питающих кабелей.

Молниеотводов и заземлители выполняют, используя арматуру колонн и фундаментов. Заземлению подлежат корпуса электрических машин, приводы электрических аппаратов, каркасы распределительных щитов, металлические кабельные конструкции, стальные трубы электропроводок, лотки, корпуса, тросы. К коллективным методам защиты относятся плакаты, знаки безопасности и ограждения, а к индивидуальным средствам – экранирующие комплекты (перчатки, костюмы, обувь), коврики, подставки, контактные выводы, проводники с зажимами и т.д. Для предотвращения поражения электрическим током при прикосновении к нетоковедущим частям, следует использовать защитное заземление. При эксплуатации и ремонте котельной необходимо соблюдать все требования противопожарной безопасности. Возникновение пожара, как правило, является следствием небрежного обращения с огнем, неправильного хранения горючих и легковоспламеняющихся материалов, а также вследствие неисправности электропроводки. Для предотвращения пожаров следует содержать в исправности электропроводку, не допускать захламления помещений, территории и рабочих мест. Организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности включают в себя:

- создание на объекте специальной службы, осуществляющей контроль эксплуатации и техническое обслуживание систем и средств противопожарной защиты. Или привлечение для выполнения данных задач специализированной организации, имеющей соответствующие лицензии МЧС РФ;
- организацию обучения персонала правилам пожарной безопасности;
- разработку мероприятий по действиям администрации, охраны, работающих на случай возникновения пожара и при организации эвакуации людей;
- разработка планов эвакуации и плана тушения пожара.

Инструкции о мерах пожарной безопасности разработаны на основе правил пожарной безопасности, нормативно-технических, нормативных и других документов, содержащих требования пожарной безопасности, исходя из специфики пожарной опасности здания, технологического и производственного оборудования.

- В инструкциях о мерах пожарной безопасности отражены следующие вопросы:
- порядок содержания территорий и помещений;
  - мероприятия по обеспечению пожарной безопасности при проведении технологических процессов, эксплуатации оборудования, производстве пожароопасных работ;

						<i>Лист</i>
					<i>13.03.01.2020.425.05 ПЗ</i>	75
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- порядок сбора, хранения и удаления горючих веществ и материалов, содержания и хранения спецодежды;
- обязанности и действия работников при пожаре, в том числе: правила вызова пожарной охраны;
- порядок аварийной остановки технологического оборудования; порядок отключения электрооборудования;
- правила применения средств пожаротушения и установок пожарной автоматики;
- порядок эвакуации горючих веществ и материальных ценностей.

Для борьбы с пожаром котельная оборудована противопожарным инвентарем:

- пенные химические огнетушители;
- порошковые огнетушители;
- гидранты;
- ящики с песком;
- лопаты;
- ведра.

Весь инвентарь располагается в доступном месте на входе в котельную.

Способы и средства тушения пожара разнообразны. Самое распространенное средство – это вода. Однако не всякий пожар можно тушить водой. Водой нельзя тушить горящий карбид кальция, легковоспламеняющиеся жидкости, а также электроустановки и электропроводку.

Для тушения возникшего от этих материалов пожара применяют густопенные и углекислотные огнетушители. В случае небольших очагов пожара используют сухой, чистый и просеянный песок.

Для тушения одежды на человеке, а также огня на небольших поверхностях применяют противопожарные одеяла – асбестовое полотно, брезент, кошму.

При обнаружении горящего газа на газопроводе необходимо:

- если имеется небольшая утечка горящего газа на фланцевых соединениях необходимо убрать находящиеся рядом с пламенем другие сгораемые материалы, после чего произвести обтяжку и чеканку фланцев;
- если факел горения небольшой, сбить его войлоком, фуфайкой, вязкой глиной, после чего произвести ликвидацию утечки газа;
- если горение газа обнаружено в местах разрыва газопроводов на длине не более 200 мм, пламя необходимо тушить струей из огнетушителя с последующим наложением биндажа с сальниковой набивкой на месте утечки газа.

Автоматизированная котельная по пожаровзрывоопасности относится к категории «Г» согласно ГОСТ 12.1.004-89 (2001), степень огнестойкости здания 2 согласно СНиП 21-01-97.

Взрывоопасность определяется физическими свойствами газа и соотношением количества воздуха и газа. Минимальное содержание газа в воздухе, при котором возможен взрыв, называется нижним пределом взрываемости, максимальное содержание газа в воздухе, выше которого смесь не взрывоопасна, называется верхним пределом взрываемости. Нижний предел взрываемости для природного газа

					13.03.01.2020.425.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

соответствует примерно 5%, верхний предел взрываемости соответственно 15%. При наличии взрывоопасной смеси газа с воздухом любой источник воспламенения вызывает взрыв.

Меры по предупреждению взрывов делятся на 2 группы:

1. Не допускать образования смеси воздуха с газом (надежная герметизация всех газовых установок и поддержания в них положительного давления не ниже 0,5 кПа);
2. Не допускать соприкосновения газа с каким-либо источником воспламенения.

### 8.1 Мероприятия по безопасности здания котельной

По взрывопожарной опасности производство относится к категории «Г», несущие конструкции по пожарной опасности – «КО» (не пожароопасные). Класс конструктивной пожарной опасности – «СО».

Принятые значения пределов огнестойкости приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Пределы огнестойкости строительных конструкций

Наименование конструкций	Минимальный предел огнестойкости, мин. по признаку потери		
	несущей способности	целостности	теплоизолирующей способности
Колонны	45	не нормируется	не нормируется
Самонесущие наружные стены	не нормируется	15	не нормируется

Обеспечение требуемых пределов огнестойкости металлических конструкций создается при помощи конструктивной огнезащиты, и огнезащиты составом ОЗК-01.

Двери и другие заполнения проемов в конструкциях с нормируемыми пределами огнестойкости предусмотрены противопожарными с пределом огнестойкости не менее предела огнестойкости конструкций, в которых они расположены. Узлы пересечения трубопроводами конструкций с нормируемой огнестойкостью выполнены с пределами огнестойкости, равными пределам огнестойкости пересекаемых конструкций.

Выход из помещения котельной и топливохранилища непосредственно наружу. Дверь котельного зала и топливохранилища – металлическая.

Все стальные конструкции огрунтовать грунтовкой ПФ-020 По огрунтованной поверхности нанести огнезащитную краску ОЗК-01 толщиной 1,6 мм высушенного слоя. Режим работы котельной – круглосуточный, в отопительный период.

Котлоагрегаты и вспомогательное оборудование отвечают требованиям стандартов системы безопасности труда, оснащены необходимыми средствами автоматики, отключающими котлы при аварийных ситуациях.

Поверхности оборудования и трубопроводов, нагревающиеся в процессе эксплуатации, теплоизолируются.

Электробезопасность обеспечивается устройством заземления.

Котельная обеспечена системой вентиляции и освещения в соответствии с нормативными требованиями по охране труда и техники безопасности.

## 8.2 Тепловая изоляция

Горячие поверхности оборудования, газоходов и трубопроводов изолируются из условия соблюдения температуры на поверхности изоляции не более 45 °С.

Для трубопроводов горячей воды предусмотреть изоляцию из трехслойного антикоррозионного покрытия на основе экструдированного полиэтилена 50 мм.

Изоляция производится в виде скорлупы и устанавливается на трубу с креплением полиэтиленовыми хомутами-стяжками. Стыки фасонных элементов скорлупы проклеиваются монтажной армированной лентой (скотчем).

Антикоррозийные работы по защите наружных и внутренних поверхностей оборудования, газоходов, и трубопроводов выполнить согласно требованиям.

## 8.3 Безопасность топливоподачи

Топливохранилище предназначено для приема, хранения и подачи топлива к котельной.

Предельно допустимая концентрация паров топлива в воздухе рабочей зоны 300 мг/м<sup>3</sup>. Дизельное топливо легкое представляет собой горючую жидкость. Взрывоопасная концентрация его паров в смеси с воздухом составляет 2–3 % (по объему). Температура самовоспламенения топлива марки «З» 310 °С. Температурные пределы воспламенения топлива марки «З»: нижний 62 °С, верхний 105 °С. Температура вспышки выше 30 °С.

В складе топлива устанавливаются два стальных горизонтальных резервуара объемом 10 м<sup>3</sup> каждый. Объем резервуаров принят на основании потребности котельной трехсуточный запас топлива.

Поступление дизельного топлива на склад осуществляется в автомобильных цистернах. Слив топлива из автоцистерн осуществляется через сливное устройство УС-80-1а.

На вводе в топлиохранилище предусмотрена установка изолирующего фланцевого соединения. Для очистки дизельного топлива на подаче его в топлиохранилище установлен фильтр стальной ФЖУ-40-1,6. Для отсекающей подачи топлива при заполнении резервуаров (защита резервуаров от перелива) на топливопроводе предусмотрена установка соленоидного электромагнитного клапана из Ду25. Топливопроводы заполнения резервуаров и циркуляции заведены в резервуары сверху. Подача топлива – через приемо-раздаточную трубу.

										Лист
										78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.425.05 ПЗ					

На отводе подающего топливопровода к каждой горелке предусмотрена установка запорной арматуры. Присоединение к горелке осуществляется гибкими шлангами  $l=1,5$  м. На выходе топлива из горелки на циркуляционном топливопроводе установлен обратный клапан Ду25.

Аварийный слив топлива из резервуара и разлившегося топлива в топливохранилище предусмотрен в приямок, из которого дизельное топливо топливопроводом Ду50 сливается в емкость аварийного слива дизельного топлива объемом  $10 \text{ м}^3$  подземной установки, расположенной на расстоянии 5 м от топливохранилища.

#### **8.4 Мероприятия по обеспечению условий безопасности трудового процесса**

Безопасность производственного процесса обеспечивается выбором режима работы оборудования и его размещением, профессиональным отбором и обучением работающих. С целью обеспечения безопасности объекта, предотвращения аварийных ситуаций и обеспечения взрыво- и пожаробезопасности топливохранилища, предусматриваются следующие мероприятия:

- резервуары для хранения дизельного топлива оборудуются вентиляционными патрубками с установкой на них огнепреградителей, приемно-раздаточными патрубками, приборами контроля и сигнализации уровня;
- запорная арматура размещается в местах, удобных и легкодоступных для управления и обслуживания;
- предусматривается использование взрывозащищенного оборудования в исполнении, соответствующим категориям и группам образующихся взрывоопасных смесей.

С целью своевременного обнаружения предаварийных ситуаций, связанных с наличием неорганизованных утечек дизтоплива из оборудования и возможностью возникновения опасной загазованности, применена система контроля загазованности, предусматривающая установку датчиков сигнализаторов до взрывных концентраций дизельного топлива. Для защиты кожи и тела от механических повреждений, вредного воздействия дизтоплива, рабочие склада снабжаются спецодеждой и спецобувью, перчатками, защитными очками, защитными приспособлениями. Для защиты органов дыхания от вредного воздействия углеводородных паров каждый работник установки снабжается индивидуальным противогазом. Эксплуатационная надежность проектируемых объектов электроснабжения обеспечивается выполнением следующих пунктов:

- используются типовые решения и комплектное оборудование;
- устройство системы заземления в соответствии с ПУЭ;
- предусмотрено использование только сертифицированного оборудования;
- все оборудование и материалы перед применением (до ввода в эксплуатацию) подлежат необходимым испытаниям и проверке.

Значения показателей качества электроэнергии в сети общего назначения, в точке присоединения проектируемого объекта не должны превышать значений, определяемых требованиями.

					<i>13.03.01.2020.425.05 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

В связи с отсутствием на предприятии потребителей, отрицательно влияющих на качество электроэнергии (отсутствуют постоянно включенные потребители с нелинейной, несимметричной и переменной нагрузкой), специальные мероприятия по повышению качества электроэнергии на объекте не предусматриваются. В соответствии с требованиями ПУЭ все металлические нетоковедущие части электрооборудования и осветительной арматуры подлежат заземлению. В качестве заземляющего проводника используется нулевой защитный проводник в питающей и групповой распределительной сети. Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током, в случае повреждения изоляции при косвенном прикосновении, в проекте применены следующие меры защиты:

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания с нормируемым ПУЭ временем отключения (устройства защитного отключения и дифференциальные автоматические выключатели);
- уравнивание потенциалов;
- дополнительная система уравнивания потенциалов;
- защитное электрическое разделение цепей;
- двойная или усиленная изоляция.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала все металлические нетоковедущие части электрооборудования согласно п. 1.7.13 ПУЭ зануляются с помощью нулевых защитных проводников (РЕ). В качестве нулевых защитных проводников используются пятая жила кабеля в трехфазной сети, с равномерной нагрузкой, третья жила кабеля в однофазной сети. Нулевой рабочий проводник (N) и нулевой защитный проводник (РЕ) разделены на всем протяжении. Заземление кабельных лотков в случае, если конструкцией лотков не предусмотрено использование их в качестве РЕ-проводников, то есть если конструкция лотков не обеспечивает в местах соединения отдельных секций непрерывность электрической цепи, выполняется ответвлениями от магистрального заземляющего проводника к каждому лотку и конструкции; магистральный заземляющий проводник присоединяется в начале и конце трассы к устройству заземления. В зоне действия УЗО нулевой рабочий проводник (N) после УЗО не должен иметь соединения с заземленными элементами установки. Проектом предусматривается защитное автоматическое отключение питания с нормируемым ПУЭ временем отключения и уравнивание потенциалов.

Уравнивание потенциалов выполняется путем металлического соединения зануленного электротехнического оборудования с металлическими частями технологического оборудования и трубопроводами. Соединения выполняются полосовой сталью 25×4,0 мм (ответвления от магистрали). Находящиеся внутри здания металлические конструкции, оборудование, трубопроводы и устройства уравнивания потенциалов должны быть присоединены к заземлителям – к проектируемой внутренней магистрали защитного заземления и уравнивания потенциалов (магистраль ЗЗУ), выполненной из стали 40×4,0 мм (магистраль) и присоединенной не менее, чем в двух местах к наружному контуру заземления (заземлителю молниезащиты) котельной.

Наружный контур заземления (заземлитель) выполняется из вертикальных электродов (сталь круглая диаметром 18 мм, длина 3,5 м), соединенных стальной полосой 40×5,0 мм.

Молниезащита металлических дымовых труб (газоотводящих стволов) предусматривается присоединением их к контуру заземления. Для защиты от прямых ударов молнии качестве молниеприемника проектом предусматривается одиночный стержневой молниеотвод присоединенные к наружному контуру заземления (заземлителю молниезащиты) не менее чем в двух местах. Наружный контур заземления выполняется стальной полосой сечением 40×5,0 мм проложенной по периметру здания на глубине 0,7 м, на расстоянии 1–3 м от стен.

В помещениях зданий, и наружных установках, где имеются взрывоопасные и пожароопасные зоны, предусматривается защита от статического электричества в соответствии с «правилами защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности».

Для защиты от статического электричества необходимо чтобы вся система трубопроводов, резервуары, тара, транспортные системы и технологическое оборудование в котором происходит движение жидкостей (на которых возможно накопление статического электричества) представляли собой непрерывный металлический проводник, присоединенный к магистрали защитного заземления и уравнивания потенциалов не менее чем в двух точках в пределах взрывоопасной (пожароопасной) зоны. Заземление всех аппаратов, емкостей, агрегатов выполняется отдельным проводником, независимо от заземления подходящих к ним коммуникаций. Емкости и резервуары объемом более 50 м<sup>3</sup> заземляются не менее, чем двумя проводниками с разных сторон резервуара.

Фланцевые соединения трубопроводов допускается выполнять без перемычек, при этом запрещаются не токопроводящие шайбы (пластмасса или окрашивание).

Для монтажа сетей электроснабжения в котельной проектом предусмотрены кабели, имеющие оболочки из ПВХ–пластиката пониженной горючести, не распространяющие горение с низким дымо- и газовыделением при одиночной прокладке и прокладке в пучках ВВГнг-LS (2 класс) – для питающих, распределительных сетей и сетей освещения в помещениях, прокладываемых открыто, на лотках и на конструкциях по стенам помещений.

Для аварийных средств защиты (аварийное освещение) применяются огнестойкие кабели, не распространяющие горение (ВВГнг-FRLS (2 класс)).

Все электрооборудование и материалы, примененные в проекте, должны иметь сертификат соответствия.

Выбор электрооборудования, электроаппаратов и светильников выполнен с учетом условий окружающей среды.

Минимальная освещенность, создаваемая светильниками эвакуационного антипанического освещения, составляет не менее 0,5 ЛК на всей свободной площади пола. Блок аварийного питания ES1, встроенный в светильник, обеспечивает работу в аварийном режиме одной лампы на время не менее 1 часа.

3. Светильники аварийного освещения и выключатели должны иметь отличительный знак («А»).

										Лист
										81
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.425.05 ПЗ					



## 9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

В связи с климатическими условиями у завода есть потребности в отоплении, вентиляции и горячем водоснабжении. Для выполнения поставленной задачи будут определены показатели сравнительной и общей экономической эффективности мероприятий по сооружению выбранного объекта в сравнении с подобными показателями объекта-аналога.

Экономическая часть раздела включает в себя расчетные оценки сравниваемых вариантов технических решений на основе специальных методов и показателей по установленным критериям экономической, энергетической и экологической эффективности. В управленческой части раздела выполняемой с применением комплекса аналитических и планово-организационных моделей для создания условий реализации выбирается лучший вариант решения.

### 9.1 Техничко-экономический расчет

В данной работе предлагается в качестве источника теплоснабжения ЦППН-7 использовать блочно-модульную котельную ART-МК 300 мощностью 13,5 МВт с двумя котлами RS-D5000 и одним RS-D3500 производства компании ООО «Завод Котельного Оборудования» г. Туймазы, а также вспомогательного оборудования.

При проведении технико-экономического расчета сравним два варианта:

1 вариант – установка автоматизированной блочно-модульной котельной ART-МК 300 мощностью 13,5 МВт производства компании ООО «Завод Котельного Оборудования», с котлами серии RS-D.

2 вариант – установка автоматизированной блочно-модульной котельной мощностью 13,5 МВт производства компании ООО «СтройИнженерПроект», с котлами серии «Термотехник» ТТ 100.

Цель проведения расчета – обосновать эффективность строительства автоматизированной блочно-модульной котельной ART-МК 300.

#### 9.1.1 Расчет капитальных затрат на строительство блочно-модульной котельной ART-МК 300

Сметные затраты на оборудование котельной представлены в таблице 9.1 [45 – 50].

Таблица 9.1 – Капитальные затраты на оборудование котельной

Наименование	Кол-во	Цена, тыс. руб.	Сумма тыс. руб.
1	2	3	4
Основное оборудование			
Котел RS-D5000 в комплекте с автоматикой безопасности производство фирмы «ROSSEN»	2	1200,00	2400,00

Продолжение таблицы 9.1

1	2	3	4
Котел RS-D3500 в комплекте с автоматикой безопасности производство фирмы «ROSSEN»	1	1150,00	1150,00
Газовая горелка F.B.R. К 550/М	2	799,81	1599,62
Газовая горелка F.B.R. К 350/М	1	674,63	674,63
Насос отопления котельной Wilo TOR-RL 30/6,5	1	13,73	13,73
Насос циркуляционный сетевой Wilo-CronoLine IL 100/170-30/2	3	280,00	840,00
Насос циркуляционный котловой Wilo BL 80/220-5,5/4	1	113,02	113,02
Насос циркуляционный котловой Wilo BL 125/120-7,5/4	2	157,29	314,58
Насос подпиточный Wilo Multivert MVI 7002/1	2	212,75	425,5
Бак запаса подпиточной воды T1000ФК23	1	15,63	15,63
Автоматическая установка ХВО	1	212,00	212,00
Расширительный мембранный бак ERCE 500	3	24,31	72,93
Расширительный мембранный бак ERCE 80	3	5,31	15,93
Итого по основному оборудованию			7847,57
Запорная арматура			
Затвор дисковый Ду 200	14	6,79	95,06
Затвор дисковый Ду 150	6	6,08	36,48
Кран шаровый фланцевый Ду 300	2	116,30	232,6
Кран шаровый фланцевый Ду 65	1	18,3	18,3
Клапан обратный Ду 150	3	5,3	15,9
Кран шаровый муфтовый Ду 32	8	1,0	8,0
Кран шаровый муфтовый Ду 25	14	0,7	9,8
Кран шаровый муфтовый Ду 20	15	0,6	9,0
Кран шаровый муфтовый Ду 15	13	0,5	6,5
Клапан обратный ПП63	4	0,2	0,8
Клапан обратный муфтовый Ду 32	1	0,3	0,3
Клапан обратный Ду 200	3	3,00	9,00
Итого по запорной арматуре			441,47
Прочее			
Здание котельной	1	3350,00	3350,00
Дымовая труба	1	1267,00	1267,00
Газопровод	1	6680,00	6680,00
Итого прочее			11297,00
Итого по оборудованию			19586,04

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

13.03.01.2020.425.05 ПЗ

Лист

83

Стоимость монтажных работ, разработка проекта и пусконаладочные работы определяются по прейскуранту ООО «АРТ Ижиниринг Групп» и сведена в таблицу 9.2 [52].

Таблица 9.2 – Проектные и строительные-монтажные работы

Наименование	Кол-во	Цена, тыс. руб.	Сумма, тыс. руб.
Разработка проекта	1	4560,00	4560,00
Монтаж здания котельной	1	1350,00	1350,00
Монтаж оборудования котельной	1	530,00	530,00
Прокладка газопровода	1	5500,00	5500,00
Пусконаладочные работы	1	1310,00	1310,00

Определим транспортные расходы на доставку и складирование оборудования (9.1):

$$K_{\partial} = 0,05 \cdot K_{об}, \quad (9.1)$$

где  $K_{об}$  – общая стоимость приобретаемого оборудования, тыс. руб.;  
 0,05 – расходы на грузовые перевозки 5 % (по данным транспортной компании ООО ТК «Байкал-Сервис» [51]).

$$K_{\partial} = 0,05 \cdot 19586,04 = 979,30 \text{ тыс.руб.}$$

Итого капитальные затраты на установку котельной составят:

$$K_1 = K_{рп} + K_{зд} + K_{об} + K_{смп} + K_{г} + K_{пнр} + K_{\partial}, \quad (9.2)$$

где  $K_{рп}$  – общая стоимость на разработку проекта, тыс. руб.;  
 $K_{зд}$  – общая стоимость монтажа здания котельной, тыс. руб.;  
 $K_{об}$  – общая стоимость приобретаемого оборудования, тыс. руб.;  
 $K_{смп}$  – итоговая стоимость строительные-монтажных работ, тыс. руб.;  
 $K_{г}$  – общая стоимость строительства газопровода, тыс. руб.;  
 $K_{пнр}$  – общая стоимость пусконаладочных работ, тыс. руб.;  
 $K_{\partial}$  – стоимость транспортных услуг по доставке приобретаемого оборудования, тыс. руб.

$$K_1 = 4560,00 + 1350,00 + 19586,04 + 530,00 + 5500,00 + 1310,00 + 979,30 = 33815,34 \text{ тыс.руб.}$$

### 9.1.2 Расчет капитальных затрат на строительство блочно-модульной котельной «Термотехник» ТТ100

Основой блочно-модульной котельной являются котлы Термотехник ТТ100 в количестве 3 шт. Сметные затраты на оборудование котельной представлены в таблице 9.3 [45 – 51].

Таблица 9.3 – Капитальные затраты на оборудование котельной

Наименование	Кол-во	Цена, тыс. руб.	Сумма тыс. руб.
1	2	3	4
<b>Основное оборудование</b>			
Котел «Термотехник» ТТ100 с автоматикой безопасности производство фирмы «Энтророс»	3	1340,00	4020,00
Газовая горелка «Cib Unigas» R91A M-MD.S.xx.A.1.80.EA	3	652,30	1956,90
Насос отопления котельной Grundfos ALPHA2 L 32-60	1	15,50	15,50
Насос циркуляционный сетевой Grundfos UPS 40-100 F	3	264,00	792,00
Насос циркуляционный котловой Grundfos UPS 25-50 130	1	125,68	125,68
Насос циркуляционный котловой Grundfos UPA 15-120	2	204,50	409,00
Насосная установка Grundfos CMBE	2	212,75	425,5
Бак запаса подпиточной воды AquaTech ATV1000 с поплавком	1	56,00	56,00
Установка пропорционального дозирования Etatron Pool Guard	1	164,85	164,85
Расширительный мембранный бак AquaTech 300	2	32,00	64,00
Расширительный мембранный бак AquaTech 100	2	12,40	24,80
Итого по основному оборудованию			8054,23
<b>Запорная арматура</b>			
Затвор дисковый Energy CVE1221 Ду 150	10	8,50	85,0
Затвор дисковый Energy CVE1221 Ду 200	5	7,5	37,5
Кран шаровый фланцевый LD Ду 250	3	84,5	253,5
Кран шаровый фланцевый LD Ду 65	1	22,3	22,3
Клапан обратный Energy BVE2436 Ду 200	2	7,6	15,2
Кран шаровый муфтовый LD Ду 32	8	1,5	12,0

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

13.03.01.2020.425.05 ПЗ

Лист

85

Продолжение таблицы 9.3

1	2	3	4
Кран шаровый муфтовый LD Ду 25			14
Кран шаровый муфтовый LD Ду 20			15
Кран шаровый муфтовый LD Ду 15			13
Клапан обратный Energy CVD6312 Ду80			4
Клапан обратный муфтовый Energy CVD6210 Ду 50			1
Клапан обратный Energy CVD6312 Ду 200			3
Итого по запорной арматуре			472,2
Прочее			
Здание котельной	1	3680,00	3680,00
Дымовая труба	1	2980,00	2980,00
Газопровод	1	5341,00	5341,00
Итого прочее			12001,00

Стоимость монтажных работ, разработка проекта и пусконаладочные работы определяются по прейскуранту ООО «АРТ Ижиниринг Групп» и сведена в таблицу 9.4.

Таблица 9.4 – Проектные и строительно-монтажные работы

Наименование	Кол-во	Цена, тыс. руб.	Сумма, тыс. руб.
Разработка проекта	1	4560,00	4560,00
Монтаж здания котельной	1	1350,00	1350,00
Монтаж оборудования котельной	1	720,00	720,00
Прокладка газопровода	1	5500,00	5500,00
Пусконаладочные работы	1	1285,00	1285,00

Определим транспортные расходы на доставку и складирование оборудования:

$$K_0 = 0,05 \cdot 20527,43 = 1025,37 \text{ тыс.руб.}$$

Итого капитальные затраты на установку котельной составят:

$$K_2 = 4560,00 + 1350,00 + 20527,43 + 720,00 + 5500,00 + 1285,00 + 1025,37 = 34967,80 \text{ тыс.руб.}$$

### 9.1.3 Определение текущих затрат на обслуживание блочно-модульной котельной ART-МК 300

Вычисляем расходы на обслуживание котельной. Годовые затраты на природный газ (9.3):

$$I_T = C_T \cdot B_{год}, \quad (9.3)$$

где  $C_T$  – тариф на природный газ, руб./м<sup>3</sup> ( $C_T = 3534$  руб./м<sup>3</sup> – по данным ПАО «СургутНефтеГаз» [53]);

$B_{год}$  – годовой расход газа, м<sup>3</sup>/год, по расчету главы 4.

$$I_T = 3534,0 \cdot 1720 = 6078,5 \text{ тыс.руб./год}$$

Годовые затраты на воду (9.4):

$$I_в = C_в \cdot G_{год}, \quad (9.4)$$

где  $C_в$  – тариф на воду, руб./м<sup>3</sup> ( $C_в = 29,15$  руб./м<sup>3</sup> – МУП «МВК» [47]);

$G_{год}$  – годовой расход воды, м<sup>3</sup>/год, по расчету главы 4.

$$I_T = 29,15 \cdot 1070 = 31,19 \text{ тыс.руб./год}$$

Годовые затраты на электроэнергию (9.5):

$$I_{эл} = C_э \cdot N_{год}, \quad (9.5)$$

где  $C_э$  – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч ( $C_э = 3,3$  руб./кВт·ч – по данным МУП «СургутЭнергия» [49]);

$G_{год}$  – годовая суммарная потребляемая мощность электродвигателей, электромеханизмов, приборов КИП и автоматики, кВт·ч /год.

$$I_{эл} = 3,3 \cdot 245512 = 810,2 \text{ тыс.руб./год}$$

Содержание и эксплуатация энергооборудования, включая содержание оборудования и его текущий ремонт (9.6):

$$I_{эк} = 0,01 \cdot C + 0,1 \cdot K_{об}, \quad (9.6)$$

где 0,01 – 1% на содержание и эксплуатацию энергооборудования;

0,1 – 10% на амортизацию энергооборудования;

$K_{об}$  – общая стоимость оборудования всей котельной, тыс.руб.

									Лист
									87
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.425.05 ПЗ				

$$I_{\text{эк}} = 0,01 \cdot 19586,04 + 0,1 \cdot 19586,04 = 2154,46 \text{ тыс.руб./год}$$

Цеховые расходы, включая зарплату персонала управления цеха, содержание и текущий ремонт цеховых зданий и сооружений (9.7):

$$I_p = 0,0025 \cdot K_{\text{об}} \quad (9.7)$$

где 0,0025 – 0,25% на цеховые расходы;

$K_{\text{об}}$  – общая стоимость оборудования всей котельной, тыс руб.

$$I_p = 0,0025 \cdot 19586,04 = 48,97 \text{ тыс.руб./год}$$

Сумма всех затрат (9.8):

$$I_{\Sigma} = \Sigma I_i = I_m + I_g + I_{\text{эл}} + I_{\text{эк}} + I_p \quad (9.8)$$

где  $\Sigma I_i$  – сумма всех затрат, тыс.руб./год;

$$I_1 = 6078,5 + 31,19 + 810,2 + 2154,46 + 48,97 = 9123,32 \text{ тыс.руб./год}$$

#### 9.1.4 Определение текущих затрат на обслуживание блочно-модульной котельной «Термотехник» ТТ100

Вычисляем расходы на обслуживание котельной. Годовые затраты на природный газ:

$$I_T = 3534,0 \cdot 1750 = 6184,5 \text{ тыс.руб./год}$$

Годовые затраты на воду:

$$I_T = 29,15 \cdot 987 = 28,77 \text{ тыс.руб./год}$$

Годовые затраты на электроэнергию:

$$I_{\text{эл}} = 3,3 \cdot 265300 = 875,5 \text{ тыс.руб./год}$$

Содержание и эксплуатация энергооборудования, включая содержание оборудования и его текущий ремонт:

$$I_{\text{эк}} = 0,01 \cdot 20527,43 + 0,1 \cdot 20527,43 = 2258,02 \text{ тыс.руб./год}$$

					13.03.01.2020.425.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

Цеховые расходы, включая зарплату персонала управления цеха, содержание и текущий ремонт цеховых зданий и сооружений:

$$I_p = 0,0025 \cdot 20527,43 = 51,32 \text{ тыс.руб./год}$$

Сумма всех затрат:

$$I_2 = 6184,5 + 28,77 + 875,5 + 2258,02 + 51,32 = 9398,11 \text{ тыс.руб./год}$$

### 9.1.5 Сравнение вариантов технических решений и выбор лучшего

Выбор лучшего варианта может быть установлен на основе сравнения приведенных затрат ( $Z_i$ ), рассчитываемых по выражению (9.9) по критерию минимума:

$$Z_i = E_n K_i + I_i \rightarrow \min, \quad (9.9)$$

где  $Z_i$  – приведенные затраты по  $i$ -му варианту, тыс.руб./год;

$K_i$  – единовременные (капитальные) затраты по  $i$ -му варианту технического решения, руб.;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, 1/год;

$I_i$  – годовые (текущие) затраты по  $i$ -му варианту технического решения, руб./год.

Сведем в таблицу 9.5 исходные данные для расчета приведенных затрат.

Таблица 9.5 – Исходные данные для расчета

Вариант	Капитальные $K$ , тыс. руб.	Текущие $I$ , тыс.руб/год
I вариант – установка автоматизированной блочно-модульной котельной ART-МК 300	33815,34	9123,32
II вариант – установка автоматизированной блочно-модульной котельной «Термотехник» ТТ100	34967,80	9398,11

$$K_1 < K_2$$

$$I_1 < I_2$$

Вывод: расчет по методу приведенных затрат не требуется, так как для I варианта – установка автоматизированной блочно-модульной котельной ART-МК 300 и капитальные, и текущие затраты меньше, чем для II варианта – установка автоматизированной блочно-модульной котельной «Термотехник» ТТ100, поэтому I



вариант экономически эффективнее. Экономия достигается за счет стоимости основного оборудования котельной, которая также отражается на стоимости его обслуживании и ремонте.

## 9.2 SWOT-анализ вариантов технических решений

SWOT-анализ – это определение сильных и слабых сторон предприятия (проекта), а также возможностей и угроз, исходящих из его ближайшего окружения (внешней среды):

1. Сильные стороны (Strengths) – преимущества предприятия (проекта);
2. Слабые стороны (Weaknesses) – недостатки предприятия (проекта);
3. Возможности (Opportunities) – факторы внешней среды, использование которых создаст преимущества предприятия на рынке;
4. Угрозы (Threats) – факторы, которые могут потенциально ухудшить положение предприятия на рынке.

Так как выпускная квалификационная работа посвящена установке блочно-модульной котельной для ЦППН-7, то произведем SWOT-анализ для двух вариантов. Для I варианта – установка блочно-модульной котельной ART-МК 300 SWOT-анализ представлен в таблице 9.6.

Таблица 9.6 – SWOT-анализ для варианта – установка блочно-модульной котельной ART-МК 300

Strengths:	Weaknesses:
1) Меньший удельный расход топлива; 2) Минимальные затраты на обслуживающий персонал; 3) Меньшая стоимость капитальных затрат; 4) Увеличенный межремонтный период; 5) Однотипность основного оборудования – возможность создания унифицированного резервного запаса ремонтных частей.	1) Значительно большая опасность утечки природного газа и как следствие, возможность взрыва; 2) Необходимость строительства газопровода;
Opportunities:	Threats:
1) Появление новых потребителей тепловой энергии;	1) Рост цен на топливо; 2) Обслуживание оборудования только у дилеров зарубежных компаний; 3) Задержки с поставкой нового оборудования и материалов;

Для II варианта – установка автоматизированной блочно-модульной котельной «Термотехник» ТТ100 SWOT-анализ представлен в таблице 9.7.

Таблица 9.7 – SWOT-анализ для варианта – установка блочно-модульной котельной «Термотехник» ТТ100

Strengths:	Weaknesses:
1) Меньший удельный расход топлива. 2) Повышение уровня автоматизации технологического процесса; 3) Увеличение межремонтного периода;	1) Большой удельный расход топлива; 2) Необходимость строительства газопровода; 3) Меньшая комплектация системы КИПиА; 4) Разнотипность основного оборудования – необходимость создания большого числа резервного запаса ремонтных частей;
Opportunities:	Threats:
1) Появление новых потребителей тепловой энергии; 2) Существование дилера по обслуживанию оборудования в регионе;	1) Задержки с поставкой нового оборудования и материалов; 2) Рост цен на топливо;

Проведя SWOT – анализ установка блочно-модульной котельной ART-МК 300 и «Термотехник» ТТ100, можно сделать вывод: установка блочно-модульной котельной ART-МК 300 является более целесообразным вариантом по наличию благоприятных возможностей, сильных и слабых сторон предприятия, определяющих пути его развития.

### 9.3 Планирование целей предприятия и проекта

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

Подведем некоторые итоги предыдущих разделов. Универсальным контекстом любого управления является опора на три вида средств: целей, задач и проблем. Все они выстраиваются в архитектуры древовидного типа (имеющие нисходящие ветви, как у деревьев). Нижние (разветвленные) уровни деревьев целей, задач и проблем тяготеют друг к другу. Три плоские пирамиды названных деревьев в управлении присутствуют всегда, имея единый фундамент, они параллельны. Когда дерево целей удастся развернуть до уровня, и нижестоящая цель обретает однозначный результат, под нее появляются ресурсы, а среди них – ответственные ресурсы (персонал), низовые проблемы начинают естественным образом «отваливаться». Намерение обретает силу, события начинают выстраиваться в логическую последовательность, а «пазлы» задач более высокого уровня – складываться в гармоничную картину результатов, приводящих к цели.

На рисунке 9.3.1 изображено дерево целей проекта установка автоматизированной блочно-модульной котельной ART-МК 300.

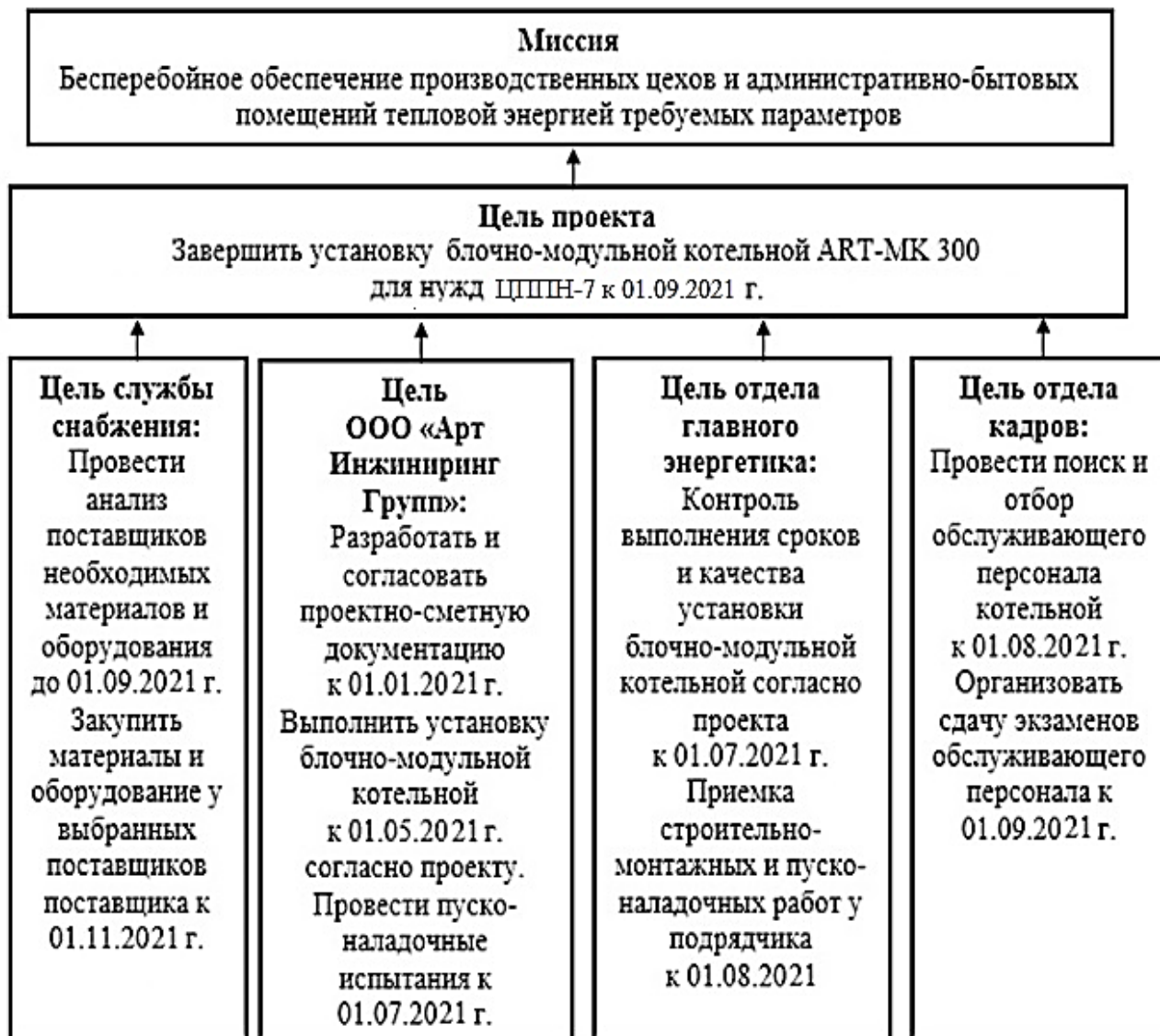


Рисунок 9.8 – Дерево целей проекта установки блочно-модульной котельной

#### 9.4 Планирование мероприятий по реализации проекта (график Ганта)

График Ганта является своеобразным стандартом в области управления проектами. График Ганта отражает примерное распределение процессов во времени и их логическую последовательность, должен быть скорректирован и дополнен при детальной проработке проекта изменений.

График Ганта позволяет:

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

График отображен в таблице 9.9.

Таблица 9.9 – График Ганта

Этапы работы	Исполнитель	Количество человек	Продолжительность этапов 01.08.2020 г. по 01.12.2021 г														
			август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август		
Анализ поставщиков необходимых материалов и оборудования	Менеджер отдела снабжения	1	■														
Закупка материалов и оборудования	Менеджер отдела снабжения	1		■	■												
Разработка и согласование проектно-сметной документации	Инженер-проектировщик, ГИП	3				■	■										
Установка блочно-модульной котельной	Монтажная группа	5						■	■	■	■						
Проведение пуско-наладочных испытаний	Инженер-наладчик	2										■	■				
Контроль выполнения монтажных и пуско-наладочных работ	Ведущий инженер ОГЭ	1							■	■	■	■	■				
Приемка монтажных и пуско-наладочных работ	Главный энергетик	1														■	
Поиск и отбор обслуживающего персонала	Специалист отдела кадров	1														■	
Сдача экзаменов обслуживающего персонала	Инженер отдела промышленной безопасности	1															■

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе предложен источник теплоснабжения для ЦППН-7 Приобского месторождения ХМАО-Югра ООО «РН-Юганскнефтегаз».

Предлагается строительство блочно-модульной котельной ART-МК 300 мощностью 13,5 МВт с двумя котлами RS-D5000 и одним RS-D3500 производства компании ООО «Завод Котельного Оборудования» г. Туймазы.

Тепловые нагрузки на отопление и вентиляцию составляют 11,8 МВт, на ГВС – 1,3 МВт.

К мероприятиям по энергосбережению котлов RS-D 5000 относятся: применение оребренных труб, малое аэродинамическое сопротивление, высокая скорость циркуляции теплоносителя в топочных трубах, малое тепловое напряжение топки.

Схем автоматизации котельной построена на базе контроллера ОВЕН ПЛК 110, а котла RS-D – на базе пульта управления Rossmatic 100.

Для снижения негативного воздействия на окружающую среду принимается одна дымовая труба внутренним диаметром 1,2 м и высотой 23 м.

Цели и задачи выпускной квалификационной работы были достигнуты, учтены все особенности работы котельной.

					<i>13.03.01.2020.425.05 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		94

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Приказ Ростехнадзора от 25.03.2014 №116 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти, № 38 от 21 сентября 2015 г.;
- 2 Приказ Минтруда РФ от 17.08.2015 №551н Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок. Опубликовано 07.10.2015 на pravo.gov.ru;
- 3 Приложение к приказу Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24 июля 2013 г. N 328н «Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»;
- 4 Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации;
- 5 Федеральный закон РФ от 21 июля 2011 г. № 256-ФЗ О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса;
- 6 Федеральный закон РФ от 18 июля 2011 г. №223-ФЗ О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц;
- 7 Приказ Минтруда РФ от 17.08.2015 №551н Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок;
- 8 ГОСТ 12.4.011-89. Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. М.: Издательство стандартов, 2015. – 44 с.;
- 9 ГОСТ31532-2012. Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения. М.: Госстандарт России, 2012. – 64 с.;
- 10 ГОСТ 31607-2012. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. М.: Стандартинформ, 2013. – 28 с.;
- 11 СН 423-71. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительстве. М.: Минрегион России, 2013. – 37 с.;
- 12 СП 124.13330.2012. Тепловые сети. Актуализированная редакция. М.: Минрегион России, 2012. – 31 с.;
- 13 СП 131.13330.2012. Строительная климатология. М.: Минрегион России, 2012. – 113 с.;
- 14 СП 89.13330.2012. Котельные установки. Актуализированная редакция. М.: Минрегион России, 2012. – 38 с.;
- 15 Стандарт НП АВОК 1.05.2012. Условные графические обозначения в проектах отопления, вентиляция, кондиционирование воздуха и теплоснабжения. М.: Москва, АВОК-пресс, 2012. – 24 с.;
- 16 СТО 024947335.4-02-2006. Стандарт организации. Расчет тепловых схем котельных. М.: СантехНИИпроект, 2006. – 84 с.;
- 17 СТО ЮУрГУ 04-2008. Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2008. – 57 с.;

					<i>13.03.01.2020.425.05 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		95

- 18 ПБ 10-574-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов, 2003. М.: Москва, ПИО ОБТ, 2005;
- 19 МДК 4-03.2001. Методика определения нормативных значений показателей функционирования водяных тепловых сетей систем коммунального теплоснабжения. М.: Госстрой России, 2004. – 51 с.;
- 20 МДК 4-05.2004. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения. М.: Госстрой, 2004. – 48 с.;
- 21 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.;
- 22 Алабугина, Р.А. Выпускная квалификационная работа: структура, требования к оформлению и нормоконтролю: методические указания / Р.А. Алабугина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – 43 с.;
- 23 Артунян, А.А. Основы энергосбережения / А.А. Артунян. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2007. – 600 с.;
- 24 Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.В. Ильницкая, и др.; Под общей редакцией С.В. Белова.— 8-е издание, стереотипное – М.: Высшая школа, 2009. — 616 с.;
- 25 Бузников, Е.Ф. Производственные и отопительные котельные / Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис, Э.И. Берзиньш. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 248 с.;
- 26 Булкин, А.Е. Автоматическое регулирование энергоустановок – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 508 с.;
- 27 Бухмиров, В.В. Методические рекомендации по оценке эффективности энергосберегающих мероприятий / В.В. Бухмиров, Н.Н. Нурахов, П.Г. Косарев. – М.: Институт качества высшего образования НИТУ «МИСиС», 2014. – 96 с.;
- 28 Грибанов, А.И. Расчёт дымовой трубы / А.И. Грибанов. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2008. – 22 с.;
- 29 Зайцев, Н.Л. Экономика, организация и управление предприятием: учебное пособие / Н.Л. Зайцев. – М.: Инфра-М, 2008. – 455 с.;
- 30 Манюк, В.И. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: справочник / В.И. Манюк, Каплинский Я.И., Хиж Э.Б. – М.: Либроком, 2009. – 432 с.;
- 31 Камфер, Г.М. Теплотехника: учебник для вузов / Г.М. Камфер, М.Г. Шатров, К.А. Морозов. – М.: Высшая школа, 2009. – 671 с.;
- 32 Клименко, А.В. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочный лист Изм Лист № докум. Подп. Дата 79 13.03.01.2017.269.05 ПЗ ник / А.В. Клименко, В.М. Зорина. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 327 с.;
- 33 Колесников, А.И. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях / А.И. Колесников, Ю.М. Варфоломеев, М.Н. Федоров. – М.: Инфра – М, 2010. – 160 с.;
- 34 Лумми, А.П. Расчет водогрейного котла / А.П. Лумми, В.А. Мунц. – Екатеринбург: Издательство ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2009. – 41 с.;

					13.03.01.2020.425.05 ПЗ	Лист
						96
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- 35 Палей, Е.Л. Нормативные требования и практические рекомендации при проектировании котельных / Е.Л. Палей. – СПб.: Питер, 2014. – 144 с.;
- 36 Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.;
- 37 Росляков, П.В. Методы защиты окружающей среды / П.В. Росляков. – М.: Издательство МЭИ, 2007. – 336 с.;
- 38 Сидельковский, Л.Н. Котельные установки промышленных предприятий: учебник для вузов / Л.Н. Сидельковский, Ю.Б. Юрьев. – Издательство Бастет, 2009. – 528 с.;
- 39 Соколов, Б.А. Паровые и водогрейные котлы малой мощности / Б.А. Соколов. – М.: Academia, 2008, – 64 с.;
- 40 Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е.Я. Соколов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 472 с.;
- 41 Соколова, Н.А. Аутсорсинг как инструмент сокращения затрат в условиях мирового финансового кризиса / Н.А. Соколова // Экономика, управление и инвестиции: Сборник научных трудов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 95 с.;
- 42 Трухний, А.Д. Основы современной энергетики / А.Д. Трухний. – М.: Издательство МЭИ, 2008. – 472 с.;
- 43 Тупов В.Б. Шумовое воздействие энергетических объектов на окружающую среду и методы его снижения. В справочнике: «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» / под общ.ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина, Издательство МЭИ, 2004. – 598 с.;
- 44 Официальный сайт Строительство технологии организация – [www.httstopress.ru](http://www.httstopress.ru);
- 45 Официальный сайт Энергопромстрой завод котельного оборудования – [www.energoprom-stroy.ru](http://www.energoprom-stroy.ru);
- 46 Официальный сайт АО «Газовые системы» – [www.gassystems.ru](http://www.gassystems.ru);
- 47 Официальный сайт Приборинвест – [www.priborinvest.by](http://www.priborinvest.by);
- 48 Официальный сайт интернет-магазин сантехники «Сантех-март» – [www.stm66.ru](http://www.stm66.ru);
- 49 Официальный сайт ООО «Байкал-Сервис» – [baikalsr.ru](http://baikalsr.ru);
- 50 Официальный сайт ООО «АРТ Ижиниринг Групп» – <http://арт-инжиниринг.рф>;
- 51 Официальный сайт ООО «СтройИнженерПроект» – <http://www.stinproject.ru>;
- 52 Официальный сайт ООО «Завод Котельного Оборудования» – <http://www.zkotel.ru>;
- 53 Официальный сайт ПАО «СургутНефтеГаз» – <https://www.surgutneftegas.ru>.



