

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

ВЫПУСКНАЯ  
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ПРОВЕРЕНА

Рецензент, Директор  
ООО «ЭффектЭнергоСтрой»  
\_\_\_\_\_ А.М. Чирков  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой  
«Промышленная теплоэнергетика»  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ К.В. Осинцев  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Разработка источника теплоснабжения ООО «ЭффектЭнергоСтрой»  
и ОАО «ЧМЗ» в Ленинском районе г. Челябинска**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА  
ЮУрГУ – 13.03.01.2020.016.12. ПЗ ВКР

Консультант по разделу  
«Безопасность жизнедеятельности»,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ И.П. Палатинская  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Руководитель работы,  
Преподаватель  
\_\_\_\_\_ Ю.С. Приходько  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Консультант по разделу  
«Экономика и управление»,  
Старший преподаватель  
\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы,  
Студент группы П-479  
\_\_\_\_\_ А.Д. Хруцкая  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер,  
Старший преподаватель  
\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

## АННОТАЦИЯ

Хруцкая А.Д., Разработка источника теплоснабжения ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ» Ленинского района г. Челябинска. – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, Э; 2020, 89 с., 11 ил., библиогр. список – 68 наим., 5 листов чертежей ф.А1, 2 демонстрационных листа ф.А1

В выпускной квалификационной работе представлена разработка источника теплоснабжения ООО "ЭффектЭнергоСтрой" и ОАО "ЧАМЗ" Ленинского района г. Челябинска, в связи с нехваткой мощности существующей котельной.

Целью ВКР является поиск решения задачи по обеспечению нормативной надежности теплоснабжения для потребителей. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, в котором описывается проблема и предлагаются варианты ее решения, 10 глав, заключения и библиографического списка.

В первой главе приводятся обоснование и актуальность, цели и задачи проекта. Во второй главе анализируется обзор литературных источников. В третьей главе дается сравнение отечественных и зарубежных аналогов котельного оборудования и выбирается наиболее выгодный. В 4 главе представлены расчеты: тепловых нагрузок на вентиляцию и отопление, схемы котельной, теплового баланса котла. Так же производится подбор вспомогательного оборудования. Пятая глава посвящена исследованию теоретических и реальных показателей котла. В шестой главе описаны варианты энергосбережения, в 7 главе разобраны вопросы экологии, выбирается оптимальная высота дымовой трубы и рассчитывается концентрация вредных веществ. В 8 главе подбираются необходимые контрольно-измерительный приборы и автоматика, в девятой главе описываются все требуемые меры по обеспечению безопасности жизнедеятельности. В 10 главе проанализирована выпускная квалификационная работа с точки зрения экономики и управления.

В заключении представлены развернутые выводы по разработке источника теплоснабжения ООО "ЭффектЭнергоСтрой" и ОАО "ЧАМЗ" Ленинского района г. Челябинска.

Графическая часть выполнена с применением КОМПАС-3D – системы автоматизированного проектирования на листах формата А1.

					<i>13.03.01.2020.012.16.ПЗ</i>					
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>						
<i>Разраб.</i>	<i>Хруцкая А.Д.</i>				<i>Разработка источника теплоснабжения ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ» в Ленинском районе г. Челябинска</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>		
<i>Провер.</i>	<i>Приходько Ю.С.</i>					<i>В</i>	<i>К</i>	<i>Р</i>	<i>3</i>	<i>83</i>
<i>Реценз.</i>						<i>ЮУрГУ</i>				
<i>Н. Контр.</i>	<i>Алабугина Р.А.</i>					<i>Кафедра «Промышленная теплоэнергетика»</i>				
<i>Утверд.</i>	<i>Осинцев К.В.</i>									

## ОГЛАВЛЕНИЕ

АННОТАЦИЯ.....	3
ОГЛАВЛЕНИЕ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ФИРМЫ ООО «ЭФФЕКТЭНЕРГОСТРОЙ» И ОАО «ЧАМЗ» ЛЕНИНСКОГО РАЙОНА Г. ЧЕЛЯБИНСКА.....	7
2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	8
3 СРАВНЕНИЕ ПЕРЕДОВЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....	9
4 РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.....	13
4.1 Определение тепловых нагрузок .....	13
4.1.1 Определение тепловой нагрузки на отопление.....	13
4.1.2 Определение тепловой нагрузки на вентиляцию.....	15
4.1.3 Определение тепловой мощности источника теплоснабжения .....	16
4.2 Тепловой расчет схемы котельной.....	17
4.3 Тепловой расчет котла.....	23
4.3.1 Описание котлового агрегата марки IVAR SUPERRAC 2330 .....	23
4.3.2 Исходные данные .....	25
4.3.3 Расчет теоретического объема воздуха.....	25
4.3.4 Тепловой баланс котельного агрегата.....	30
4.4 Поверочный расчет топочной камеры.....	31
4.5 Выбор вспомогательного оборудования .....	35
4.6 Выбор горелочного устройства .....	35
4.7 Выбор насосов .....	35
4.8 Выбор оборудования для водоподготовки.....	36
5 НАУЧНАЯ ЧАСТЬ. ИСЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И РЕАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОТЛА.....	36
5.1 Измерение действительных параметров работы котла .....	37
5.2 Результаты исследования параметров водогрейного котла IVAR Super-Rac 2330 с горелкой Baltur.....	41
6 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	41
7 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ.....	44
8 КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И АВТОМАТИКА.....	51
9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	56
9.1 Безопасность при эксплуатации теплоэнергетического оборудования.....	56
9.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	57
9.3 Воздух рабочей зоны.....	57
9.4 Нормирование шума и вибрация .....	58
9.5 Освещение рабочей зоны .....	60
9.6 Электробезопасность.....	62
9.7 Пожаровзрывобезопасность.....	63

10 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ.....	65
10.1 Расчет капитальных затрат на разработку источника теплоснабжения фирмы ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ»....	65
10.2 Расчет текущих затрат по вариантам проектных решений .....	67
10.2.1 Расчет срока окупаемости проекта.....	71
10.3 SWOT-анализа вариантов технических решений.....	72
10.4 Построение дерева целей повышения энергетической эффективности.....	73
10.5 Ленточный график мероприятий по реализации проекта .....	74
10.6 Основные показатели энергетической, экологической и экономической эффективности.....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	77
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	78

## ВВЕДЕНИЕ

Газовые котельные на сегодняшний день - наиболее востребованный источник теплоснабжения. Данное оборудование широко используется в самых разных сферах и применяется для обеспечения отоплением и горячей водой различных объектов, в том числе промышленных производств, строительных площадок, административных, жилых и общественных объектов. Современные газовые котельные не имеют привязки к устаревшим и обеспечивают производство нужного объема недорогой тепловой энергии.

Современные малые водогрейные котельные часто оборудованы несколькими жаротрубно-дымогарными водогрейными котлами, работающими на природном газе. КПД таких котлов превышает 90%. Система автоматики сделала такие котельные полностью автономными, не требующими присутствия обслуживающего персонала. Также автоматика позволила сделать котельные зависимыми от погоды, что позволяет экономить топливо на промежуточных режимах работы. Обычно новые котельные подключаются к существующим тепловым сетям, в связи с чем для продления срока службы оборудования разделяют контуры котельной и тепловой сети. Часто такие котельные предлагаются в блочном исполнении, что позволяет ещё больше сократить сроки запуска.

В работе выполнена разработка источника теплоснабжения для фирмы ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ» Ленинского района г. Челябинска. Предусмотрена установка двух основных и одного резервного жаротрубно-дымогарных водогрейных котлов итальянской фирмы IVAR серии SUPERRAC 2330 2,36МВт каждый.

										Лист
										6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2020.016.12 ПЗ

# 1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ФИРМЫ ООО «ЭФФЕКТЭНЕРГОСТРОЙ» И ОАО «ЧАМЗ» ЛЕНИНСКОГО РАЙОНА Г. ЧЕЛЯБИНСКА

В связи с недостаточной мощностью отопительной котельной фирмы ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ» было принято решение о постройке новой котельной для нужд отопления и вентиляции.

Предполагается установка трех работающих на природном газе водогрейных котлов IVAR SuperRAC 2330 мощностью 2,36 МВт каждый, КПД которых составляет 91,9%. Котлы оборудованы турбуляторами, за счет чего дымовые газы двигаются вихреобразно, что обеспечивает более эффективный теплообмен. Тепловые сети находятся в хорошем состоянии, в связи с этим предусматривается независимая, двухконтурная схема присоединения контура котельной к существующему контуру сети.

Котельная полностью автоматизирована, что позволяет поддерживать температуру теплоносителя в соответствии с заданным температурным графиком без перерасхода топлива, и, к тому же, не требует постоянного присутствия персонала.

Актуальность разработки источника теплоснабжения так же обозначена в ФЗ №261 «Об энергосбережении и о повышении эффективности энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1]. Основные мероприятия данного закона направлены на реализацию мер по экономии топлива, вызванную постоянным ростом стоимости и ограниченностью запасов органического топлива, снижением потерь и повышению эффективности использования ресурсов. Наибольшее сбережение топлива возможно только при комплексном подходе к выбору основного и вспомогательного оборудования, его верной наладке и организации систем автоматизации, вследствие этого наиболее перспективным является направление о постройке новых современных источников теплоснабжения.

Актуальность данной работы заключается в проектировании нового источника теплоснабжения в соответствии с новыми требованиями по энергосбережению, а не реконструкция старого, который будет соответствовать всем современным требованиям.

									Лист
									7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.01.2020.016.12 ПЗ

## 2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

В процессе написания выпускной квалификационной работы, были изучены нормативно правовые акты, основной из них – Федеральный закон №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1]. Эти нормативно-правовые акты направлены на выполнение мероприятий по оптимизации использования энергетических ресурсов и внедрению современных энергосберегающих технологий. Так же были использованы ГОСТы, СНиПы, руководства по эксплуатации, учебно-методическая литература и интернет ресурсы.

Расчет тепловых нагрузок, расходов, выполнены с использованием учебника «Теплофикация и тепловые сети» автора Е.Я. Соколова [2]. Для определения исходных данных использовался СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» [3]

Расчет тепловой схемы котельной проводился по учебному пособию Е.В. Шумилина «Расчет тепловых схем и подбор основного оборудования котельных» [4], также использовался нормативный документ СП 89.13330.2012. Котельные установки [5].

Расчет жаротрубно-дымогарного котла выполнен на основании книги «Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод» под редакцией Н.В. Кузнецова [6] по методике, изложенной в учебном пособии «Расчет жаротрубного дымогарного котла» авторов А.П. Лумми, В.А. Мунц[7].

В разделе с вопросами экологии было использовано учебное пособие «Промышленная экология» под редакцией В.В. Денисова [8], а также было использовано пособие «Очистка дымовых газов» А.И. Грибанова [9]. Расчет массовых выбросов загрязняющих веществ и высоты дымовой трубы выполнен по методике, изложенной в пособии А.И. Грибанова «Расчет дымовой трубы» [10].

Контрольно-измерительные приборы и автоматика котельной были изучены с использованием ГОСТ 21.208-2013 «Автоматизация технологических процессов. Обозначения условны приборов и средств автоматизации в схемах» [11]

Экономико-управленческая часть выполнена с помощью использования методики, изложенной в пособии «Экономико-управленческая часть выпускных квалификационных работ для направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника»» авторов А.А. Алабугин, Р.А. Алабугина.[12]

Раздел «Безопасность жизнедеятельности» основан некоторых документах: приказ Минтруда России №551н от 17.08.2015 «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок» [13]; ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [14]; ФЗ-123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [15]; «Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок» [16].

### 3 СРАВНЕНИЕ ПЕРЕДОВЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

Водогрейный котел — это генератор тепла; устройство, в котором в результате сжигания топлива вырабатывают необходимое тепло, передающее жидкому теплоносителю. Основное оборудование в котельной – водогрейный жаротрубно-дымогарный котел. Такие котлы получили наибольшее распространение в маленьких котельных на нужды отопления по причине своей компактности, высокого КПД, не очень высокой стоимости, но высокой надежности. На рисунке 2.1 представлен разрез двухходового жаротрубно-дымогарного котла.

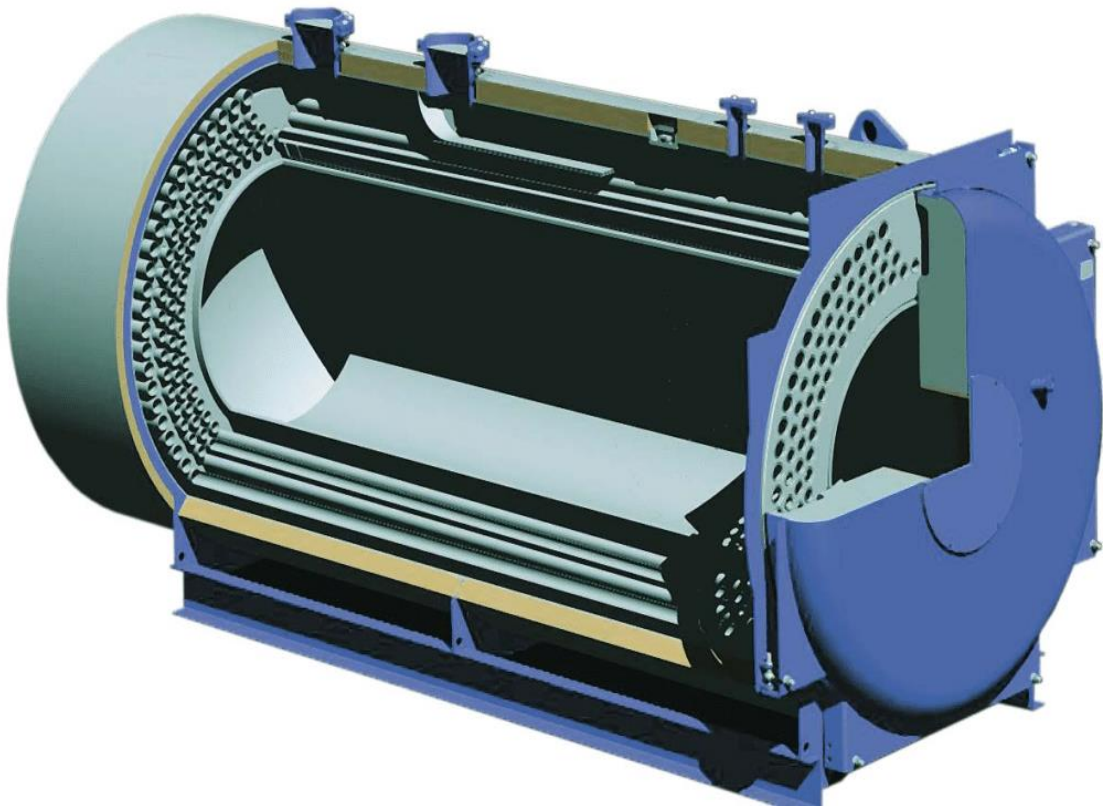


Рисунок 2.1– Схематичный разрез двухходового жаротрубно-дымогарного котла [17]

Существует большое разнообразие данных котлов, но время схемы движения дымовых газов и воды похожи. Эти агрегаты имеют одну блочную автоматизированную горелку, не требуют установки дорогостоящих дымососов и регулирования разряжения в топке. В них водяное пространство пронизывают топочная камера и ряд дымогарных труб.

Горение газа в этих котлах происходит в жаровой трубе (топке). Продукты сгорания топлива доходя до дна топки разворачиваются и двигаются к передней части котла (двери). Где ударяются об нее, тем самым разворачиваются. Далее попадают в дымогарные трубы второго хода, в которых, в ряде установок,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.01.2020.016.12 ПЗ

Лист

9



предусмотрены турбулизаторы, обеспечивающие завихрение и снижение скорости потока газа, в результате обеспечивается более эффективное использование тепла продуктов сгорания. Вокруг топки находится водяной объем котла, он значительно больше водотрубных, что обеспечивает более равномерный режим работы. Пройдя дымогарные трубы уходящие газы попадают в сборный дымовой короб и оттуда в газоход [17].

Проведем сравнение отечественных и зарубежных водогрейных жаротрубно-дымогарных котельных установок. Водогрейные стальные котлы SuperRAC[18] произведены на заводе IVAR (Италия) и предназначены для использования в промышленных отопительных и технологических котельных.

Стальные котлы серии SUPERRAC предназначены для приготовления горячей воды с максимальной расчетной температурой до 115°C. Используются в промышленных отопительных и технологических котельных. Имеется возможность работы на всех традиционных жидких и газообразных видах топлива.

Котлы имеют «плавающую» топку, что позволяет избежать деформации и статического напряжения при тепловом расширении. Второй ход топки оснащен специальными турбулизаторами из нержавеющей стали, предназначенными для повышения КПД котла. Дымовая камера снабжена конденсатоотводчиком. Трубный пучок выступает из задней трубной плиты, что позволяет сохранить более высокую температуру в районе сварных швов и предотвратить образование конденсата и вследствие чего защитить сварные швы от коррозионного разрушения. Современная конструкция котла позволяет достигать высокого КПД и сохранять высокие эксплуатационные характеристики в течение всего срока службы котла.

На котлах установлен пульт управления, который позволяет эксплуатировать котла в автоматическом режиме.

Преимущества котлов данной серии:

- Максимальное давление до 10бар;
- Дополнительная обшивка с теплоизоляцией передней стенки котла, что реально позволяет держать температуру не более 55°C в соответствии с ПБ10-574-03;
- Турбулизаторы изготовлены из нержавеющей стали, что позволяет увеличить срок их службы и снизить финансовые затраты на эксплуатацию котла;
- Может быть установлено устройство искусственного климата, что позволяет обеспечивать работу котла на основе данных внешней температуры;
- Может быть установлена дополнительная обшивка с теплоизоляцией задней стенки котла;
- Может быть произведена механическая и электрическая подготовка котла под устанавливаемую на него горелку.

При выборе отечественных агрегатов была выбрана модель VALDEX СЕРИИ M2B [19]. Данные котлы работают на природном газе или на легком жидком топливе (в зависимости от типа горелочного устройства). Средний срок службы не менее 10 лет. Котлы надежные, легкие в обслуживании и энергоэффективные.

Особенностью конструкции Серии M2 является жаровая труба с обратным ходом продуктов сгорания. Жаровая труба имеет эксцентричное расположение,

										Лист
										10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2020.016.12 ПЗ

смещенное вниз относительно наружной обечайки. Для повышения эффективности процессов теплообмена в дымогарные трубы вставлены интенсификаторы теплообмена.

С фронта котла расположена открывающаяся неохлаждаемая поворотная камера, на которой устанавливается горелочное устройство. Конструкция поворотной камеры позволяет открывать её на любую сторону котла. При открытии камеры обеспечивается доступ для наружного осмотра жаровой трубы и дымогарных труб.

Котлы Valdex M2 выпускаются в блочном исполнении. В качестве тепловой изоляции применяются минераловатные маты. Наружная обшивка изделий – металлическая. Данный вид котельного агрегата имеет следующие преимущества:

- Меньше шлама: отсутствие в нижней зоне котла дымогарных труб способствует меньшему скоплению шлама;
- Высококачественные материалы: дымогарные трубы изготавливаются только из бесшовной котловой трубы, топка и трубные решетки из жаростойкой стали;
- Рабочее давление до 6 бар;
- Компактность: минимальная ширина котла позволяет сэкономить пространство в котельной;
- Эргономичность: топка котла имеет нижнее расположение, а все дымогарные трубы расположены в его верхней части. Такая компоновка позволила создать самый узкий котел на рынке в диапазоне мощностей до 2,3 МВт.

Высокоэффективная теплоизоляция обеспечивает минимальные потери тепла. Гарантированно низкий уровень выбросов  $NO_x$  за счет равномерного распределения пламени в топочном пространстве, применения запатентованного смешивающего устройства для оптимального сгорания топливовоздушной смеси в горелочном устройстве. Основные характеристики котлов сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1– Характеристики котлов IVAR SUPERRAC 2330 и VALDEX M2B

Параметры котельного агрегата	IVAR SUPERRAC 2330	VALDEX M2B
Топливо	Природный газ, дизельное топливо	Природный газ, дизельное топливо
Номинальная тепловая мощность, МВт	2,36	2,3
Максимальная температура воды, °С	115	115
КПД, %	91,9	91,3
Масса, кг	3710	3400
Габариты, ДхШхВ, мм	3535x1610x1800	3600x1950x2050

Продолжение таблицы 2.1

Параметры котельного агрегата	IVAR SUPERRAC 2330	VALDEX M2B
Минимальная температура воды на входе в котел, °С	70	70
КПД, %	91,9	91,3
Масса, кг	3710	3400
Габариты, ДхШхВ, мм	3535x1610x1800	3600x1950x2050
Стоимость, тыс. руб.	1755,85	1530,05

Из таблицы видно, что котел от производителя IVAR, несмотря на более высокую стоимость (на 14,7 % дороже отечественного образца) при большей производительности обладает меньшими габаритами, что в свою очередь снижает необходимые размеры помещения для размещения, снижая капитальные затраты на строительство и монтаж. Разница в цене во время эксплуатации окупится благодаря более высокому КПД, за счет меньшего расхода топлива.

## 4 РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В данной части необходимо вычислить требуемые тепловые нагрузки систем отопления и вентиляции. Учитывая полученные тепловые нагрузки, производится расчет тепловой схемы, по результатам которого выбирается количество и единичная мощность котельных агрегатов. Далее производится тепловой расчет котла. Выбор вспомогательного оборудования котельной – насосы и установки химводоочистки производится по тепловому расчету.

### 4.1 Определение тепловых нагрузок

Расход тепловой энергии отопление жилых, общественных и производственных зданий следует принимать в соответствии с индивидуальным проектом здания или сооружения. Для анализа теплотехнических показателей принятого конструктивно планировочного решения расчет теплотерь ограждения здания производится с помощью определения удельной тепловой характеристики здания,  $q_0$ , Вт/(м<sup>3</sup>·°С), численно равной тепловым потерям 1 м<sup>3</sup> здания в Вт при разности температур внутреннего и наружного воздуха ( $t_e - t_{н.о.}$ ), °С.

Исходные данные для расчета их СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» [4]:

- Расчетная температура наружного воздуха в холодный период года:  $t_{н.о.} = -34^\circ\text{C}$ ;
- Продолжительность работы системы отопления  $n_0 = 218$  сут.

При расчете тепловых нагрузок учитывается температура воздуха внутри помещений. В соответствии с требованием СНиП «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» для г. Челябинска принимаем  $t_e = +20^\circ\text{C}$ .

#### 4.1.1 Определение тепловой нагрузки на отопление

Определение тепловых нагрузок на отопление и вентиляцию применяется метод расчета по укрупненным показателям с использованием удельных тепловых нагрузок для различных категорий объектов теплоснабжения [4]. Расчет ведется для зимнего периода при температуры наиболее холодной пятидневки за последние 50 лет средняя за 8 зим  $t_{н.о.}$ .

Расчетная нагрузка на отопление  $Q_0'$  рассчитывается по формуле (4.1) [20]:

$$Q_0' = q_0 \cdot V_n \cdot \alpha \cdot (t_e - t_{н.о.}), \quad (4.1)$$

где  $q_0$  – удельная тепловая характеристика здания для расчета отопления, Вт/(м<sup>3</sup>·°С). Для каждого здания удельная тепловая характеристика индивидуальна, и принимается в зависимости от объема здания и его назначения по справочным данным [28];

$\alpha$  – поправочный коэффициент учитывающий климатические условия района строительства здания и применяемый в случаях, когда расчетная температура наружного воздуха отличается от  $t_{н.о.} = -34$  °С, определяется по формуле (4.2):

$$\alpha = 0,54 + \frac{22}{(t_g - t_{н.о.})} \quad (4.2)$$

Для административно-бытового здания поправочный коэффициент определяется по формуле (4.2):

$$\alpha = 0,54 + \frac{22}{(20 - (-34))} = 0,947$$

$V_n$  – строительный объем здания, м<sup>3</sup>.

В таблице 4.1 представлены строительный объем зданий и удельная тепловая характеристика потребителей.

Таблица 4.1 – Удельная тепловая характеристика и строительный объем зданий

Здание	$V_n$ , м <sup>3</sup>	$q_0$ Вт/(м <sup>3</sup> · °С) по отопительным характеристикам
Административно-бытовое здание	27160,2	0,486
Теплый склад	16684,8	0,479
Цех	47115,6	0,430
Котельная	305,7	0,795
Проходная	192,19	0,942
Вспомогательное здание	13299,9	0,549

Нагрузка на отопление административно-бытового здания, принимая продолжительность отопительного сезона стандартной, рассчитывается по формуле (3.1) [20]:

$$Q_0 = 0,947 \cdot 0,486 \cdot 27160,2 \cdot (20 - (-34)) = 722576,02 \text{ Вт.}$$

Для всех типов зданий в зависимости от назначения определяется температура внутри помещения, по формулам (3.1) и (3.2) производятся расчеты аналогичным образом и на основании этого составляется таблица 4.2 – тепловая нагрузка на отопление всех потребителей.

Таблица 4.2 – Тепловая нагрузка на отопление всех зданий

Тип здания	$t_g$ , °C	$t_{н.о.}$ , °C	$\alpha$	$V_{н.}$ , м <sup>3</sup>	$q_0$ , Вт/(м <sup>3</sup> · °C)	$Q_0$ , Вт
Административно-бытовое здание	20	-34	0,947	27160,2	0,49	722576,02
Теплый склад	14	-34	0,998	16684,8	0,48	409786
Цех	18	-34	0,963	47115,6	0,43	1085628,6
Котельная	18	-34	0,963	305,7	0,8	13023
Проходная	16	-34	0,980	192,2	0,94	9492,1
Вспомогательное здание	20	-34	0,947	13299,9	0,55	399700,8

Полное количество теплоты необходимое для отопления находится как сумма требуемого количества теплоты для каждого здания по формуле (4.3):

$$Q_0^{max} = \sum_{i=1}^n Q_0 \quad (4.3)$$

$$Q_0^{max} = 722576,02 + 409786 + 1085628,6 + 13023 + 9492,1 + 399700,8 = 2540206,5 \text{ Вт.}$$

#### 4.1.2 Определение тепловой нагрузки на вентиляцию

Потребность в тепловой энергии на вентиляцию зданий рассчитывается при наличии в них систем принудительной приточно-вытяжной вентиляции. При отсутствии проектных данных или несоответствии установленного оборудования проекту расчетный расход теплоты на вентиляцию здания может быть определен по методикам, изложенным в справочниках.

При отсутствии проектов вентилируемых зданий расчетный расход теплоты допускается определять по формуле (4.4) укрупненных расчетов, Вт [20]:

$$Q_v = q_v \cdot V_n \cdot \alpha \cdot (t_g - t_{н.о.}), \quad (4.4)$$

где  $q_v$  – удельная тепловая характеристика здания для расчета вентиляции, Вт/(м<sup>3</sup> · °C) [ ].

$V_n$  – объем вентилируемой части здания по внешнему обмеру, м<sup>3</sup>.

Для административно-бытового здания количество теплоты на вентиляцию по формуле (4.4):

$$Q_v = 0,135 \cdot 27160,2 \cdot (20 - (-34)) = 197997,86 \text{ Вт.}$$

Для остальных потребителей сведем расчет на вентиляцию в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Нагрузка на вентиляцию для здания каждого типа

Тип здания	$t_{в}, ^\circ\text{C}$	$t_{н.о.}, ^\circ\text{C}$	$\alpha$	$V_{н}, \text{м}^3$	$\frac{q_{в}}{\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})}$	$Q_{в}, \text{Вт}$
Административно-бытовое здание	20	-34	0,95	27160,2	0,135	197998
Теплый склад	14	-34	0,95	16684,8	0,520	416452,6
Цех	18	-34	0,95	47115,6	0,580	1421006,5
Котельная	18	-34	0,95	305,7	0,580	9219,9
Проходная	16	-34	0,95	192,19	0,000	0
Вспомогательное здание	20	-34	0,95	13299,9	0,147	105574,6

Полное количество теплоты необходимое для вентиляции рассчитывается как сумма требуемого количества теплоты для каждого здания по формуле (4.5):

$$Q_{в}^{max} = \sum_{i=1}^n Q_{в} \quad (4.5)$$

$$Q_{в}^{max} = 197998 + 416452,6 + 1421006,5 + 9219,9 + 105574,6 = 2140251,5 \text{ Вт.}$$

#### 4.1.3 Определение тепловой мощности источника теплоснабжения

Если отсутствуют проектные данные расчет тепловой мощности источника энергоснабжения и потребляемое количество теплоты от него за выбранный период подсчитывается по укрупненным показателям. Из расчётов в параграфах 4.1.1 и 4.1.2 можно определить мощность источника теплоснабжения по следующей формуле (4.6):

$$Q_{ист} = Q_0 + Q_{в} \quad (4.6)$$

$$Q_{ист} = 2,5 + 2,1 = 4,6 \text{ МВт.}$$

Тепловая мощность источника, а также нагрузка на отопление и вентиляцию внесены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Тепловая мощность источника теплоснабжения

Тепловая мощность источника теплоснабжения, Вт	$Q_0, \text{МВт}$	$Q_{в}, \text{МВт}$	$Q_{ист}, \text{МВт}$
	2,5	2,1	2,6

## 4.2 Тепловой расчет схемы котельной

Расчет тепловой схемы котельной производится с целью определения расхода воды для отдельных узлов при характерных режимах работы котельной и составления общего материального воды. Расчетом определяется температура различных потоков воды сетевой, подпиточной и химически очищенной исходной.

Расчет тепловой схемы котельной выполняется в следующей последовательности:

- Рассчитывается предварительный баланс котельной;
- Производится полный расчет тепловой схемы котельной, в частности уточняется суммарная нагрузка котельной и намечаются варианты для выбора типа, размера и количества котлов.

В процессе расчета тепловой схемы методом последовательных приближений уточняется расход питательной воды. Готовые результаты расчета будут использоваться как исходные данные для расчета и выбора оборудования тепловой схемы и основных трубопроводов котельной. Выбор числа и единичной мощности котлов также производится на основании результатов расчета тепловой схемы [21].

Для отопительной котельной, расчет ведется для четырех характерных режимов с соответствующей наружного воздуха в г. Челябинске определяются по СП131.13330.2012 Актуализированная версия "СНиП 23-01-99 Строительная климатология" [3]:

- Температура наиболее холодной пятидневки, равная  $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- При средней температуре наиболее холодного месяца, данная температура равна  $-13,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- При средней температуре за отопительный период, данная температура равна  $-6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Летнего режима.

Тепловая нагрузка на отопление и вентиляцию  $Q_{o.v.}$ , МВт/ч может быть рассчитана по формуле(4.7) [36]:

$$Q_{o.v.} = Q_{уст} \cdot \frac{t_g - t_n}{t_g - t_{но}}, \quad (4.7)$$

При температуре  $t_n = -34\text{ }^{\circ}\text{C}$  тепловая нагрузка будет равна:

$$Q_{o.v.}^{-34} = 2,6 \cdot \frac{20 - (-34)}{20 - (-34)} = 2,6 \text{ МВт/ч}$$

При температуре  $t_n = -13,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  тепловая нагрузка будет равна:

$$Q_{o.v.}^{-13,7} = 2,6 \cdot \frac{20 - (-13,7)}{20 - (-34)} = 1,62 \text{ МВт/ч}$$



При температуре  $t_n = -6,5$  °С тепловая нагрузка будет равна:

$$Q_{o.в.}^{-6,5} = 2,6 \cdot \frac{20 - (-6,5)}{20 - (-34)} = 1,28 \text{ МВт/ч}$$

Расход теплоты на собственные нужды котельной, МВт/ч, рассчитываются по формуле (4.8)

$$Q_{ch} = 0,03 \cdot Q_{o.в.} \quad (4.8)$$

При температуре  $t_n = -34$  °С расход теплоты на собственные нужды:

$$Q_{ch}^{-34} = 0,03 \cdot 2,6 = 0,78 \text{ МВт/ч}$$

При температуре  $t_n = -13,7$  °С расход теплоты на собственные нужды:

$$Q_{ch}^{-13,7} = 0,03 \cdot 1,62 = 0,49 \text{ МВт/ч}$$

При температуре  $t_n = -6,5$  °С расход теплоты на собственные нужды:

$$Q_{ch}^{-6,5} = 0,03 \cdot 1,28 = 0,38 \text{ МВт/ч}$$

Общая тепловая мощность котла, МВт/ч может быть определена по формуле (4.9):

$$Q_{к.у.} = Q_{o.в.} + Q_{ch} \quad (4.9)$$

При температуре  $t_n = -34$  °С общая тепловая мощность котла:

$$Q_{к.у.}^{-34} = 2,6 + 0,78 = 3,38 \text{ МВт/ч}$$

При температуре  $t_n = -13,7$  °С общая тепловая мощность котла:

$$Q_{к.у.}^{-13,7} = 1,62 + 0,49 = 2,11 \text{ МВт/ч}$$

При температуре  $t_n = -6,5$  °С общая тепловая мощность котла:

$$Q_{к.у.}^{-6,5} = 1,28 + 0,38 = 1,66 \text{ МВт/ч}$$

					13.03.01.2020.016.12 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Коэффициент снижения расхода тепла на отопление и вентиляцию определяется по формуле (4.10):

$$K_{o.в.} = \frac{t_в - t_{н.о}}{t_в - t_{н.о}} \quad (4.10)$$

При температуре  $t_n = -34$  °С коэффициент снижения расхода тепла на отопление и вентиляцию:

$$K_{o.в.}^{-34} = \frac{20 - (-34)}{20 - (-34)} = 1$$

При температуре  $t_n = -13,7$  °С коэффициент снижения расхода тепла на отопление и вентиляцию:

$$K_{o.в.}^{-13,7} = \frac{20 - (-13,7)}{20 - (-34)} = 0,62$$

При температуре  $t_n = -6,5$  °С коэффициент снижения расхода тепла на отопление и вентиляцию:

$$K_{o.в.}^{-6,5} = \frac{20 - (-6,5)}{20 - (-34)} = 0,49$$

Текущая температура воды в подающем трубопроводе,  $t_1$  °С, по формуле (4.11):

$$t_1 = t_в + (t_1^{расч} - t_в) \cdot K_{o.в.}, \quad (4.11)$$

При  $t_n = -34$  °С:

$$t_1^{-34} = 20 + (105 - 20) \cdot 1 = 105 \text{ °С.}$$

При  $t_n = -13,7$  °С:

$$t_1^{-13,7} = 20 + (105 - 20) \cdot 0,62 = 73,05 \text{ °С.}$$

При  $t_n = -6,5$  °С:

$$t_1^{-6,5} = 20 + (105 - 20) \cdot 0,49 = 61,71 \text{ °С.}$$

Текущая температура воды в обратном трубопроводе,  $t_2$  °С (4.12):

$$t_2 = t_6 + (t_2^{расч} - t_6) \cdot K_{o.в.} \quad (4.12)$$

При  $t_n = -34$  °С:

$$t_2^{-34} = 20 + (70 - 20) \cdot 1 = 70 \text{ °С.}$$

При  $t_n = -13,7$  °С:

$$t_2^{-13,7} = 20 + (70 - 20) \cdot 0,62 = 51,2 \text{ °С.}$$

При  $t_n = -6,5$  °С:

$$t_2^{-6,5} = 20 + (70 - 20) \cdot 0,49 = 44,54 \text{ °С.}$$

Расход сетевой воды на отопление и вентиляцию, кг/с (4.13):

$$G_{o.в.} = \frac{Q_{o.в.}}{c_p \cdot (t_1 - t_2)} \quad (4.13)$$

При  $t_n = -34$  °С:

$$G_{o.в.}^{-34} = \frac{2,6 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (105 - 70)} = 18,1 \text{ кг/с}$$

При  $t_n = -13,7$  °С:

$$G_{o.в.}^{-13,7} = \frac{1,62 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (73,05 - 51,2)} = 17,69 \text{ кг/с}$$

При  $t_n = -6,5$  °С:

$$G_{o.в.}^{-6,5} = \frac{1,28 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (61,71 - 44,54)} = 17,79 \text{ кг/с}$$

Расход воды на подпитку  $G_{под}$ , кг/с определяется по формуле (4.16):

$$G_{под} = (0,02 \div 0,025) \cdot G_{o.в.} \quad (4.16)$$

$$G_{под} = 0,025 \cdot 18,1 = 0,45 \text{ кг/с.}$$

Расход исходной воды  $G_{исх}$ , МВт/ч можно рассчитывать по следующей формуле (4.17):

$$G_{исх} = (1,15 \div 1,2) \cdot G_{под} \quad (4.17)$$

$$G_{исх} = 1,2 \cdot 0,45 = 0,54 \text{ МВт/ч.}$$

Расход воды через котельные агрегаты  $G_k$ , кг/с определяется по формуле (4.18):

$$G_k = \frac{Q_{к.у.}}{c_B \cdot (t_1 - t_2)} \quad (4.18)$$

При  $t_H = -34$  °С:

$$G_{к.у.}^{-34} = \frac{3,38 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (105 - 70)} = 23,048 \text{ кг/с}$$

При  $t_H = -13,7$  °С:

$$G_{к.у.}^{-13,7} = \frac{2,11 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (73,05 - 51,12)} = 22,96 \text{ кг/с}$$

При  $t_H = -6,5$  °С:

$$G_k^{-6,5} = \frac{1,66 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (61,71 - 44,54)} = 23,07 \text{ кг/с}$$

Температура воды на выходе из котельного агрегата,  $t_{к2}$  °С определяется по формуле (4.19):

$$t_{к2} = t_{к1} + \frac{Q_{к.у.}}{c_B \cdot G_k}, \quad (4.19)$$

где  $t_{к1}$  – температура воды на входе в котельный агрегат остается постоянной, принимается равной 70 °С

При  $t_H = -34$  °С температура воды на выходе из котельного агрегата будет следующая:

$$t_{к2}^{-34} = 70 + \frac{3,38 \cdot 10^3}{4,19 \cdot 23,048} = 105 \text{ °С}$$

										Лист
										21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2020.016.12 ПЗ

При  $t_n = -13,7$  °С температура воды на выходе из котельного агрегата будет:

$$t_{к2}^{-13,7} = 70 + \frac{2,11 \cdot 10^3}{4,19 \cdot 22,96} = 91,93 \text{ °С.}$$

При  $t_n = -6,5$  °С температура воды на выходе из котельного агрегата будет:

$$t_{к2}^{-6,5} = 70 + \frac{1,66 \cdot 10^3}{4,19 \cdot 23,07} = 87,16 \text{ °С.}$$

Расход воды на линии рециркуляции при,  $t_{к1} = 70$  °С, кг/с рассчитывается по формуле (4.20):

$$G_{пц} = \frac{G_k \cdot (t_{к1} - t_2)}{(t_{к2} - t_{к1})} \quad (4.20)$$

При  $t_n = -34$  °С:

$$G_{пц}^{-34} = \frac{23,048 \cdot (70 - 70)}{(105 - 70)} = 46,095 \text{ кг/с.}$$

При  $t_n = -13,7$  °С:

$$G_{пц}^{-13,7} = \frac{22,96 \cdot (70 - 51,2)}{(91,93 - 70)} = 19,68 \text{ кг/с.}$$

При  $t_n = -6,5$  °С:

$$G_{пц}^{-6,5} = \frac{23,048 \cdot (70 - 44,54)}{(87,16 - 70)} = 34,23 \text{ кг/с.}$$

Расход воды на собственные нужды,  $G_{с.н.}$ , кг/с определяется по формуле (4.21)

$$G_{с.н.} = \frac{Q_{с.н.}}{c_v \cdot (t_{к2} - t_{к1})} \quad (4.21)$$

При  $t_n = -34$  °С:

$$G_{с.н.}^{-34} = \frac{0,78 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (105 - 70)} = 5,32 \text{ кг/с.}$$

При  $t_H = -13,7$  °С:

$$G_{c.н.}^{-13,7} = \frac{0,49 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (91,93 - 70)} = 5,29 \text{ кг/с.}$$

При  $t_H = -6,5$  °С:

$$G_{c.н.}^{-6,5} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (87,16 - 70)} = 5,32 \text{ кг/с.}$$

Расчетный расход воды через котельные агрегаты  $G_k^{расч}$ , кг/с определяется по формуле (4.22):

$$G_k^{расч} = \frac{Q_{o.в.}}{c_v \cdot (t_{к2} - t_{к1})} + G_{c.н.} \quad (4.22)$$

При  $t_H = -34$  °С:

$$G_k^{-34} = \frac{2,6 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (105 - 70)} + 5,32 = 23,04 \text{ кг/с.}$$

При  $t_H = -13,7$  °С:

$$G_k^{-13,7} = \frac{1,62 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (91,93 - 70)} + 5,29 = 22,92 \text{ кг/с.}$$

При  $t_H = -6,5$  °С:

$$G_k^{-6,5} = \frac{1,28 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (87,16 - 70)} + 5,32 = 23,12 \text{ кг/с.}$$

### 4.3 Тепловой расчет котла

При проектировании источника теплоснабжения для фирмы ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ» были выбраны итальянские котлы IVAR SUPERRAC 2330 [18]. Рассмотрим его показатели для поверочного расчета.

#### 4.3.1 Описание котлового агрегата марки IVAR SUPERRAC 2330

Стальной котел серии SUPERRAC является высокопроизводительным генератором тепла для систем обогрева на горячей воде с температурой до 115°С, а также для систем подачи горячей санитарной воды при условии их подключения

										Лист
										23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.016.12 ПЗ					

к бойлеру. Котлы являются моноблочной системой с камерой сгорания под давлением: огонь горелки поступает в топку, которая закрыта в донной части, в силу чего дымовые газы возвращаются в переднюю ее часть, а затем, через канал, проделанный в изоляции люка — поступают в трубчатые регистры. На этом участке, благодаря турбуляторам, дымовые газы движутся вихреобразно, за счет чего улучшается конвекционный теплообмен. Таким образом достигается максимальное поглощение тепла при отсутствии вредных термических нагрузок, что позволяет достичь коэффициента полезного действия более 90%. После прохождения трубчатых регистров дымовые газы собираются в задней камере и направляются в вытяжную трубу.

Имеется возможность установки горелок, работающих на всех традиционных видах жидкого и газообразного топлива. Горелка монтируется к шарнирному люку, что позволяет облегчить операции по регулировке и обслуживанию и котла, и горелки, без необходимости демонтажа горелки.

Термоизоляция корпуса котла достигается за счет использования кожуха из минеральной ваты с высокой изолирующей способностью. Внешний вид котла дополняется аккуратными листами стали со специальным покрытием.

На котле установлен пульт управления со всеми необходимыми подсоединениями, который позволяет эксплуатировать котел в автоматическом режиме. Внутри пульта управления находится электрическая схема. По отдельной заявке может быть установлено электронное устройство искусственного климата: она позволяет обеспечивать работу котла на основе данных внешней температуры, а также использовать ряд других дополнительных функций [18]. В таблице 4.5 показаны характеристики котла IVAR SUPERRAC 2330.

Таблица 4.5 – Технические характеристики котла IVAR SUPERRAC 2330

Наименование характеристики	Значение
Номинальная мощность, кВт	2360
Производительность топки, кВт	2570
Противодавление топки, бар	7,2
Объем воды в котле, дм <sup>3</sup>	2163
Рабочее давление, бар	6
Вес пустого котла, кг	3710
Потеря нагрузки по части воды Мбар	70

При тепловом расчёте котельного агрегата определяются следующие параметры: значения температуры теплоносителя (воды) и температуры продуктов сгорания в каждой поверхности нагрева котла, температура уходящих дымовых газов, расход топлива, а также коэффициент полезного действия котельного агрегата.

### 4.3.2 Исходные данные

1. Топливо – природный газ (состав представлен в таблице 4.6);
2. Месторождение – Бухара-Урал;
3. Теплота сгорания топлива –  $Q_n^p = 36700$  кДж/м<sup>3</sup>;
4. Плотность природного газа –  $\rho = 0,753$  кг/м<sup>3</sup>.

В таблице 4.6 представлен состав природного газа, месторождением которого является Бухара-Урал

Таблица 4.6 – Состав природного газа месторождения Бухара-Урал[23]

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>
94,9	3,2	0,4	0,2	0,1	0,9	0,4

### 4.3.3 Расчет теоретического объема воздуха

Теоретически необходимый объём воздуха при  $\alpha = 1,05$  для сжигания природного газа месторождения Бухара-Урал определяется по следующей формуле (4.23):

$$V_0 = 0,047 \cdot [0,5 \cdot \text{CO} + 0,5 \cdot \text{H}_2 + 1,5 \cdot \text{H}_2\text{S} + \sum (m + 0,25 \cdot n) \cdot C_m \text{H}_n - \text{O}_2], \quad (4.23)$$

где  $m$  – номер атома углерода в химической формуле углеводородов, входящих в состав природного газа;

$n$  – номер атома водорода в химической формуле углеводородов, входящих в состав природного газа.

$$V_0 = 0,047 \cdot \left[ (1 + 0,25 \cdot 4) \cdot 94,9 + (2 + 0,25 \cdot 6) \cdot 3,2 + (3 + 0,25 \cdot 8) \cdot 0,4 + (4 + 0,25 \cdot 10) \cdot 0,2 + (5 + 0,25 \cdot 12) \cdot 0,1 \right] = 9,64 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Объём трёхатомных газов определяется по формуле (4.24):

$$V_{\text{RO}_2} = 0,01 \cdot [\text{CO}_2 + \text{CO} + \sum m \cdot C_m \text{H}_n] \quad (4.24)$$

$$V_{\text{RO}_2} = 0,01 \cdot [0,4 + 1 \cdot 94,9 + 2 \cdot 3,2 + 3 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1] = 1,04 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Объём двухатомных газов может быть рассчитан по следующей формуле (4.25):

$$V_{\text{N}_2}^o = 0,79 \cdot V^o + 0,01 \cdot \text{N}_2 \quad (4.25)$$

$$V_{\text{N}_2}^o = 0,79 \cdot 9,64 + 0,01 \cdot 0,9 = 7,62 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$



Объём водяных паров определяется по формуле (4.26):

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^o = 0,01 \cdot [\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2 + \sum 0,5 \cdot n \cdot C_m \text{H}_n + 0,124 \cdot d_{z.mл}] + 0,0161 \cdot V^o \quad (4.26)$$

где  $d_{z.mл}$  – влагосодержание топлива при  $t_{z.mл} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  для  $1 \text{ м}^3$ , принимается равным  $10 \text{ г/м}^3$ .

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^o = 0,01 \cdot \left[ 0,5 \cdot 4 \cdot 94,9 + 0,5 \cdot 6 \cdot 3,2 + 0,5 \cdot 8 \cdot 0,4 + \right. \\ \left. + 0,5 \cdot 10 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 12 \cdot 0,1 + 0,124 \cdot 10 \right] + 0,0161 \cdot 9,64 = 2,19 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Определим реальный объём продуктов сгорания:

– для двухатомных газов по формуле (4.27):

$$V_{\text{N}_2} = V_{\text{N}_2}^o + (\alpha - 1) \cdot V^o \quad (4.27)$$

$$V_{\text{N}_2} = 7,62 + (1,05 - 1) \cdot 9,64 = 8,11 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

– для водяных паров по формуле (4.28):

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^o + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^o \quad (4.28)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 2,19 + 0,0161 \cdot (1,05 - 1) \cdot 9,64 = 2,19 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

– общий объём продуктов сгорания по формуле (4.29):

$$V_z = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} \quad (4.29)$$

$$V_z = 1,04 + 8,11 + 2,19 = 11,34 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Объёмные доли для трёхатомных газов можно определить по следующим формулам (4.30 – 4.32):

$$r_{\text{RO}_2} = \frac{V_{\text{RO}_2}}{V_z} \quad (4.30)$$

$$r_{\text{RO}_2} = \frac{1,04}{11,34} = 0,09.$$

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_z} \quad (4.31)$$

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{2,19}{11,34} = 0,19.$$

$$r_n = r_{\text{RO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}} \quad (4.32)$$

$$r_n = 0,09 + 0,19 = 0,29.$$

Определим энтальпии теоретического объёма воздуха (4.33):

$$I'_e = V^o \cdot (ct)_e, \quad (4.33)$$

где  $(ct)_e$  – энтальпия для 1 м<sup>3</sup> воздуха, по таблице [16].

Определим энтальпии теоретического объёма продуктов сгорания (4.34):

$$I'_r = I_{\text{RO}_2} + I_{\text{N}_2}^o + I_{\text{H}_2\text{O}}^o. \quad (4.34)$$

Определим энтальпию продуктов сгорания при  $\alpha \geq 1$  (4.35):

$$I = I'_r + (\alpha - 1) \cdot I'_e. \quad (4.35)$$

Расчет энтальпии теоретического объема воздуха и продуктов сгорания топлива представлен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Энтальпии теоретического объёма воздуха и продуктов сгорания топлива[23]

$v, ^\circ\text{C}$	$I'_e = V^o \cdot (ct)_e$ кДж/м <sup>3</sup>	$I_{\text{RO}_2} = V_{\text{RO}_2} \cdot (cv)_{\text{RO}_2}$ кДж/м <sup>3</sup>	$I_{\text{N}_2}^o = V_{\text{N}_2}^o \cdot (cv)_{\text{N}_2}$ кДж/м <sup>3</sup>	$I_{\text{H}_2\text{O}}^o = V_{\text{H}_2\text{O}}^o \cdot (cv)_{\text{H}_2\text{O}}$ кДж/м <sup>3</sup>	$I_z = I_{\text{RO}_2} + I_{\text{N}_2}^o + I_{\text{H}_2\text{O}}^o$ кДж/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6
30	375,95	–	–	–	–
100	1272,44	176,10	991,17	331,23	1498,50
200	2564,16	371,99	1982,33	666,85	3021,18
300	3884,80	582,48	2988,75	1015,64	4586,86
400	5224,72	804,42	4018,04	1373,19	6195,66
500	6593,55	1037,83	5062,58	1741,72	7842,13

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5	6
600	8000,95	127,12	6129,99	2121,21	8378,32
700	9437,27	1522,36	7212,65	2516,06	11251,07
800	10892,86	1775,57	8333,43	2928,45	13037,45
900	12348,46	2032,94	9477,08	3343,05	14853,07
1000	13842,61	2294,48	10628,36	3783,96	16706,80
1100	15375,32	2560,19	11779,64	4224,87	18564,71
1200	16908,03	2831,11	12923,3	4674,56	20428,97
1300	18614,26	3100,99	14105,07	5141,80	22347,86
1400	20012,02	3376,08	15317,35	5611,23	24304,65
1500	21583,29	3651,17	16499,12	6096,01	26246,30
1600	23164,20	3925,21	17711,4	6582,99	28219,60
1700	24735,47	4204,47	18923,67	7078,74	30206,88
1800	26306,74	4483,73	20143,57	7585,47	32212,76
1900	27926,21	4762,98	21386,34	8089,99	34239,31
2000	29536,04	5046,41	22598,61	8612,07	36257,09
2100	31222,99	5329,83	23841,38	9166,29	38377,50
2200	32765,64	5613,25	25084,15	9649,64	40347,05

В таблице 4.8 представлен расчет энтальпий теоретического и действительного объема воздуха и продуктов сгорания топлива.

Таблица 4.8 – Энтальпия теоретического и действительного объема воздуха и продуктов сгорания топлива

$\theta$	$I_2^o$	$I_2^o$	$I_6^o$	$I_6^o$	$I$
°С	кДж/м <sup>3</sup>	кДж/м <sup>3</sup>	кДж/м <sup>3</sup>	кДж/м <sup>3</sup>	кДж/м <sup>3</sup>
30	–	–	89,73	375,95	–
100	357,64	1498,5	303,69	1272,44	1562,12
200	721,05	3021,18	611,97	2564,16	3149,39
300	1094,72	4586,86	927,16	3884,8	4781,1
400	1478,68	6195,66	1246,95	5224,72	6456,89
500	1871,63	7842,13	1573,64	6593,55	8171,8
600	1999,6	8378,32	1909,53	8000,95	8778,37
700	2685,22	11251,07	2252,33	9437,27	11722,93
800	3111,56	13037,45	2599,73	10892,86	13582,09
900	3544,89	14853,07	2947,13	12348,46	15470,49

Продолжение таблицы 4.8

$\theta$	$I_2^o$	$I_2^o$	$I_6^o$	$I_6^o$	$I$
1000	3987,3	16706,8	3303,73	13842,61	17398,94
1100	4430,72	18564,71	3669,53	15375,32	19333,47
1200	4875,65	20428,97	4035,33	16908,03	21274,37
1300	5333,62	22347,86	4442,54	18614,26	23278,57
1400	5800,63	24304,65	4776,14	20012,02	25305,25
1500	6264,03	26246,3	5151,14	21583,29	27325,47
1600	6734,99	28219,6	5528,45	23164,2	29377,81
1700	7209,28	30206,88	5903,45	24735,47	31443,66
1800	7688,01	32212,76	6278,46	26306,74	33528,1
1900	8171,67	34239,31	6664,97	27926,21	35635,62
2000	8653,24	36257,09	7049,17	29536,04	37733,89
2100	9245,23	38737,5	7451,79	31222,99	40298,65
2200	9629,37	40347,05	7819,89	32765,34	41985,32

В таблице 4.9 представлен расчет энтальпий продуктов сгорания в газоходах котла и поверхностях нагрева.

Таблица 4.9 – Энтальпия продуктов сгорания в газоходах котла и поверхностях нагрева

$\theta$ °С	$I_2^o$ кДж/м <sup>3</sup>	$I_6^o$ кДж/м <sup>3</sup>	$I$ кДж/м <sup>3</sup>	$\Delta I$ кДж/м <sup>3</sup>
30	–	375,95	0	0
100	1498,5	1272,44	1562,12	–
200	3021,18	2564,16	3149,39	1587,27
300	4586,86	3884,8	4781,1	1634,71
400	6195,66	5224,72	6456,89	1675,79
500	7842,13	6593,55	8171,80	1714,91
600	8378,32	8000,95	8778,37	606,57
700	11251,07	9437,27	11722,93	2944,56
800	13037,45	10892,86	13582,09	1859,16
900	14853,07	12348,46	15470,49	1888,40
1000	16706,80	13842,61	17398,94	1928,44
1100	18564,71	15375,32	19333,47	1934,54
1200	20428,97	16908,03	21274,37	1940,90
1400	24304,65	20012,02	25305,25	4030,88
1600	28219,60	23164,20	29377,81	4072,56
1800	32212,76	26306,74	33528,10	4150,29
2000	36257,09	29536,04	37733,89	4205,79

#### 4.3.4 Тепловой баланс котельного агрегата

Расчёт теплового баланса позволяет определить равенство между поступающим количеством теплоты и её расходом. На основании данного расчёта устанавливают расход топлива и вычисляют коэффициент полезного действия котельного агрегата. Расчёт теплового баланса котельного агрегата произведен по методу «Тепловой расчёт котлов: нормативный метод» [24] в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Тепловой баланс котла

Наименование	Обознач.	Расчётная формула	Ед. изм.	Значение
1	2	3	4	5
Располагаемая теплота сгорания топлива	$Q_p^p$	$Q_n^p$	кДж/м <sup>3</sup>	36700
Потеря теплоты от химической неполноты сгорания топлива [14]	$q_3$	по паспорту котла	%	0,60
Потеря теплоты от механической неполноты сгорания топлива [14]	$q_4$	по паспорту котла	%	0,00
Температура уходящих газов [14]	$\theta_{yx}$	по паспорту котла	°С	155
Энтальпия уходящих газов	$I_{yx}$	по табл. 4.7	кДж/м <sup>3</sup>	2435,12
Температура воздуха в котельной	$t_{xв}$	Принимаем	°С	30
Теоретическая энтальпия воздуха в котельной	$I_{xв}^o$	по табл. 4.7	кДж/м <sup>3</sup>	375,95
Потеря теплоты с уходящими газами	$q_2$	$\frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{xв}^o) \cdot (100 - q_4)}{Q_p^p}$	%	$\frac{(2435,12 - 1,05 \cdot 375,95) \times 36,7}{\times (100 - 0)} = 5,41$
Потеря теплоты от наружного охлаждения	$q_5$	по паспорту котла	%	0,3
Сумма тепловых потерь	$\sum q$	$q_5 + q_4 + q_3 + q_2$	%	0,3 + 0 + 0,6 + 5,41 = 6,31
КПД котла	$\eta_{ка}$	$100 - \sum q$	%	100 - 6,31 = 93,69

Продолжение таблицы 4.11

1	2	3	4	5
Коэффициент сохранения теплоты	$\varphi$	$1 - \frac{q_5}{\eta_{ка} - q_5}$	—	$1 - \frac{0,3}{93,69 - 0,3} = 0,997$
Расход горячей воды	$G$	из расчёта тепловой схемы	кг/с	26,95
Температура воды на выходе из котла [18]	$t''_e$	по паспорту котла	°С	105
Температура воды на входе в котёл [18]	$t'_e$	по паспорту котла	°С	70
Энтальпия воды на выходе из котла	$I''_e$	$c_p \cdot t''_e$	кДж/кг	$4,19 \cdot 105 = 439,95$
Энтальпия воды на входе в котёл	$I'_e$	$c_p \cdot t'_e$	кДж/кг	$4,19 \cdot 70 = 293,3$
Значение продувки	$p$	принимаем	%	0
Полезно использованная теплота КА	$Q_{пол}$	$G \cdot (I''_e - I'_e)$	кВт	$26,95 \cdot \begin{pmatrix} 439,95 \\ -293,3 \end{pmatrix} = 3952,83$
Полный расход топлива	$B$	$\frac{Q_{пол} \cdot 100}{Q_p^p \cdot \eta_{ка}}$	м <sup>3</sup> /с	$\frac{3952,83 \cdot 100}{36,7 \cdot 93,69} = 0,11$
Расчётный расход топлива	$B_p$	$0,01 \cdot B \cdot (100 - q_4)$	м <sup>3</sup> /с	$0,01 \cdot 0,11 \cdot (100 - 0) = 0,11$

#### 4.4 Поверочный расчет топочной камеры

Теплота, которая выделяется при сжигании топлива, передается лучевоспринимающим поверхностям нагрева в топке и продуктам сгорания топлива. Температурный режим реальной топки определяется совместно протекающими процессами горения топлива и лучистого теплообмена. Зона максимальных температур расположена в ядре горения, а минимальных – на выходе из топки. Целью расчета топки является определение температуры газов на выходе из топки. Объем топочной камеры:  $V_m = 1,59 \text{ м}^3$ , поверхность стен:  $F_{cm} = 8,34 \text{ м}^2$ ;

Полная луче воспринимающая поверхность нагрева м<sup>2</sup> определяется по формуле (4.36):

$$H_{л} = \sum F_{cm} \cdot x, \quad (4.36)$$

где  $x$  – угловые коэффициенты экранов, для жаровой трубы, равный 1.

$$H_{л} = 8,34 \cdot 1 = 8,34$$

Коэффициент тепловой эффективности  $\psi$  рассчитываем по следующей формуле (4.37):

$$\psi = \frac{H_n \cdot \xi}{F_{cm}}, \quad (4.37)$$

где  $\xi$  – коэффициент загрязнения экранов (для природного газа), принимается равным 0,65

$$\psi = \frac{8,34 \cdot 0,65}{8,34} = 0,65$$

Эффективная толщина излучающего слоя определяется по следующей формуле (4.38):

$$S = \frac{3,6 \cdot V_m}{F_{cm}} \quad (4.38)$$

$$S = \frac{3,6 \cdot 1,59}{8,34} = 0,69 \text{ м.}$$

Абсолютное давление газов в топке, принимается:  $p = 1 \text{ кгс/см}^2$ .

Принимаем температуру газов на выходе из топки:  $t_m'' = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Объемная доля трехатомных газов (п. 4.3 настоящей главы):  $r_n = 0,24$ .

Суммарная поглощательная способность трехатомных газов и паров рассчитывается по формуле (4.39):

$$p_n s = p \cdot r_n \cdot s \quad (4.39)$$

$$p_n s = 1 \cdot 0,24 \cdot 0,69 = 0,166 \text{ м} \cdot \text{Мпа}$$

Коэффициент ослабления лучей сажистыми частицами рассчитывается по формуле (4.40):

$$k_c = 0,03 \cdot (2 - \alpha_m) \cdot \left[ 1,6 \cdot \frac{(t_m'' + 273)}{1000} - 0,5 \right] \cdot \frac{C_p}{H_p}, \quad (4.40)$$

где  $\frac{C_p}{H_p}$  – соотношение содержаний углерода и водорода в рабочей массе топлива,

который определяется по формуле (4.41):

$$\frac{C_p}{H_p} = 0,12 \cdot \sum \frac{m}{n} \cdot C_m \cdot C_n, \quad (4.41)$$

где  $m$  и  $n$  – количество атомов углерода и водорода в соединении.

$$\frac{C_p}{H_p} = 0,12 \cdot \left( \frac{1}{4} \cdot 94,2 + \frac{2}{6} \cdot 2,5 + \frac{4}{10} \cdot 0,2 + \frac{5}{12} \cdot 0,1 \right) = 2,86$$

Коэффициент ослабления лучей сажистыми частицами:

$$k_c = 0,03 \cdot (2 - 1,15) \cdot \left[ 1,6 \cdot \frac{(1050 + 273)}{1000} - 0,5 \right] \cdot 2,86 = 0,1 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$$

Степень черноты светящегося пламени рассчитывается по формуле (4.42):

$$\alpha_{cv} = 1 - \exp(- (k_2 r_n + k_c) \cdot p \cdot s) \quad (4.42)$$

где  $k_2 r_n$  – коэффициент ослабления лучей для трехатомных газов определяется по формуле (4.43):

$$k_2 r_n = \left[ \frac{(7,8 + 16 \cdot r_{H_2O})}{3,16 \cdot \sqrt{p_n \cdot s}} - 1 \right] \cdot \left[ 1 - 0,37 \cdot \frac{(t_m'' + 273)}{1000} \right] \cdot r_n \quad (4.43)$$

$$k_2 r_n = \left[ \frac{(7,8 + 16 \cdot 0,163)}{3,16 \cdot \sqrt{1 \cdot 0,69}} - 1 \right] \cdot \left[ 1 - 0,37 \cdot \frac{(1050 + 273)}{1000} \right] \cdot 0,24 = 0,35 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$$

Тогда степень черноты светящегося пламени:

$$\alpha_{cv} = 1 - \exp(- (0,35 + 0,1) \cdot 0,11 \cdot 0,69) = 0,112.$$

Степень черноты факела для газообразного топлив определяется по формуле (4.44):

$$\alpha_\phi = m \cdot \alpha_{cv} + (1 - m) \cdot \alpha_2 \quad (4.44)$$

где  $m$  – коэффициент, характеризующий долю топочного объема, заполненного светящейся частью факела;

$\alpha_{cv}$  – степень черноты светящегося пламени;

$\alpha_2$  – степень черноты трехатомных газов.

$$\alpha_\phi = 0,1 \cdot 0,112 + (1 - 0,1) \cdot 0,238 = 0,225.$$

Степень черноты топки определяется по формуле (4.45):



$$\alpha_m = \frac{\alpha_\phi}{\alpha_\phi + (1 - \alpha_\phi) \cdot \Psi_{cp}}, \quad (4.45)$$

где  $\alpha_\phi$  – степень черноты факела;

$\Psi_{cp}$  – средний коэффициент тепловой эффективности экранов.

$$\alpha_m = \frac{0,225}{0,225 + (1 - 0,225) \cdot 0,65} = 0,308$$

Полезное тепловыделение в топке, кДж/м<sup>3</sup>, просчитывается по формуле (4.46):

$$Q_m = Q_p \cdot \frac{100 - q_3}{100} + Q_\epsilon, \quad (4.46)$$

где  $Q_\epsilon$  – теплота, вносимая в топку воздухом, кДж/м<sup>3</sup> (4.47):

$$Q_\epsilon = \alpha_m \cdot I_{x.\epsilon}^0 \quad (4.47)$$

$$Q_\epsilon = 1,15 \cdot 93,4 = 107,41 \text{ кДж/м}^3$$

Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания на 1 м<sup>3</sup> газа при нормальных условиях, кДж/(м<sup>3</sup>К), определяется по формуле (4.48):

$$V_{cp} = \frac{Q_m - I_m''}{T_a - T_m''}, \quad (4.48)$$

где  $T_a$  – теоретическая температура горения при полезном тепловыделении в топке, К;

$T_m''$  – температура на выходе из топки, принятая при предварительной оценке, К;

$I_m''$  – энтальпия продуктов горения при принятой на выходе из топки температуре, кДж/м<sup>3</sup>;

$Q_m$  – полезное тепловыделение в топке, кДж/м<sup>3</sup>.

$$V_{cp} = \frac{8822,39 - 7141,2}{1374 - 1323} = 32,945 \text{ кДж/м}^3.$$

При различии между предварительно принятой и полученной температурами менее  $\pm 100$  °С расчет считают окончанным. Полученное значение температуры на выходе из топки отличается от ранее принятого менее чем на  $\pm 100$  °С.

## 4.5 Выбор вспомогательного оборудования

Организация теплопередачи происходит благодаря работе сложного комплекса устройств, включающего в себя основное и вспомогательное оборудование. К вспомогательному оборудованию водогрейной котельной относят насосные установки, теплообменное оборудование, а также установки химической очистки и деаэрирования подпиточной воды контура котельной и тепловой сети.

## 4.6 Выбор горелочного устройства

Горелочное устройство – это устройство для контролируемого сжигания газообразного топлива с воздухом (кислородом) с целью подачи смеси и сжигания с образованием факела. Факел горелки может быть ламинарным, турбулентным или смешанным.

Горелки делаются:

- По способу распыления топлива и способу формирования воздушнотоплевная смеси;
- По способу вовлечения воздуха;
- По оптимальным для работы видам топлива.

Основными параметрами при подборе газовой горелки является ее мощность и количество ступеней. Они определяются параметрами агрегата и технологического процесса, в котором должна работать горелка. Мощность горелки должна быть не меньше топочной мощности или полной мощности агрегата. В проекте котельной будут использоваться 2 двух ступенчатые горелки Baltur BGN 350 DSPGN [25] мощностью 3500 кВт с электронным модулем и электрическим сервоприводом для работающих котлов и 1 грелку Baltur BGN 350 [25] DSPGN мощностью 3000 кВт для резервного котла.

## 4.7 Выбор насосов

Выделяют несколько групп насосов в зависимости от применения:

- Циркуляционные – обеспечивают циркуляцию теплоносителя в контуре, будь то контур котельной или же контур теплосети.
- Насос рециркуляции котла – подают часть горячей воды из подающего трубопровода в обратный трубопровод перед входом в котел для поддержания температуры обратной воды выше минимально допустимой.
- Насосы на линию подпитки – подают очищенную и обработанную воду в контур.

За оптимальную скорость, с которой движется теплоноситель по трубам тепловой сети, отвечают насосы для котельной циркуляционные. Циркуляционные насосы должны быть подобраны так, чтобы при выходе из строя любого насоса оставшиеся могли обеспечить подачу максимального расхода воды, и обеспечить требуемый напор после преодоления гидравлических сопротивлений. Установка

										Лист
										35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2020.016.12 ПЗ

насосов осуществляется на обратном трубопроводе, так как там ниже температура теплоносителя, что продлевает срок эксплуатации.

По результатам расчета тепловой схемы расход воды составляет  $G_{к.у.} = 28,048$  кг/с, будут использованы насосы фирмы CNP TD 150-21/4[26], 1 рабочий и 1 резервный. Это вертикальные одноступенчатые насосы с сухим ротором, нормальным всасыванием и патрубками в одну линию. Используются для котельных, в подкачивающих насосных станциях центрального отопления. Возможно использование при температурах теплоносителя от -15 до +110 °С. Что удовлетворяет нашим требованиям. Насосы рециркуляции по рекомендации производителя котлов рекомендуется выбирать на 30% от максимального значения расхода воды через котел. В качестве рециркуляционных выберем 3 насоса немецкой фирмы GRUNDFOS UPS 65-60/2 F [27].

Насосы оснащены электродвигателем с мокрым ротором, защищенным статором, без сальниковых уплотнений. Максимальный расход 36,5 м<sup>3</sup>/ч. Возможно использование при температурах теплоносителя от -15 до +115 °С.

Для подпитки предлагается установка насосной станции с расширительным баком для сглаживания работы насоса при утечках в системе. Расход подпитки в закрытых системах теплоснабжения принимается равным 0,75% от расхода воды в системе [31] и равен  $G_{к.у.} = 17,28$  кг/с. Исходя из этого выбираем станции, 1 рабочую и 1 резервную, фирмы GRUNDFOS BCH 4-60 с баком 24л[28]. Также для котлов необходимо установить расширительные баки. Выберем четыре мембранных расширительных бака Wester WRV-500[29].

#### 4.8 Выбор оборудования для водоподготовки

Химводоподготовка является обязательной процедурой, в которой нуждается все оборудование. Исходная вода содержит естественные минеральные примеси, приводящие к образованию накипи и коррозии на внутренних поверхностях нагревательных систем. Водоподготовка служит залогом бесперебойной работы тепловых установок. Основная задача такого процесса – это создание эффективного теплоносителя.

Производится умягчение воды, для чего предполагается применять умягчающую установку непрерывного действия с регенерацией по расходу Fleck TS 91-13 M [30]. Умягчение воды осуществляется методом натрий-катионирования при фильтровании исходной воды через слой ионообменной смолы. Регенерация ионообменной смолы производится раствором поваренной соли автоматически с заданной периодичностью. Так же выбираем дозирующий комплекс Etatron[31] со счетчиком ЕТКІ-20[32], предназначенный для подачи в обрабатываемую воду химических реагентов, с целью предотвращения коррозии оборудования и трубопроводов, накипеобразования, для связывания в воде растворенного кислорода и свободного хлора. Подача дозы химических реагентов производится дозирующим насосом.

									Лист
									36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.01.2020.016.12 ПЗ

## 5 НАУЧНАЯ ЧАСТЬ. ИСЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И РЕАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОТЛА

Актуальность сравнения расчетных и действительных характеристик котла IVAR Super-Rac 2330, устанавливаемого в котельную ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ» заключается в анализе эффективности работы и выборе оптимального режима работы котла.

Водогрейный котел IVAR Super-Rac 2330 устанавливаемый в котельную ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ» с целью теплоснабжения (отопление и вентиляция) административных и производственных зданий. Устойчивая работа котла обеспечивает минимальный расход топливно-энергетических ресурсов и непрерывное снабжение тепловой энергией потребителя.

С целью сравнения расчетных и действительных характеристик работы котла выполнен тепловой расчет котла IVAR Super-Rac 2330 и с помощью измерительных приборов определены действительные показатели в характерных точках. С целью определения параметров устойчивой работы котлов в научно-исследовательской работе рассмотрен метод расчета параметров работы водогрейного котла.

### 5.1 Измерение действительных параметров работы котла

Измерения проводятся в нормальных эксплуатационных условиях при установившемся тепловом режиме. Режим работы котла поддерживается эксплуатационным персоналом котельной. Перечень приборов для измерения параметров работы котла IVAR Super-Rac 2330 представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Перечень приборов для измерения параметров работы котла IVAR Super-Rac 2330

Измеряемый параметр	Тип прибора	Ед.изм.	Предел измерения
1. Давление воздуха перед горелкой	НМП-52	кПа	0...6
2. Температура воздуха перед горелкой	ТТ	°С	0...+50
3. Давление газа после ГРУ	ДМ02-100-1-М	кгс/см <sup>2</sup>	0...1
4. Давление в топке	НМП-52	кПа	0...6
5. Температура уходящих газов	Анкат-310	°С	+50...+1350
6. Состав уходящих газов:			
– CO <sub>2</sub>	Анкат-310	%	0...25
– O <sub>2</sub>	Анкат-310	%	0...21
– СО	Анкат-310	ppm	0...8000
7. Температура воды	WATTS	°С	0...120

Продолжение таблицы 5.1

Измеряемый параметр	Тип прибора	Ед.изм.	Предел измерения
8. Давление воды до/после котла	МП-ЧУ	кгс/см <sup>2</sup>	0...10
9. Расход газа	G - 250	м <sup>3</sup> /час	20...400

С помощью измерительных приборов были измерены следующие параметры при максимальной нагрузке котла (2,3 МВт) и работе на природной газе месторождения Бухара-Урал, представленные в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Параметры работы котла IVAR Super-Rac 2330 (при max нагрузке)

Наименование	Усл.обозначение	Ед.изм.	Значение
<i>1. Газ</i>			
Плотность топлива	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	0,685
Температура топлива	$t_2$	°С	5,6
Барометрическое давление	$p_{бар}$	мм.рт.ст.	750
Максимальное содержание двуокиси углерода	$CO_2^{max}$	%	11,6
Давление газа после рампы	$p_2$	кПа	9,92
Расход топлива на котел при стандартных условия	$V_{ф}$	нм <sup>3</sup> /ч	266,7
<i>2. Вода</i>			
Расход воды через котел	$G$	м <sup>3</sup> /ч	195,2
Температура воды на входе в котел	$t_{вх}$	°С	70,0
Температура воды на выходе из котла	$t_{вых}$	°С	95,0
<i>3. Воздух</i>			
Температура воздуха, подаваемого на горение	$t_{х.в.}$	°С	17,8
Давление воздуха за вентилятором	$p_в$	кПа	5,6
<i>4. Продукты сгорания</i>			
Состав продуктов сгорания:			
– CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	%	9,73
– O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	%	3,70
– CO	CO	ppm	6,00
Температура продуктов сгорания за котлом	$\theta_{ух.г.}$	°С	198,1
Коэффициент избытка воздуха за котлом	$\alpha$	–	1,16

В таблице 5.4 представлены значения рабочих точек т.е. производительность котла.

Таблица 5.4 – Значение рабочих точек (производительности котла)

Процент мощности горелки, %	Нагрузка $Q_k$ , кВт
Розжиг	695,58
20,0	805,63
25,0	870,45
30,0	1038,76
40,0	1231,45
50,0	1410,21
60,0	1591,64
70,0	1763,70
80,0	1945,63
90,0	2115,89
99,9	2301,68

Анализ основных параметров работы водогрейного котла проводится по методике М.Б. Равича [33,34]. К основным параметрам относятся: фактический расход газа, теплопроизводительность, коэффициент избытка воздуха, потери тепла с уходящими газами, потери тепла в окружающую среду, коэффициент полезного действия (брутто), а также удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал тепла. Фактический расход формуле (5.1):

$$B_{\phi} = B_{сч} \cdot \frac{p_{бар} + \frac{P_{расч}}{13,6}}{760} \cdot \frac{273 + t_{\phi}}{273 + t_2}, \quad (5.1)$$

где  $B_{сч}$  – часовой расход газа по счетчику, м<sup>3</sup>/ч;

$p_{бар}$  – барометрическое давление, мм.рт.ст;

$p_{расч}$  – давление газа перед счетчиком, мм.вод.ст;

$t_{\phi}$  – температура наружного воздуха, °С;

$t_2$  – температура газа перед счетчиком, °С.

Теплопроизводительность рассчитывается по формуле (5.2):

$$Q_k = \frac{Q_n^p \cdot B_{\phi}}{\eta_{бр}} \cdot 100\%, \quad (5.2)$$

где  $Q_n^p$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/м<sup>3</sup>;  
 $\eta_{бр}$  – коэффициент полезного действия, брутто, %.

Коэффициент избытка воздуха при полном сгорании газа определяется по формуле (5.3):

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - 3,762 \cdot O_2} . \quad (5.3)$$

Потери тепла с уходящими газами (5.4):

$$q_2 = 0,01 \cdot (t_{yx.z} - t_{x.в.}) \cdot Z , \quad (5.4)$$

где  $t_{yx.z}$  – температура уходящих газов, °С;

$t_{x.в.}$  – температура холодного воздуха, °С;

$Z$  – коэффициент, зависящий от содержания в продуктах сгорания CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> и температуры отходящих газов.

Потери тепла от химической неполноты сгорания газа (5.5):

$$q_3 = \frac{(30,2 \cdot CO + 25,8 \cdot H_2 + 85,5 \cdot CH_4) \cdot h}{p} , \quad (5.5)$$

где  $h$  – коэффициент разбавления сухих продуктов сгорания;

$p$  – максимальное теплосодержание сухих продуктов сгорания.

Потери тепла в окружающую среду будут равны (5.6):

$$q_5' = q_5^{ном} \cdot \frac{Q_k^{ном}}{Q_k^{факт}} , \quad (5.6)$$

где  $Q_k^{ном}$  – номинальная теплопроизводительность, Гкал/ч;

$Q_k^{факт}$  – фактическая теплопроизводительность, Гкал/ч;

$q_5^{ном}$  – потери тепла в окружающую среду при номинальной нагрузке, %.

Коэффициент полезного действия брутто подсчитывается по обратному балансу (5.7):

$$\eta_{бр} = 100 - q_2 - q_3 - q_5 . \quad (5.7)$$

Удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал тепла рассчитывается

по формуле (5.8):

$$B_y = \frac{143}{\eta_{бр}} \cdot 100\% . \quad (5.8)$$

## 5.2 Результаты исследования параметров водогрейного котла IVAR Super-Rac 2330 с горелкой Baltur

По показанию приборов и методике расчетов определены параметры работы котла IVAR Super-Rac 2330 для 10 (десяти) нагрузок производительности (рабочих точек горелки), представленных в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Параметры работы котла IVAR Super-Rac 2330

Процент мощности горелки, %	Нагрузка $Q_k$ , кВт	Потери тепла с уходящими газами, $q_2$ , %	Коэф-т избытка воздуха, $\alpha$	Потери тепла в окруж. среде, $q_5$ , %	КПД «брутто», $\eta$ , %	Расход условного топлива на выработку 1 Гкал, $B_y$ , кг.у.т./1Гкал
Розжиг	695,58	5,53	1,23	1,73	92,66	154,30
20,0	805,63	6,21	1,23	1,52	92,19	155,07
25,0	870,45	6,70	1,24	1,29	92,08	155,41
30,0	1038,76	6,87	1,24	1,08	92,00	155,48
40,0	1231,45	7,18	1,23	0,89	91,97	155,53
50,0	1410,21	7,32	1,22	0,81	91,89	155,67
60,0	1591,64	7,48	1,21	0,70	91,81	155,75
70,0	1763,70	7,71	1,20	0,68	91,74	155,89
80,0	1945,63	7,92	1,18	0,59	91,59	156,23
90,0	2115,89	8,05	1,18	0,52	91,39	156,39
99,9	2301,68	8,21	1,16	0,48	91,32	156,52

На основании таблицы 19 можно сделать выводы о работе котла IVAR Super-Rac2330:

- 1) максимальная теплопроизводительность равна паспортному значению (2283,55 кВт);
- 2) во всех диапазонах нагрузок происходит полное сгорание топлива;
- 3) действительный КПД «брутто» котла при максимальной нагрузке котла близок к паспортному значению (снижение КПД «брутто» работы котла происходит из-за увеличения потерь тепла с уходящими газами, следовательно, из-за увеличения температуры продуктов сгорания за котлом)
- 4) потери тепла от химической неполноты сгорания топлива отсутствуют во всех диапазонах рекомендуемых нагрузок.



## **6 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Энергосбережение играет одну из важных ролей в критериях ограниченности энергетических ресурсов. Энергосбережение в теплоэнергетике – это применение одновременно целого ряда энергосберегающих мероприятий по получению, транспортировке и использованию тепловой энергии. Эффективность всех таких мероприятий может казаться маленькой в каждом отдельном взятом случае, однако с уверенностью можно говорить, что комплекс мер, которые были направлены на повышение энергосбережения в теплоэнергетике, дает синергетический эффект.

Необходимость повышения энергетической эффективности установлена законом Российской Федерации № 261-ФЗ от 23 ноября 2009 года «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» и принимаемых в соответствии с ним нормативных правовых актов РФ по вопросам энергосбережения [1].

Данный закон в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности основывается на следующих принципах:

- любой товар, произведенный или импортируемый на территории РФ, должен пройти сертификацию и содержать полную информацию об их энергетической эффективности;
- устанавливает необходимость соответствия энергоэффективности зданий и сооружений требованиям правил, утвержденных правительством РФ;
- любые производимые, передаваемые и потребляемые энергоресурсы в обязательном порядке подлежат учету;
- бюджетные учреждения обязаны снизить не менее чем на 15% объемы потребления энергоресурсов от уровня потребления в 2009 году в течение 5 лет начиная с 2010 году, причем ежегодные темпы снижения потребления должны составлять не менее 3%.

Основные мероприятия по энергосбережению в котельных включают в себя: увеличение КПД котельных установок, экономию топлива, снижение потерь теплоты, качественную подготовку воды для питания паровых котельных агрегатов и подпитки теплосети, снижение присосов в топку и газоходы, работа по режимной карте и температурному графику с наименьшим коэффициентом избытка воздуха, проведение режимно-наладочных испытаний, автоматизация процессов горения топлива и питания котельных агрегатов и другие.[35,36]

Наиболее приоритетными мероприятиями по экономии тепловой энергии и топлива являются такие, применение которых позволит не только обеспечить экономию, но и повысить производительность и надежность теплотехнических установок.

При рассмотрении анализа тепловых балансов водогрейных котлов, было выяснено, что основные потери теплоты происходят с уходящими дымовыми газами. Для снижения данных потерь, при выборе котельного агрегата нужно было уделить внимание значению температуры уходящих газов. Выбранные жаротрубно-дымогарные котлы IVAR SuperRAC 2330 теплопроизводительностью 2360 кВт, работающие на природном газе, обладают развитой конвективной

поверхностью второго хода дымогарных труб, что обеспечивает снижение температуры уходящих газов до 186 °С.

Современная теплоизоляция данного котла позволит поддерживать температуру поверхности котельного агрегата ниже 45°С при температуре окружающего воздуха 25°С. Это требование обусловлено правилами технической эксплуатации котельного агрегата. Таким образом будут обеспечены не только требования безопасности в котельной, но и снижение потерь в окружающую среду. Теплосеть в данном районе построена давно, следовательно, имеют место быть утечки, частые ремонты, коррозия и перенос по сети механических частиц.

Для уменьшения образования отложений на поверхностях нагрева котлов будет установлена системы водоподготовки. В данном проекте применяется установка умягчения непрерывного действия с регенерацией по расходу Fleck TS 91-13 M. В зависимости от требуемых показателей качества воды (жесткость, окисляемость, сухой остаток, содержание взвешенных веществ) рекомендуют ту или иную технологию водоподготовки. В выбранной установке умягчение воды осуществляется методом натрий-катионирования при фильтровании исходной воды через слой ионообменной смолы.

В качестве насосного оборудования выбраны насосы CNP TD 150-21/4 и GRUNDFOS UPS 65-60/2 F с частотным электроприводом, что позволяет производить рациональное регулирование, обеспечивающее значительную экономию электроэнергии.

Неправильно выбранные горелки повлекут за собой изменение температуры. Более высокие температуры будут давать повышенные потери с уходящими газами, более низкие ведут к чрезмерному увеличению поверхностей нагрева котла. Двух ступенчатые горелки Baltur BGN 350 DSPGN с электронным модулем и электрическим сервоприводом для работающих котлов обеспечивают подачу на горение оптимальное количество воздуха, что так же обеспечивает минимальные потери с уходящими газами.

## 7 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

Отопительная котельная предназначена для теплоснабжения зданий и производств. Котлы являются одним из источников загрязнения атмосферы вредными веществами [36]. При сжигании природного газа образуются оксиды серы  $\text{SO}_2$ , азота  $\text{NO}_2$ , углеводороды, водяные пары  $\text{H}_2\text{O}$ , монооксид  $\text{CO}$ .

Поэтому необходимо удаление во внешнюю среду и рассеивание продуктов сжигания топлива, с этой целью нужно установить дымовую трубу. Вследствие этого дымовые газы должны проходить обязательную очистку. Чтобы это выполнить используют метод рассеивания дымовых газов через высокие дымовые трубы. Из них газы выбрасываются в высокие слои атмосферы, где в дальнейшем перемешивается с воздухом, благодаря этому концентрация вредных веществ, содержащаяся на уровне дыхания человека, не превышает допустимых нормативами значений.

Главным показателем, который характеризует загрязнение воздушной среды, является выброс загрязняющего вещества в единицу времени.

Рассеивания вредных примесей в атмосфере рассчитывается в соответствии с санитарными нормами [37] при неблагоприятных метеорологических условиях, а конкретно при опасной скорости ветра, при которой концентрация вредных веществ на уровне жизнедеятельности человека достигает максимальных значений.

У котельной должна быть одна общая дымовая труба для всех котельных агрегатов, которая устанавливается отдельно от здания котельной, с возможностью присоединения к данной трубе еще одного-двух котлов. Для определения высоты и диаметра дымовой трубы необходимо выполнить аэродинамический расчет конструкции. [38]

Расход топлива на два котла рассчитывается,  $\text{м}^3/\text{с}$  (7.1):

$$B = \frac{Q \cdot n}{Q_n^p \cdot \eta_k}, \quad (5.1)$$

где  $Q$  – номинальная теплопроизводительность;

$Q_n^p$  – низшая теплота сгорания, рассчитанная в главе 4.3;

$\eta_k$  – КПД котла;

$n$  – количество котлов.

$$B = \frac{8496 \cdot 10^3 \cdot 2}{36662,91 \cdot 0,919} = 504,3 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,14 \text{ м}^3/\text{с}$$

В топочной камере образуется в основном окись азота, она составляет более 95%. Образование двуокиси азота за счет окисления окиси азота происходит при низких температурах и требует значительного времени.

									Лист
									44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.016.12 ПЗ				

Выброс оксидов азота, г/с можно рассчитать по следующей формуле (7.2):

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot B \cdot Q_n^p \cdot K_{NO_2} \cdot (1 - \beta), \quad (7.2)$$

где  $\beta$  – коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов окислов азота,  $\beta = 0$ ;

$B$  – расход топлива, м<sup>3</sup>/с;

$Q_n^p$  – низшая теплота сгорания топлива Вт;

$K_{NO_2}$  – параметр, характеризующий количество оксидов азота образующих на МДж теплоты.

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 0,14 \cdot 36662,91 \cdot 0,075 \cdot 1 = 0,385 \text{ г/с.}$$

Объем продуктов сгорания при нормальных условиях для одного котла из главы 4:  $V_r = 13,56 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

Объем газов приведен при нормальных условиях. Его необходимо пересчитать на климатическое атмосферное давление и температуру уходящих газов, м<sup>3</sup>/ м<sup>3</sup> (7.3):

$$V_p = \frac{p_n \cdot V_z \cdot T_z}{p_p \cdot T_n}, \quad (7.3)$$

где  $V_z$  – объем уходящих газов;

$T_z$  – температура уходящих газов;

$p_p$  – заданное атмосферное давление.

$$V_p = \frac{760 \cdot 13,56 \cdot 413}{720 \cdot 273} = 21,65 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Объемный расход уходящих газов для котлов, м<sup>3</sup> (5.4):

$$V_{yx.z} = B \cdot V_p \quad (7.4)$$

$$V_{yx.z} = 0,14 \cdot 21,65 = 3,031 \text{ м}^3.$$

Задаем оптимальной скоростью дымовых газов на выходе из трубы при естественной тяге:  $\omega = 20 \text{ м/с}$ . Диаметр трубы определяется по формуле (7.5):

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{yx.z}}{\omega \cdot \pi}} \quad (7.5)$$

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,031}{20 \cdot 3,14}} = 0,44 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр по стандарту [38]  $D_0 = 0,5$  м, тогда скорость газов определяется по формуле (7.6):

$$\omega = \frac{4 \cdot V_{yx.z.}}{\pi \cdot D_0^2} \quad (7.6)$$

$$\omega = \frac{4 \cdot 3,031}{3,14 \cdot 0,5^2} = 15,4 \text{ м/с.}$$

Задаем высоту дымовой трубы  $H=12$  м, тогда параметр  $\vartheta_m$  вычисляется по формуле (7.7):

$$\vartheta_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{yx.z.} \cdot \Delta T}{H}} \quad (7.7)$$

где  $\Delta T$  – разность между температурой выбрасываемых газов и средней температурой воздуха, °С.

$$\vartheta_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{3,031 \cdot 161}{12}} = 2,23.$$

Безразмерный коэффициент  $n$  определяется в зависимости от параметра  $\vartheta_m$ :

При  $\vartheta_m \geq 2$   $n=1$ .

Для определения коэффициентов  $m$  и  $n$  необходимо определить вспомогательную величину по формуле (7.8):

$$f = \frac{10^3 \cdot \omega^2 \cdot D_0}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (7.8)$$

где  $\Delta T$  – разность между температурой выбрасываемых газов и средней температурой воздуха, °С.

$$f = \frac{10^3 \cdot 15,4^2 \cdot 0,5}{12^2 \cdot 161} = 5,1 \text{ м}^2$$

Коэффициент  $m$  необходимо определить по формуле (7.9):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} \quad (7.9)$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{5,1} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{5,1}} = 0,67$$

Минимальная высота дымовой трубы, при которой обеспечивается концентрация загрязняющих веществ в приземном слое не выше ПДК для населённых пунктов, рассчитывается по формуле (7.10):

$$H_1^p = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{\text{ПДК}} \cdot \sqrt[3]{\frac{z}{V_{\text{ух.з.}} \cdot \Delta T}}} \quad (7.10)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от распределения температуры воздуха по высоте, характеризуемое вертикальным градиентом температуры  $g$  [ $1^\circ/100$  м], для района Урала  $A=160$ ;

$M$  – массовый выброс загрязняющего вещества, г/с;

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

$m$  и  $n$  – безразмерные коэффициенты, учитывающие подъем факела над трубой;

ПДК – максимально-разовая предельная допустимая концентрация загрязняющего вещества, для окислов азота ПДК=0,085 мг/м<sup>3</sup> ;

$z$  – количество дымовых труб;

$\Delta T$  – разность между температурой выбрасываемых газов и средней температурой воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

$$H_1^p = \sqrt{\frac{160 \cdot 0,38 \cdot 1 \cdot 0,67 \cdot 1}{0,085} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{30,31 \cdot 161}}} = 7,8 \text{ м.}$$

Необходимо задаться высотой  $H=8$  м и произвести аналогичный расчет для данной высоты по формулам (7.7), (7.8), (7.9) и (7.10):

$$g_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{3,031 \cdot 161}{8}} = 2,56$$

При  $g_m \geq 2$   $n=1$

$$f = \frac{10^3 \cdot 15,4^2 \cdot 0,5}{8^2 \cdot 161} = 11,5 \text{ м}^2.$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{11,5} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{11,5}} = 0,56.$$

$$H_2^p = \sqrt{\frac{160 \cdot 0,38 \cdot 1 \cdot 0,56 \cdot 1}{0,085}} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{3,031 \cdot 161}} = 7,13 \text{ м}.$$

Необходимо задаться следующей высотой  $H=4$  м. Используя данную высоту произвести аналогичный расчет для данной высоты по формулам (7.7), (7.8), (7.9) и (7.10):

$$g_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{3,031 \cdot 161}{4}} = 3,2.$$

При  $g_m \geq 2$   $n=1$

$$f = \frac{10^3 \cdot 15,4^2 \cdot 0,5}{4^2 \cdot 161} = 46 \text{ м}^2.$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{46} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{46}} = 0,38.$$

$$H_3^p = \sqrt{\frac{160 \cdot 0,38 \cdot 1 \cdot 0,38 \cdot 1}{0,085}} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{3,031 \cdot 161}} = 5,8 \text{ м}.$$

После того, как произведен аэродинамический расчет конструкции для нескольких высот дымовой трубы необходимо построить график для определения минимальной высоты дымовой трубы [38]. Необходимость использования графического метода для определения минимальной высоты, обосновывается тем, что построенные расчетные точки соединяются между собой, а после в системе координат  $h_p-h_3$  проводится биссектриса, с помощью которой можно определить необходимую высоту дымовой трубы, которая будет соответствовать ГОСТу и другим нормативно-правовым документам.

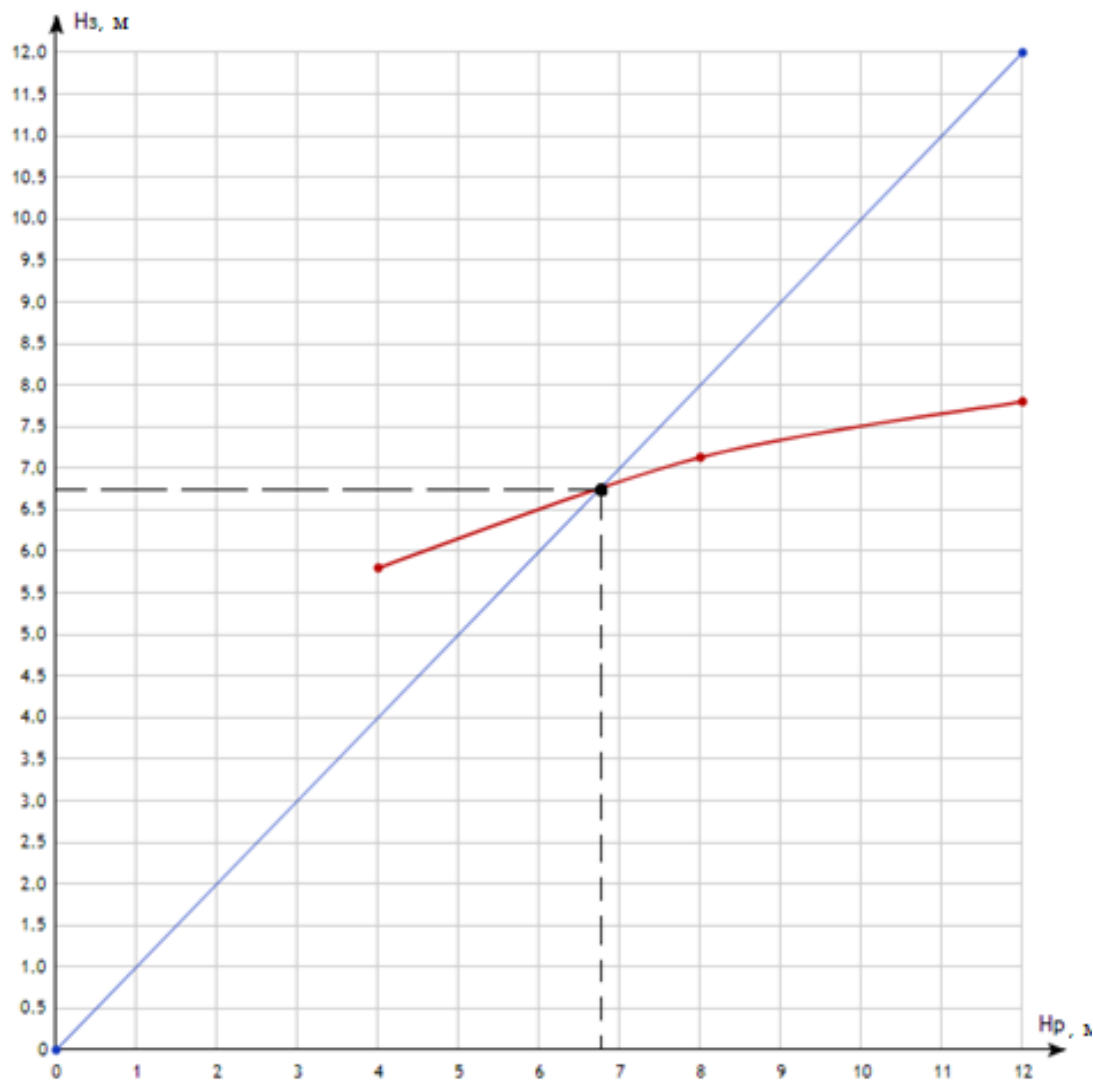


Рисунок 7.1 – Определение минимальной высоты дымовой трубы

Из рисунка 7.1 следует, что точка пересечения кривой и биссектрисы т.е. минимальная высота дымовой трубы :  $h_{min}=6.8 \text{ м}$ . Максимальная концентрация загрязняющих веществ будет рассчитана по формуле (7.11):

$$C_{max} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_{yx.z.} \cdot \Delta T}} \quad (7.11)$$

На основании нормативного документа ГОСТ 34519-2019 «Трубы промышленные дымовые и вентиляционные. Правила организации и производства работ, контроль выполнения и требования к результатам работ», [38] производится выбор дымовой трубы, которая будет иметь наиболее ближайшую стандартную высоту:  $h = 20 \text{ м}$ .

$$g_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{3,031 \cdot 161}{20}} = 1,9.$$



$$f = \frac{10^3 \cdot 15,4^2 \cdot 0,5}{20^2 \cdot 161} = 1,8 \text{ м}^2.$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{1,8} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{1,8}} = 0,82.$$

$$C_{max} = \frac{160 \cdot 0,385 \cdot 1 \cdot 0,82 \cdot 1}{20^2 \cdot \sqrt[3]{3,031 \cdot 161}} = 0,015 \text{ мг/м}^3$$

Максимальная концентрация выбросов не превышает ПДК, которое равно 0,085 мг/м<sup>3</sup>. Следовательно, выбранная дымовая труба обеспечивает требуемое рассеивание.

					13.03.01.2020.016.12 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

## 8 КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И АВТОМАТИКА

В выпускной квалификационной работе была спроектирована функциональная схема автоматизирования. Схема учитывает контроль давления, расходов и температуры в соответствии с различными требованиями государственных стандартов, правилами и нормами (ГОСТ 21.404.85) и представлена на листе формата А1 графической части работы.

В данной водогрейной котельной установлены 3 водогрейных котла IVAR SUPERRAC с двух ступенчатыми горелками Baltur BGN 350 DSPGN .

В целях защиты оборудования водогрейных котлов при сжигании газообразного топлива предусматриваются устройства, автоматически прекращающие подачу газа к горелочным устройствам при:

- Повышении либо понижении давления топлива перед горелками;
- Понижении давления воздуха перед горелками котлов, для котельных агрегатов, оборудованных горелками с принудительной подачей воздуха;
- Снижении разряжения в топке котла;
- Погасании факела горелок, отключение которых во время работы котла не допускается;
- Повышении температуры воды на выходе их котла;
- Повышении давления воды на выходе из котла;
- Неисправности цепей защиты, включая исчезновение напряжения [38].

При работе котельных без постоянного присутствия персонала на диспетчерский пункт должны выводиться сигналы (звуковые и световые) при:

- Неисправности оборудования, при этом в котельной фиксируется причина вызова;
- Сигнале срабатывания главного быстродействующего запорного клапана топливоснабжения котельной;
- Достижении уровня загазованности помещения 10% от нижнего предела воспламеняемости природного газа.

В данной котельной объем средств автоматизации соответствует требованиям СНиП П-35-76 [39]. Данные нормы и правила должны соблюдаться при проектировании новых и реконструируемых котельных установок с паровыми, водогрейными и пароводогрейными котлами, независимо от производительности, с давлением пара не более 40 кгс/см и с температурой воды не более 200 °С. Операции по пуску и останову котла происходят автоматически «от кнопки». Аварийный сигнал остановки котла вынесен на щит КПП №1.

В котельных устанавливаются показывающие приборы для измерения температуры воды в подающем и обратном трубопроводах, температуры газообразного и жидкого топлива в общей напорной магистрали. В котельной должна быть предусмотрена регистрация следующих параметров: температуры воды в подающих трубопроводах тепловой сети и горячего водоснабжения, а также в каждом обратном трубопроводе; расхода воды, идущей на подпитку тепловой сети.

										Лист
										51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.016.12 ПЗ					

Теплотехнический контроль включает в себя контроль за: температурой воды после котла; температурой воды перед котлом; температурой дымовых газов за котлом; давлением воды после котла. В данной работе предусматривается учет газа:

- на котел IVAR Super Rac 2330 счетчиком СГ 16МТ-400;
- на котел IVAR Super Rac 2330 счетчиком СГ 16МТ-400.

В соответствии с требованиями «Инструкции РД 12341-00» [17] предусматривается установка сигнализаторов по контролю за содержанием СО. При концентрации СО, равной 95–100 мг/м<sup>3</sup> подается сигнал на пульт управления оператора на отключение газа и включение световой и звуковой сигнализации в КПП №1.

Для контроля загазованности в котельной предусматривается установка сигнализаторов по контролю за содержанием СН<sub>4</sub>. При загазованности помещения более 10% от нижнего предела воспламенения газа сигнализатор дает сигнал на пульт управления оператора на отключение отсечного клапана и аварийный сигнал в КПП №1.

Автоматика безопасности котла предусматривает автоматическое отключение газа:

- при погасании факела горелки;
- при недопустимом изменении давления газа в сети;
- при понижении давления воздуха ниже допустимого;
- при уменьшении разрежения в топке;
- при повышении температуры воды на выходе из котла;
- повышении давления воды из котла;
- при прекращении подачи электроэнергии или исчезновении напряжения на устройствах дистанционного и автоматического управления и СИ.

Котельная работает с постоянным присутствием обслуживающего персонала, поэтому на КПП №1 должны выноситься сигналы (световые и звуковые):

- неисправности оборудования;
- сигнал срабатывания быстродействующего запорного клапана пульт на управления оператора при достижении загазованности помещения более 10% от нижнего предела воспламеняемости газа, при концентрации СО, равной 95–100 мг/м<sup>3</sup>;
- сигнал срабатывания быстродействующего запорного клапана на пульт управления оператора;
- пожар.

Давление газа контролируется с помощью напорометров ДН 05100, температура газа на вводе в котельную жидкостным термометром ТЖСТУ50 (-50...+50). Электронные датчики давления и температуры, установленные непосредственно на газопроводе, запитаны по взрывобезопасной схеме.

Установлены сигнализаторы горючих и сигнализаторы угарного газа:

- при достижении концентрации СН<sub>4</sub> 20% от НКПР формируется сигнал на закрытие отсечного клапана с аварийной сигнализацией на щите 1ЩУ;

										Лист
										52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.016.12 ПЗ					

- при достижении концентрации CO 20 мг/м<sup>3</sup> срабатывает светозвуковая сигнализация 1 порог;
- при достижении концентрации CO 100 мг/м<sup>3</sup> срабатывает светозвуковая сигнализация 2 порог, при этом формируется сигнал на закрытие отсежного клапана.

При формировании пожарной сигнализацией сигнала «Пожар», формируется сигнал на закрытие газового клапана, на щите 1ЩУ отображается светозвуковая сигнализация. Разработан щит 1ЩУ, расположенный в котельной. В нем размещен регистратор, звуковая сигнализация аварийных режимов, а также световая сигнализация:

- предохранительно-запорный клапан открыт;
- предохранительно-запорный клапан закрыт;
- концентрация СН<sub>4</sub> высока;
- концентрация CO высока (раздельно первый порог и второй порог);
- авария котлов;
- пожар;
- неисправность питательной системы.

Сигнализация о неисправности оборудования дублируется светозвуковым сигнализатором в помещении с персоналом на КПП №1. В системах управления горелками заводом-изготовителем реализовано прекращение подачи топлива к горелкам при:

- при недопустимом изменении давления газа перед горелками;
- понижении давления воздуха перед горелками;
- погасания факела горелки;
- уменьшения разрежения в топке;
- прекращения подачи электроэнергии или исчезновение напряжения на устройствах дистанционного и автоматического управления и средствах измерения;
- повышения температуры воды на выходе из котла;
- повышении давления воды на выходе из котла.

При срабатывании аварийной сигнализации, в помещении КПП срабатывает звуковое оповещение. Кабели в помещении котельной проложены в кабель-канале из пластика, не поддерживающего горение [41]. Спецификацию аппаратуры контроля отобразим в таблице 8.1

Таблица 8.1 – Условные обозначения

Обозначение	Наименование
PS	Прибор для измерения давления с контактным устройством, установленный по месту
TE	Первичный измерительный преобразователь для измерения температуры, установленный по месту

Продолжение таблицы 8.1

Обозначение	Наименование
TS	Прибор для измерения температуры бесшкальный с контактным устройством, установленным по месту.
PI	Прибор для измерения давления показывающий, установленный по месту
TI	Прибор для измерения температуры показывающий, установленный на щите

В таблице 8.2 представлены приборы и средства измерения, установленные в котельной.

Таблица 8.2 – Приборы и средства измерения

Наименование	Тип, марка	Завод-изготовитель	Кол-во
1. Манометр ДМ 05-МП-3У	TM	Росма	18 шт.
2. Термометр биметаллический 0...120 °С	T63/50	Watts	3 шт.
3. Реле давления	РД-2-Х-6R-1	BD	9 шт.
4. Реле максимального давления газа	GW 50	DUNGS	2 шт.
5. Комнатный термостат	Belux (TI-N)	Watts	2 шт.
6. Датчик температуры погружной	ДТС3105-PT1000.B2.120	Овен	3 шт.
7. Датчик температуры наружного воздуха	ST-U1/Pt1000	Regin	1 шт.
8. Датчик температуры	GEFRAN TR6 PT100	–	2 шт.
9. Регулятор мощности	LCM100	–	2 шт.
10. Преобразователь давления	БД ПД-Р 0...10	BD	2 шт.
11. Привод	ESF-10B, 92P	Energy, ESBE	3 шт.
12. Преобразователь частоты	ATV212HD11N4	Schneider Electric	2 шт.
13. Контроллер Modicon	TM172PDG28R	Schneider Electric	1 шт.
14. Съёмные клеммные блоки	TM172ASCTB28	Schneider Electric	1 шт.

Продолжение таблицы 8.2

Наименование	Тип, марка	Завод-изготовитель	Кол-во
15. Трансформатор понижающий	SAT1-24/50	Regin	1 шт.
16. Тепловычислитель	Карат 307-307-4V4TOP	НПО «Карат»	1 шт.
17. Расходомер электромагнитный	Карат 551-100	НПО «Карат»	2 шт.
18. Комплект термопреобразователей	КТПТР-01, Pt100, L120	—	1 шт.

## 9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Предметом проектирования является водогрейная котельная фирмы ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ» в г. Челябинске, которая предусматривает установку двух основных и одного резервного котельных агрегатов IVAR SuperRAC 2330 мощностью 2360 кВт каждый. В данной водогрейной котельной помимо котлов будут расположены насосы, оборудование для водоподготовки.

Котельная полностью автоматизирована и не нуждается в постоянном присутствии обслуживающего. Показания контрольно-измерительных приборов регистрируются автоматически и передаются на удаленный пульт оператора. Так же оператору передаются сигналы о неполадках в работе оборудования. Обслуживающий персонал находится в помещении котельной лишь при обходах либо при устранении неисправностей в работе оборудования.

Основные опасности, возникающие при эксплуатации котельных установок:

- Нагретые поверхности оборудования котельной;
- Генерирование вибрации и шума за счёт работы транспортных агрегатов, а также тягодутьевых устройств;
- Физические взрывы систем, работающих под давлением;
- Аварийные ситуации (утечка топлива, пожар и т.д.);
- Повреждения, полученные при падениях.

### 9.1 Безопасность при эксплуатации теплоэнергетического оборудования

С целью безопасной эксплуатации котельных установок применяется следующая арматура безопасности:[42]

- Манометры, для контроля давления среды (воды, пара и др.);
- Предохранительные устройства для сброса избыточного давления рабочей среды (разрывные мембраны, предохранительные клапаны, и др.);
- Манометры на газопроводе перед каждой горелкой;
- Газоанализаторы постоянного действия;
- Водозапорные вентили (задвижки) для впуска воды в КУ и регулирование её количества;
- Обратный питательный клапан, предотвращающий пропуск воды из КУ обратно в питательную магистраль при аварии на питательном трубопроводе;

Дверцы и крышки лазов, лючков и гляделок должны быть прочными, плотными и должны исключать возможность самопроизвольного открывания

Вся арматура и оборудование должны иметь технические паспорта, где отражаются параметры эксплуатации, схемы включения в технологическую систему и др. сведения. С целью предупреждения взрывов автоматически контролируется температура топочных газов и воды, при этом системы контроля блокируются с питательными системами (по топливу и воде), которые отключаются при превышении критических величин температур. Химические вещества, которые используются для очистки воды, соответствуют санитарно-гигиеническим нормам [44].

											Лист
											56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							

13.03.01.2020.016.12 ПЗ

Во избежание травматизма в котельной при осмотре или обслуживанию запрещается [43]:

- Опирается и становится на оградительные барьеры площадок, ходить по трубопроводам, а также по конструкциям и перекрытиям, не предназначенным для прохода по ним;
- Эксплуатировать тепловые энергоустановки с неисправными или отключенными устройствами аварийного отключения, блокировок, защиты и сигнализации, а также с не ограждёнными вращающимися частями;
- Чистить, протирать и смазывать вращающиеся или движущиеся части механизмов;
- Останавливать вручную вращающиеся и движущиеся механизмы;
- Пользоваться неисправным инструментом.

## 9.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Во время работы на персонал водогрейной котельной оказывается влияние следующих опасных условий:

- Температура воздуха в рабочей зоне. Оказывает влияние на функциональное состояние организма, на его тепломассообменные процессы;
- Освещенность на рабочем месте. Оказывает влияние на самочувствие и работоспособность;
- Аварийное освещение. Оказывает влияние на самочувствие;
- Скорость движения воздуха. Оказывает влияние на функциональное состояние организма, на его тепломассообменные процессы;
- Концентрация пыли в воздухе рабочей зоны. Вызывает отклонения в состоянии здоровья от легкого недомогания до профзаболевания;
- Уровень шума. Оказывает влияние на самочувствие и работоспособность;
- Тепловые излучения. Перегрев;
- Вероятность возникновения пожарных ситуаций.

## 9.3 Воздух рабочей зоны

Воздух рабочей зоны – это оптимальный микроклимат в помещении, обеспечивающий поддержание теплового равновесия между организмом и окружающей средой, а также уменьшение содержания вредных веществ в воздухе [45].

Воздух рабочей зоны характеризуется следующими параметрами: температура воздуха в помещении, выражается в градусах Цельсия; относительная влажность воздуха - в процентах; скорость его движения - в метрах в секунду, интенсивность радиации, преимущественно в инфракрасной и частично в ультрафиолетовой областях спектра; электромагнитных излучений - в джоулях на квадратный сантиметр в минуту.

Эти характеристики как по отдельности, так и в комплексе влияют на самочувствие и работоспособность человека.

										Лист
										57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2020.016.12 ПЗ



Оптимальные значения температуры и скорости движения воздуха для рабочей зоны производственных помещений с учетом тяжести выполняемой работы и сезонов года приведены в таблице 9.1. Эти значения соответствуют ГОСТ-12.1-005-76 [45].

Таблица 9.1 – Допустимые значения температуры и скорости воздуха

Климатический режим	Типы выполняемых работ, <i>Vm</i>	Температура воздуха в помещении, °С		Температура материалов, °С	Диапазон требуемой влажности воздуха, %	Скорость потока воздуха, <i>m/c</i>	
		Минимальный температурный предел	Максимальный температурный предел			Минимальный температурный предел	Максимальный температурный предел
Холодный	Ia (до 139)	20,0- 21,9	24,1- 25,0	19,0- 26,0	15-75	0,1	0,1
	Iб (140-174)	19,0- 20,9	23,1- 24,0	18,0- 25,0	15-75	0,1	0,2
Теплый	Ia (до 139)	21,0- 22,9	25,1- 28,0	20,0- 29,0	15-75	0,1	0,2
	Iб (140-174)	20,0- 21,9	24,1- 28,0	19,0- 29,0	15-75	0,1	0,3

Кроме параметров воздуха, приведенных выше, возможно наличие в воздухе рабочей зоны вредных веществ. Защита от вредных газо-, паро- и пылевывделений предусматривает устройство местной вытяжной вентиляции для отсоса ядовитых веществ непосредственно от мест их образования.

Естественная вентиляция образуется за счет разности плотностей воздуха, находящегося внутри помещения, и более холодного снаружи, а также за счет ветра создает необходимый воздухообмен. Естественная вентиляция дешева и проста в эксплуатации. Основной ее недостаток связан с тем, что приточный воздух вводится в помещение без предварительной очистки и подогрева, а удаляемый воздух не очищается, загрязняя атмосферу.

## 9.4 Нормирование шума и вибрация

Источниками вибрации котельной являются вращающиеся механизмы такие как дымосос, вентилятор и насосы, работающие котлы. Вибрация возникает как при разбалансировке вращающихся механизмов, так и в случае правильной балансировки. В оборудовании вибрация возникает при движении среды[46].

Вибрация может вызвать нарушение функций организма. Вследствие чего возникают изменения со стороны центральной нервной системы: головокружение, шум в ушах, сонливость, нарушается координация движений. Со стороны сердечно-сосудистой системы наблюдается неустойчивость артериального давления, гипертонические явления. Поражение кожно-суставного аппарата: в ногах и позвоночнике. Вибрация при больших частотах может привести к разрыву тканей. Частоты, которые совпадают с частотами собственных колебаний тела человека и его внутренних органов, наиболее опасные, так как могут вызвать резонансные явления в организме. Диапазон частот таких вибраций от 4 до 400 Гц. Вибрация в котельной является постоянной.

Основным документом по вибрации является СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [46].

Основным способом обеспечения вибробезопасности при проектировании должны быть использованы методы, снижающие вибрацию на путях ее распространения от источника возбуждения – виброизоляция.

В котельной применены виброгасящие основания на фундаментах насосов.

Источники шума в котельной — это котел, работающие насосы, дымосос, вентилятор, движение воды в трубопроводах.

При воздействии интенсивного шума снижается острота слуха, изменяется кровяное давление, снижается острота зрения, ухудшается внимание, ускоряется процесс утомления, происходят изменения в двигательных центрах. Наибольшее неблагоприятное воздействие оказывается на сердечно-сосудистую и нервную системы.

Шум интенсивностью более 130 дБ вызывает боль в ушах, а при 140 дБ наступают необратимые нарушения органа слуха. Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Основной документ по воздействию шума СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»[47]. Санитарные нормы являются обязательными для всех организаций и юридических лиц на территории Российской Федерации независимо от форм собственности, подчинения и принадлежности и физических лиц независимо от гражданства. Ответственность за выполнение требований Санитарных норм возлагается в установленном законом порядке на руководителей и должностных лиц предприятий, учреждений и организаций, а также граждан. В таблице 9.2 представлены допустимые уровни шума.

											Лист
											59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							

13.03.01.2020.016.12 ПЗ

Таблица 9.2 – Допустимые уровни шума на рабочих местах и территории предприятия

Тип работы	Уровни звукового давления, дБ, в составных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	32,5	62	130	245	400	1000	3000	5000	10000	
Работа, требующая повышенного внимания; работа с высокими требованиями к сосредоточенному управлению производственными процессами	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
Любые виды работ, протекающие при постоянной работе в производственных помещениях	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Одним из методов снижения шума является снижение шума на пути его распространения. Он осуществляется с помощью применения кожухов, экранов и звукоизолирующих перегородок, которыми закрывают оборудование, применением звукоизоляции ограждающих конструкций; уплотнением по периметру притворов окон, ворот, дверей; устройством звукоизолированных кабин наблюдения и дистанционного управления. Для уменьшения шума от вращающихся механизмов в котельной применены кожухи.

### 9.5 Освещение рабочей зоны

Для обеспечения комфортных условий работы зрительной системы человека в рабочем процессе освещение должно соответствовать [48]:

- Естественное освещение в рабочих помещениях должно обеспечивать комфортную зрительную работу;
- Яркость рабочей поверхности не должна превышать допустимые нормы;

- Наличие различных затемняющих материалов, уменьшающих свет.

Помещения котельной должны быть обеспечены достаточным дневным светом, а в ночное время электрическим освещением. Места, которые по техническим причинам невозможно обеспечить дневным светом, нужно обеспечить электрическим освещением. Освещенность рабочих мест должна быть не ниже следующих норм представлена в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Нормы освещенности рабочих мест

Параметры зрительной работы	Минимальный размер объекта наблюдения, мм	Тип зрительной работы	Подтип зрительной работы	Яркость объекта	Параметры фона	Искусственное освещение			Естественное	Совместное освещение
						Показатель освещенности при наличии	Диапазон допустимого коэффициента ослепленности и показателя пульсации			
									Коэффициент естественного бокового освещения Ен, %	
Суммарное наблюдение за рабочим процессом: – периодическое – постоянное	Более 0,5	8	Не зависит от параметров фона и яркости объекта			75 200	- 40	- 20	0,3 1	0,2 0,6
Суммарное наблюдение за производственными коммуникациями	0,5	8	Не зависит от параметров фона и яркости объекта			20	–	–	0,1	0,1
Высокой точности	0,3 - 0,5	3	в	Низкий	Яркий	300	40	15	–	1,2
				Средний	Средний	–	–	–		
				Высокий	Темный	200	20	15		

Помимо рабочего освещения в котельной должно быть аварийное электрическое освещение от источников питания. Они не зависят от общей электроосветительной сети котельной. Подлежат обязательному оборудованию аварийным освещением следующие места:

- Фронт котлов, а также проходы между котлами, сзади котлов и над котлами;
- Тепловые щиты и пульта управления;
- Водоуказательные и измерительные приборы;
- Вентиляторная площадка;
- Дымососная площадка;
- Помещения для баков и деаэраторов;
- Площадки и лестницы котлов;
- Насосное помещение.

Электрическое оборудование, светильники, токопровод, заземление и их монтаж должны соответствовать требованиям Правил устройства электроустановок [49].

Для электрических ламп общего и местного освещения, подвешиваемых на высоте ниже 2,5 м над полом, напряжение должно быть не более 36 В. Допускается напряжение 127—220 В но при условии, что устройство осветительных приборов не будет позволять производить замену ламп лицам, которые не несут ответственность за данное оборудование, и лампы будут защищены от случайного к ним прикосновения обслуживающего персонала.

## 9.6 Электробезопасность

Соблюдение электробезопасности в котельной одно из важных аспектов в безупречной эксплуатации оборудования и комфортных условий труда персонала. Здания котельных относят к специальным объектам, требующим проведения мероприятий по грамотной защите от поражения электрическим током.

Причинами электротравм могут являться:

- Случайное прикосновение или приближение к частям под напряжением;
- Появления напряжения на металлических конструкциях из-за пробоя;
- Ошибочные действия персонала;
- Шаговые напряжения.

Действие тока на организм человека:

- Термическое действие вплоть до обугливания;
- Электролитическое разложение крови в организме человека;
- Биологическое воздействие;
- Судорожное сокращение мышц при прохождении тока через жизненно-важные органы, нервные части.

Рабочий персонал должен пройти обучение для безопасного использования и правильной эксплуатации в котельных. Для предотвращения возникновения опасных ситуаций нужно соблюдать определенных нормативов, установленных ГОСТом 12.1.030-81 [51].

				13.03.01.2020.016.12 ПЗ		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
					62	

В первую очередь сюда относят:

- Защитное заземление всех токоведущих металлических элементов оборудования;
- Зануление его конструктивных частей, которые могут оказаться под напряжением из-за неисправности изоляции и к которым могут случайно прикоснуться люди.

При нормальных условиях напряжение не должно превышать 2 В, при частоте тока 50 Гц и силе тока не более 0,3 мА. Диапазон допустимых величин силы тока напряжения при аварийных ситуациях представлены в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Напряжения прикосновения и токи при аварийных режимах работы электроустановок напряжением до 1000 В и частотой 50 Гц

Продолжительность воздействия, сек	Нормируемая величина	
	Напряжение, В	Сила тока, мА
0,01-0,08	550	650
0,1	340	400
0,2	160	190
0,3	135	160
0,4	120	140
0,5	105	125
0,6	95	105
0,7	85	90
0,8	75	75
0,9	70	65
1,0	60	50
>1	20	6

В соответствие с СО 153-34.21.122-2003 «Инструкцией по устройству молниезащиты зданий и сооружений и промышленных коммуникаций» здание котельной относится к объектам с 1-м уровнем защиты от прямых ударов молнии. Защита от прямых ударов, статического электричества здания котельной предусмотрена путем наложения молниеприемной сетки (круг диаметром 10 мм, шаг сетки 5×5 м) под слоем утеплителя кровли и последующим ее присоединением к защитному наружному контуру заземления. Молниеприемная сетка соединяется токоотводами (оцинкованная сталь диаметром 8 мм) с наружным контуром заземления (заземлитель).

## 9.7 Пожаровзрывобезопасность

Котлы относят к опасным взрыво и пожароопасным объектам в связи с чем устанавливается категория котельной по взрывопожарной и пожарной опасности. Категория газовой котельной стандартная – Г (умеренная пожароопасность). Она не взрывоопасная. Используются камерные топки, магистральный и/или сжиженный газ.

Основным нормативным документом по требованиям пожарной безопасности является ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования»[53].

Пределы огнестойкости:

- Несущие стены, колонны, плиты, настилы, несущие – 2,0;
- Конструкции перекрытий – 0,75;
- Внутренние несущие стены – 0,75.

Классификация пожаров производится в зависимости от вида горящего вещества и материалов. В котельной ими является природный газ и оборудование под напряжением. Соответственно, устанавливаются классы пожара «С» и «Е» [54]. На основе классов пожара выбираем средства пожаротушения.

Противопожарный инвентарь включает в себя [55]:

1. Порошковый огнетушитель (ОП) вместимостью, л/ массой огнетушащего состава, кг 10/9– 1шт;
2. Углекислотный огнетушитель (ОУ) вместимостью, л/ массой огнетушащего состава, кг 5/3– 2 шт;
3. Крюк с деревянной рукояткой – 1 шт;
4. Комплект для резки электропроводов: ножницы, диэлектрические боты и коврик – 1шт;
5. Покрывало для изоляции очага пожара – 1 шт;
6. Лопата совковая – 1 шт;
7. Ящик с песком объемом 0,5 м<sup>3</sup>.

Для того чтобы исключить пожары в котельной нужно соблюдать мероприятия по предупреждению пожара[56]:

- Территория, прилегающая к объекту, должна очищаться от горючих отходов, мусора, опавших листьев, и т.п.
- Горючие отходы, мусор нужно собирать на специально выделенных площадках в контейнеры, а затем вывозить;
- Проезды и подъезды к объекту, используемые для целей пожаротушения, должны быть всегда свободными для проезда пожарной техники;
- Не допускается курение на территории и в помещении, где находится газоиспользующее оборудование;
- Территория, прилегающая к объекту, должна иметь наружное освещение в темное время суток, а также подъезда к входу в здание котельной. Места размещения (нахождения) средств пожарной безопасности;
- Около оборудования, следует вывешивать таблички безопасности;
- Противопожарные системы и установки котельной должны постоянно содержаться в исправном рабочем состоянии.

Устанавливается автоматическая система распознавания дыма в помещениях, которая сигнализирует о возгорании. Противопожарное водоснабжение выполняется от центральной системы подачи и регулирования воды. Также возможно использование собственной воды котельной для тушения пожаров.

										Лист
										64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2020.016.12 ПЗ

## 10 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

В экономико-управленческой части выпускной квалификационной работы рассматриваются два варианта разработки новой котельной для нужд теплоснабжения и вентиляции фирмы ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ» Ленинского района г. Челябинска. При проектировке котельной одним из важных вопросов является выбор вида топлива. В данном разделе рассматриваются два возможных решения:

**Первый вариант** – строительство газовой котельной.

**Второй вариант** – строительство котельной, использующей дизельное топливо.

Первый вариант предполагает разработку автономной газовой котельной. Топливом служит природный газ газопровода Бухара-Урал с низшей теплотой сгорания 35,805 МДж/м<sup>3</sup>.

Второй вариант предполагает использование в качестве топлива дизель ДТ-Л-К5, евро 5, низшая теплота сгорания которого составляет 42,62 МДж/кг.

### 10.1 Расчет капитальных затрат на разработку источника теплоснабжение фирмы ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ»

Для определения экономической эффективности разработки отопительной котельной рассчитаем срок окупаемости проекта. При этом следует учесть, что срок окупаемости не должен превышать 6,7 лет [57].

Для этого необходимо составить смету капитальных затрат. Капитальные затраты включают в себя следующие величины:

- затраты на проведение проектных работ и экспертизы промышленной безопасности;
- стоимость оборудования, строительных материалов, КИП и автоматики;
- расходы на транспортировку оборудования;
- затраты на демонтаж заменяемого оборудования;
- стоимость строительно-монтажных работ;
- накладные и прочие расходы по обслуживанию и управлению капитальным строительством.

Затраты на проектные, демонтажные и монтажные, транспортные и пуско-наладочные работы основаны на данных, полученных в конструкторском отделе предприятия ОАО «ЧАМЗ». Смета капитальных затрат варианта 1 представлена в таблице 10.1.

Таблица 10.1 - Смета капитальных затрат на строительство газовой котельной

Наименование	количество	Стоимость, тыс. руб.
1. Проектные работы	-	500,00
2. Демонтажные работы	-	1 000,00



Продолжение таблицы 10.1

Наименование	Количество	Стоимость, тыс. руб.
3. Стоимость оборудования в том числе:	-	8 073,50
– Котел IVAR Super Rac 2330 [18]	3 шт.	5 267,60
– Горелка Baltur BGN 350 DSPGN [25]	3 шт.	1 104,00
– Насос CNP TD 150-21/4[26]	1 шт.	169,50
– Рециркуляционный насос GRUNDFOS UPS 65-60/2 F [27]	1 шт.	102,60
– Расширительный бак Wester WRV-500 [29]	4 шт.	101,00
– Умягчающая установка Fleck TS 91-13 M [30]	1 шт.	102,00
– Дозирующий комплекс Etatron [31]	2 шт.	76,00
– Насосная станция GRUNDFOS BCH 4-60 с баком 24л [28]	2 шт.	71,80
– КИПиА [58]	1 компл.	700,00
– Трубопроводы и арматура [59]	1 компл.	450,00
4. Транспортные затраты	-	200,00
5. Монтажные работы	-	944,60
6. Пусконаладочные и режимно-наладочные испытания	-	700,00
Итого капитальных затрат:		11 418,10

Смета капитальных затрат варианта 2 представлена в таблице 10.2.

Таблица 10.2 - Смета капитальных затрат на строительство дизельной котельной

Наименование	Количество	Стоимость, тыс. руб.
1. Проектные работы	-	500,00
2. Демонтажные работы	-	1 000,00
3. Стоимость оборудования в том числе:	-	8 059,25
– Котел VALDEX M2B[19]	3 шт.	4 590,15
– Горелка Baltur BTL 20P [61]	3 шт.	1 151,70
– Насос на отопление котельной UPS 40-120 F [62]	1 шт.	40,00
– Рециркуляционный насос GRUNDFOS UPS 65-60/2 F [27]	1 шт.	102,60
– Расширительный бак Wester WRV-500 [37]	4 шт.	101,00
– Умягчающая установка Fleck TS 91-13 M [38]	1 шт.	102,00
– Дозирующий комплекс Etatron [39]	2 шт.	76,00
– Насос сетевой TP 100-250/2 Grundfos[63]	2 шт.	450,80

Продолжение таблицы 10.2

Наименование	Количество	Стоимость, тыс. руб.
– КИПиА [58]	1 компл.	745,00
– Трубопроводы и арматура [59]	1 компл.	470,00
– Бак для дизельного топлива [60]	1 шт.	230,00
4. Транспортные затраты	-	200,00
5. Монтажные работы	-	987,70
6. Пусконаладочные и режимно-наладочные испытания	-	700,00
Итого капитальных затрат:		11 446,95

### 10.2 Расчет текущих затрат по вариантам проектных решений

Эксплуатация котельной требует ежегодных постоянных затрат, называемых текущими. Они включают в себя:

- затраты на топливо;
- затраты на электроэнергию;
- исходную воду из водопровода, используемую для подпитки тепловой сети и -контура котельной;
- амортизационные отчисления;
- затраты на текущие ремонты оборудования.

Рассмотрим более подробно затраты на топливо для 1 варианта. Стоимость годового расхода топлива рассчитаем по формуле (10.2.1):

$$I_m = C_m \cdot G_{год} , \quad (10.2.1)$$

где  $G_{год}$  – годовой расход топлива, тыс.м<sup>3</sup>/год;

$G_{год} = 2590,1$  тыс.м<sup>3</sup>/год – из расчета тепловой схемы, см. п. 4.4;

$C_m$  – тариф на топливо, руб./тыс.м<sup>3</sup>;

$C_m = 4806,94$  руб./тыс.м<sup>3</sup> – по тарифам ПАО «НОВАТЭК» в г. Челябинске для природного газа [64].

$$I_m = 4806,94 \cdot 2590,1 = 12450,46 \text{ тыс. руб}$$

Рассмотрим затраты на использование воды (10.2.2):

$$I_g = C_g \cdot G_{год} , \quad (10.2.2)$$

где  $G_{год}$  – годовой расход воды из городского водопровода, м<sup>3</sup>/год; принимаем 4,34 тыс.м<sup>3</sup>/год – из расчета тепловой схемы, см. п. 4.3;

$C_m$  – тариф на использование воды, руб/м<sup>3</sup>; равное 2514,0 руб./тыс.м<sup>3</sup> – по тарифам в г. Челябинске [65].

$$I_g = 2514 \cdot 4,34 = 10,9 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на электроэнергию вычисляются по формуле (10.2.3):

$$I_э = C_э \cdot N_э, \quad (10.2.3)$$

где  $N_э$  – годовая суммарная мощность электродвигателей, электромеханизмов, приборов КИПиА, кВт·год (42 245 кВт·ч/год – по данным главы 4);

$C_э$  – тариф на электроэнергию, руб/м<sup>3</sup>;  $C_э = 3,25$  руб/кВт·ч – по тарифам в г. Челябинске [66].

$$I_{э2} = 3,25 \cdot 42245 = 137,3 \text{ тыс. руб.}$$

Амортизационные отчисления определяются по формуле (10.2.4):

$$I_{ам} = 0,1 \cdot C, \quad (10.2.4)$$

где 0,1 – 10% – на амортизацию оборудования котельной;

$C$  – стоимость обслуживаемого оборудования, тыс.руб. ( $C = 8\,073,5$  тыс. руб. – по данным таблицы 10.1)

$$I_{ам} = 0,1 \cdot 8073,5 = 807,35 \text{ тыс. руб./год}$$

Рассмотрим затраты на текущие ремонты оборудования. Для сравнительных расчётов эти затраты принимаются равными 5 % от общей суммы амортизационных отчислений будет определяться по следующей формуле (10.2.5):

$$I_{тр} = 0,05 \cdot I_a, \quad (10.2.5)$$

$$I_{тр} = 0,05 \cdot 807,35 = 40,37 \text{ тыс. руб./год}$$

Общехозяйственные расходы примем 200 тыс.руб./год.(по данным ОАО»ЧАМЗ»).

Для определения суммы текущих затрат воспользуемся по следующей формуле (10.2.6):

$$I_{тек1} = I_m + I_g + I_э + I_a + I_{тр}, \quad (10.2.6)$$

$$I_{тек1} = 12450,46 + 10,90 + 137,30 + 807,35 + 40,37 = 13446,38 \text{ тыс. руб./год}$$

Рассчитаем себестоимость 1 Гкал теплоты, выработанной на реконструированной котельной (10.2.7):

$$I_{\text{после}} = \frac{I_{\text{текл}} \cdot 1000}{8770 \cdot Q_{\text{кот}}}, \quad (10.2.7)$$

где  $Q_{\text{кот}} = 3,96$  Гкал/ч – теплопроизводительность котельных агрегатов;

$$I_{\text{после}} = \frac{13446,38 \cdot 1000}{8770 \cdot 3,96} = 387,17 \text{ руб/Гкал}$$

Рассмотрим затраты на топливо для 2 варианта. Стоимость годового расхода топлива рассчитаем по формуле (10.2.1):

$$I_m = C_m \cdot G_{\text{год}}, \quad (10.2.8)$$

где  $G_{\text{год}}$  – годовое потребление топлива, тыс.м<sup>3</sup>/год;

$G_{\text{год}} = 599,7$  т/год – из расчета тепловой схемы, см. п. 4.4;

$C_m$  – тариф на топливо, руб./тыс.м<sup>3</sup>;

$C_m = 47600$  руб./т – по тарифам в г. Челябинске для дизельного хозяйства [67].

$$I_m = 47600 \cdot 599,7 = 28545,72 \text{ тыс. руб/год}$$

Рассмотрим затраты на использование воды (10.2.9):

$$I_g = C_g \cdot G_{\text{год}}, \quad (10.2.9)$$

где  $G_{\text{год}}$  – годовое потребление воды из городского водопровода, м<sup>3</sup>/год;

$G_{\text{год}} = 4,34$  тыс.м<sup>3</sup>/год – из расчета тепловой схемы, см. п. 4.3;

$C_m$  – тариф на использование воды, руб/м<sup>3</sup>;

$C_m = 2514,00$  руб./тыс.м<sup>3</sup> – по тарифам в г. Челябинске [65];

$$I_g = 2514,00 \cdot 4,34 = 10,9 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на электроэнергию вычисляются по формуле (10.2.10):

$$I_e = C_e \cdot N_e, \quad (10.2.10)$$

где  $N_e$  – годовая суммарная мощность электродвигателей, электромеханизмов, приборов КИПиА, кВт·год (48 585 кВт·ч/год – по данным главы 4).

$C_e$  – тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч;

$C_e = 3,25$  руб/кВт·ч – по тарифам в г. Челябинске [66].

$$I_э = 3,25 \cdot 48582 = 157,90 \text{ тыс. руб.}$$

Амортизационные отчисления определяются по формуле (10.2.11):

$$I_{ам} = 0,1 \cdot C, \quad (10.2.11)$$

где 0,1 – 10% на амортизацию оборудования котельной;

$C$  – стоимость обслуживаемого оборудования, тыс.руб. ( $C = 8\,059,25$  тыс. руб. – по данным таблицы 10.2)

$$I_a = 0,1 \cdot 8059,25 = 805,93 \text{ тыс. руб./год.}$$

Рассмотрим затраты на текущие ремонты оборудования. Для сравнительных расчётов эти затраты принимаются равными 5 % от общей суммы амортизационных отчислений (10.2.12):

$$I_{мп} = 0,05 \cdot I_a, \quad (10.2.12)$$

$$I_{мп} = 0,05 \cdot 805,93 = 40,29 \text{ тыс. руб./год.}$$

Общехозяйственные расходы примем 200 тыс.руб./год. (по данным ОАО «ЧАМЗ»).

Рассчитаем сумму текущих затрат (10.2.13):

$$I_{тек1} = I_m + I_э + I_a + I_{мп}, \quad (10.2.13)$$

$$I_{тек2} = 28545,72 + 10,90 + 157,90 + 805,93 + 40,29 = 29562,66 \text{ тыс. руб./год.}$$

Рассчитаем себестоимость 1 Гкал теплоты, выработанной на дизельной котельной (10.2.14):

$$I_{после} = \frac{I_{тек1} \cdot 1000}{8770 \cdot Q_{кот}}, \quad (10.2.14)$$

где  $Q_{кот} = 3,96$  Гкал/ч – теплопроизводительность котельных агрегатов;

$$I_{после} = \frac{29562,66 \cdot 1000}{8770 \cdot 3,90} = 851,23 \text{ руб/Гкал.}$$

									Лист
									70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.016.12 ПЗ				

### 10.2.1 Расчет сравнительной экономической эффективности

Рассчитаем приведенные затраты без учета фактора времени (10.2.15):

$$Z_i = E_n \cdot K_i + I_i \rightarrow \min \quad (10.2.15)$$

где  $E_n=0,15$  – нормативный коэффициент эффективности инвестиций;

$K_i$  – капитальные затраты по проектному решению, тыс.руб.;

$I_i$  – годовые текущие затраты, тыс.руб./год.

Для газовой котельной:

$$Z_{г}=0,15 \cdot 11418,1 + 13446,38 = 15159,1 \text{ тыс.руб./год}$$

Для дизельной котельной:

$$Z_{д}=0,15 \cdot 11446,95 + 29562,66 = 31279,7 \text{ тыс.руб./год}$$

Из расчета видно, что приведенные затраты на газовую котельную ниже, чем на дизельную котельную, поэтому можно сделать вывод о том, что строительство газовой котельной экономически выгоднее.

Рассчитаем общий годовой экономический эффект от реализации проектного решения:

$$\mathcal{E}_r = E_n \cdot \Delta K_i + \Delta I_i \quad (10.2.16)$$

где  $E_n=0,15$  – нормативный коэффициент эффективности инвестиций;

$\Delta K_i$  – экономия капитальных затрат, тыс.руб, рассчитывается по формуле (10.2.17);

$\Delta I_i$  – экономия текущих затрат от применения лучшего варианта строительства, тыс.руб./год, рассчитывается по формуле (10.2.18).

Экономия капитальных затрат будет определяться по формуле (10.2.17):

$$\Delta K_i = K_2 - K_1 \quad (10.2.17)$$

где  $K_1$  – капитальные затраты на строительство газовой котельной, тыс.руб.;

$K_2$  – капитальные затраты на строительство дизельной котельной, тыс.руб..

$$\Delta K_i = 11446,95 - 11418,1 = 28,85 \text{ тыс.руб.}$$

Экономия текущих затрат будет равна:

$$\Delta I_i = I_{тек2} - I_{тек1} \quad (10.2.18)$$

где  $I_{тек1}$  – текущие затраты на обслуживание котельной работающей на газу, тыс.руб./год;

$I_{тек2}$  – текущие затраты на обслуживание котельной работающей на дизельном топливе, тыс.руб./год;

$$\Delta I_i = 29562,66 - 13446,38 = 10483,72 \text{ тыс.руб./год}$$

Годовой экономический эффект будет равен:

$$\mathcal{E}_2 = 0,15 \cdot 28,85 + 10483,72 = 10488,05 \text{ тыс.руб.} > 0$$

Вывод: по результатам расчёта можно сделать вывод о том, что строительство газовой котельной фирмы ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ» является экономически эффективной.

### 10.3 SWOT-анализа вариантов технических решений

SWOT-анализ – это сравнительный метод, позволяющий углубить предыдущие результаты и определить долгосрочные направления повышения энергетической эффективности котельной[12]. Для проведения этого анализа составляются матрицы, состоящие из квадрантов в которых указываются:

- S (Strengths) – сильные стороны;
- W(Weaknesses) – слабые стороны;
- O (Opportunities) – возможности;
- T (Threats) – угрозы.

В таблице 10.3.1 представлен SWOT-анализ строительства газовой отопительной котельной.

Таблица 10.3.1 – SWOT-анализ варианта «Строительство газовой котельной».

<p><b>S:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– меньшие капитальные затраты;</li> <li>– отсутствие затрат на транспортировку топлива;</li> <li>– меньшее негативное влияние на окружающую среду;</li> <li>– низкая себестоимость производимого тепла.</li> </ul>	<p><b>W:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– дорогие детали для ремонта;</li> <li>– невозможность быстрого прибытия ремонтного персонала.</li> </ul>
<p><b>O:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– наличие газопровода рядом с проектируемым источником;</li> <li>– гос.поддержка в области перехода на газообразный вид топлива .</li> </ul>	<p><b>T:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– рост цен на топливо;</li> <li>– зависимость от курсов валют, т.к. используется зарубежное оборудование.</li> </ul>

SWOT-анализ эксплуатации котельной до реконструкции водогрейной части котельной, представлен в таблице 10.3.2.

Таблица 10.3.2 – SWOT-анализ варианта «Строительство дизельной котельной»

<p><b>S:</b>          -наличие запаса топлива;          -меньший расход топлива;</p>	<p><b>W:</b>          –дорогие детали для ремонта;          – большие транспортные затраты          –большее негативное влияние на окр. среду</p>
<p><b>O:</b>          –спрос на тепловую энергию;          –отсутствие конкурентов.</p>	<p><b>T:</b>          –рост цен на топливо;          – переменное качество топлива          - зависимость от курсов валют, т.к. используется зарубежное оборудование</p>

Исходя из проведенных SWOT-анализов можно сделать вывод о том, что строительство газовой отопительной котельной для фирмы ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ» является экономически выгодной, чем строительство дизельной отопительной котельной, т.к. при проектировании газовой отопительной котельной сильные стороны преобладают над дизельной котельной, использующей в качестве топлива дизель.

#### 10.4 Построение дерева целей повышения энергетической эффективности

Дерево целей содержит и состоит из целей, соответствующих теме разработка источника теплоснабжения фирмы ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ», а также показывает зависимость взаимосвязей между ними.

Вершина – стратегическая цель организации, которая сформулирована на основе Миссии. Стратегическая цель объёмна, велика. Её не достичь в несколько шагов. Она требует больших усилий и ресурсов – материальных и временных.

Ветви – тактические цели. Помогают реализовать стратегическую цель. Побег от ветвей – оперативные цели. Показывают, как реализовать тактические цели предприятия. Их также может быть несколько порядков.

Побеги от ветвей – оперативные цели. Показывают, как реализовать тактические цели предприятия. Их также может быть несколько порядков. Число уровней зависит от сложности тактических целей. Это краткосрочные цели: ставятся на 1-6 месяцев.

Листья являются подцелями и задачами. Это конкретные действия, которые нужно выполнить, чтобы реализовать оперативные цели. Задачи, в зависимости от сложности их исполнения, могут ставиться от нескольких часов до одного месяца. На рисунке 10.1 изображено дерево целей проекта.



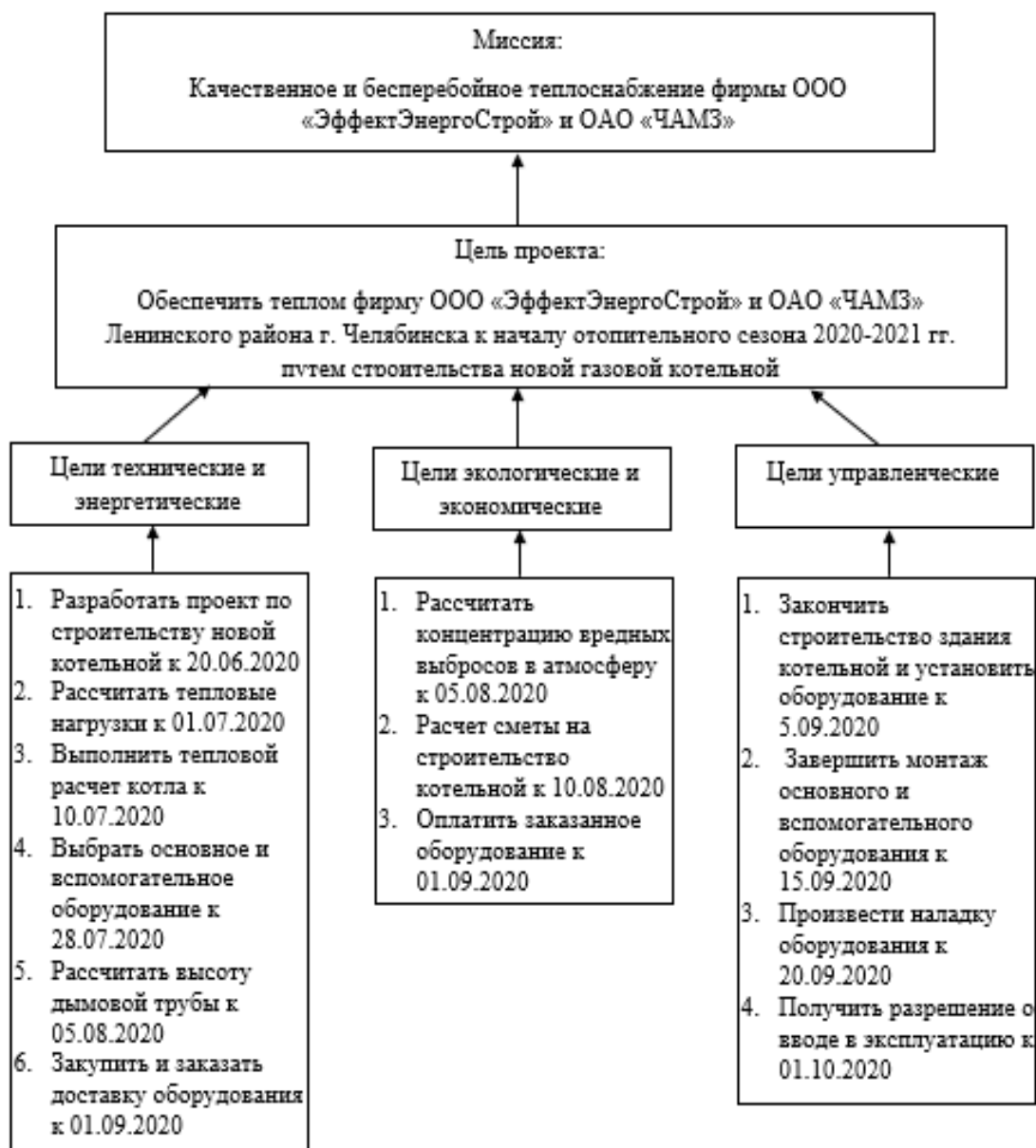


Рисунок 10.1 - Дерево целей проекта

### 10.5 Ленточный график мероприятий по реализации проекта

График мероприятий работ по разработке и реализации проекта представлен в виде ленточного графика Ганта, который предназначен для визуальной оценки последовательность выполнения работ и задач разработки источника теплоснабжения, их протяженность и протяженность проекта в целом. График Ганта состоит из полос, ориентированных вдоль оси времени. Каждая полоса на диаграмме представляет отдельную задачу в составе процесса реализации проекта, ее концы – моменты начала и завершения работы, ее протяженность – длительность выполнения поставленной задачи. Вертикальной осью диаграммы служит перечень задач. В таблице 10.5 показан график Ганта, составленный для проектирования газовой отопительной котельной фирмы ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ». Начало работы 01 апреля 2020 года.

Таблица 10.5 – График Ганта при проектировании газовой отопительной котельной

Этап работы	Месяц 2020 года					
	Апрель	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.
Проведение анализов проекта						
Разработка проекта по строительству новой котельной						
Проведение расчетов тепловых нагрузок						
Проведение теплового расчета котла						
Выбор основного и вспомогательного оборудования						
Проведение расчетов дымовой трубы и концентрации вредных выбросов в атмосфере						
Проведение расчета сметы на строительство						
Закупка оборудования для монтажа						
Производство строительно-монтажных работ						
Проведение наладки оборудования						
Получение разрешения о вводе в эксплуатацию котельной						

## 10.6 Основные показатели энергетической, экологической и экономической эффективности

Расчитанные показатели в проекте сведем в таблицу 10.6.

Таблица 10.6 – Основные показатели эффективности проекта

Наименование показателей	Единицы измерения	Изменение показателей	
		Газ	Дизель
<b>1. Показатели энергетической эффективности</b>			
1.1 Расход топлива	м <sup>3</sup> /с; кг/с	0,14	0,12
1.2 КПД котельного агрегата	%	91,9	92,3
1.3 Коэффициент избытка воздуха	–	1,16	1,25
<b>2. Показатели экологической эффективности</b>			
2.1 Содержание вредных выбросов в атмосферу	мг/м <sup>3</sup>	0,03	0,055
<b>3. Показатели экономической эффективности</b>			
3.1 Капитальные затраты на реализацию проекта	тыс.руб.	11 418,1	11 446,95
3.2 Годовые текущие затраты	тыс.руб./год	13 446,38	29 562,95
3.3 Экономия текущих затрат	тыс.руб./год	10 483,72	–

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе было дано обоснование и актуальность разработки источника теплоснабжения фирмы ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ» Ленинского района г. Челябинска.

В результате расчета тепловых нагрузок получена максимальная нагрузка систем отопления и вентиляции, которая составила  $Q_{\text{сумм}}=2,6$  МВт. На основе расчета тепловой схемы выбраны 3 жаротрубно-дымогарных котла IVAR Super Rac 2330, один из которых резервный. Так же выбрано вспомогательное оборудование котельной производителей Vultur, Grundfos, Wester и Etatron.

В работе были описаны актуальность и мероприятия по энергосбережению. В разделе безопасности жизнедеятельности рассмотрены мероприятия по обеспечению безопасности персонала и по предотвращению с взрывопожаробезопасностью и электробезопасностью. Так же приведено описание автоматки и контрольно-измерительных приборов водогрейной котельной ООО «ЭффектЭнергоСтрой» и ОАО «ЧАМЗ» .

Для обеспечения экологической безопасности выполнен расчет дымовой трубы  $H=20$ м и  $D=0,5$ м и приземной концентрации выбросов из дымовой трубы, которая не превышает максимально-разовой концентрации.

В части экономика и управление рассмотрена два варианта: строительство газовой водогрейной котельной и дизельной водогрейной котельной. Произведён расчёт текущих и капитальных затрат обоих вариантов. При сравнении капитальных и текущих затрат, опираясь на SWOT-анализ было выявлено, что экономически выгоднее использовать первый вариант – строительство газовой водогрейной котельной. Срок окупаемости проекта составил 0,8 года. Так же построен график Ганата и сведены в таблицу основные показатели эффективности проекта.

										Лист
										77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2020.016.12 ПЗ

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации//Введен в действие 29 ноября 2009 года. Российская газета. –2009.–Вып. №5050 (226).;
- 2 Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е.Я. Соколов. – 9-е изд., стереот.–М.: Изд-во МЭИ, 2009.–472с.
- 3 СП 131.13330.2012. Строительная климатология. –М.: Минрегион России,2012.– 115 с.
- 4 Шумили́н Е.В. Расчет тепловых схем и подбор основного оборудования котельных : учебное пособие / Е.В. Шумили́н. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. Гос. Ун-та, 2013. – 39с
- 5 СП 89.13330.2012. Котельные установки. – М. : Минрегион России, 2012. – 115 с.
- 6 Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / под ред. Н.В. Кузнецова,–2е. изд. перераб./ РЕПРИНТ. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 296с.
- 7 Лумми, А.П. Расчет жаротрубно-дымогарного котла/ Лумми А.П., Муниц В.А. – Екатеринбург: Издательство ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2009. – 31 с.
- 8 Промышленная экология: учебное пособие / под ред. В.В. Данилова. – Ростов н/Д.: Феникс, 2009. – 720 с.
- 9 Грибанов, А.И. Очистка дымовых газов. / А.И. Грибанов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 51 с
- 10 Грибанов, А.И. Расчет дымовой трубы. Методическое пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 23 с
- 11 ГОСТ 21.208-2013. СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Стандартинформ, 2013. 31 с.
- 12 Экономико-управленческая часть выпускных квалификационных работ для направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника»: Учебное пособие /А.А. Алабугин, Р.А. Алабугина. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2018. – 14с
- 13 Приказ Минтруда России от 17.08.2015 № 551н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок». – [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_187101/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_187101/).
- 14 ГОСТ 12.0.002.-80 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: ИКП Издательство стандартов, 2002. – 57 с.
- 15 Федеральный закон от 22.07.2008 года № 123–ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
- 16 Приказ Минэнерго РФ от 24.03.2003 года №115 «Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок»
- 17 Каспаров, С.Г. Особенности современных жаротрубных котлов для отопительных систем. / С.Г. Каспаров – <http://reforef.ru/outozub/Каспаров+С.Г.+Особенности+современных+жаротрубных+котлов+для+отопительных+системb/main.html>.

																					Лист	
														13.03.01.2020.016.12 ПЗ								78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																		

- 18 Котлы водогрйные жаротрубно-дымогарные IVAR Super Ras 2330 – <http://unigas.com.ua/pdf/instr/ivar/water/SuperRac/Super%20Rac%20.pdf>
- 19 Каталог котлы водогрейные Valdex M2B – [https://borkotlomash.ru/assets/files/doc/catalog\\_valdex.pdf](https://borkotlomash.ru/assets/files/doc/catalog_valdex.pdf)
- 20 Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 (ред. от 10.11.2015). О противопожарном режиме // Российская газета. – 2012. Вып. №5787 (114).
- 21 СП 89.13330.2012. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76. – М.: Минрегион России, 2012.
- 22 36 Теплотехника: учебник / под ред. А. П. Баскакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИД "Бастет", 2010. - 328 с.
- 23 Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / под ред. Н.В. Кузнецова, – 2е. изд. перераб. / РЕПРИНТ. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 296с.
- 24 Лумми, А.П. Расчет жаротрубно-дымогарного котла / Лумми А.П., Муниц В.А. – Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2009. – 31 с.
- 25 Горелка Vultur BGN 350 DSPGN – <http://www.baltur.su/prod/gas/bgn/BGN350DSPGNME.html>
- 26 Циркуляционный насос CNP TD 150-21/4 – <https://baymart.ru/nasos-all/in-lajn/cirkulyacionnyj-nasos-td150-214>
- 27 Рециркуляционный насос Grundfos UPS 65-60/2F – <http://www.magazin-nasosov.ru/product/grundfos-ups-65-602-f>
- 28 Насосная станция GRUNDFOS BCH 4-60 – <https://mashinform.ru/nasosy/nasosnye-stantcii-ustanovki-motopompy/grundfos-bch-4-60-bak-241-obj4768.html>
- 29 Расширительный бак Wester WRV-500 – <https://chelyabinsk.vseinstrumenti.ru/rashodnie-materialy/klimat-obor/membrannie-baki/dlya-sistem-otopleniya/wester/wrv-500-top-0-14-0200/>
- 30 Умягчающая установка непрерывного действия Fleck TS 91-13 M – [https://vodexpert.ru/catalog/umyagchiteli/umyagchiteli\\_fleck\\_pentair\\_water/fleck\\_ts\\_91\\_13\\_m\\_umyagchitel\\_vody\\_nepreryvnogo\\_deystviya\\_3\\_0\\_m3\\_ch/](https://vodexpert.ru/catalog/umyagchiteli/umyagchiteli_fleck_pentair_water/fleck_ts_91_13_m_umyagchitel_vody_nepreryvnogo_deystviya_3_0_m3_ch/)
- 31 Дозирующий комплекс Etatron – [https://www.etatron.com.ua/ru/pumps/dosage\\_stations/doziruyushchie\\_sistemy/](https://www.etatron.com.ua/ru/pumps/dosage_stations/doziruyushchie_sistemy/)
- 32 Счетчик ЕТКИ-20 – <http://www.elavis-zenner.ru/shop/etki-s-impulsnym-vykhodom/schetchik-kholodnoj-vody-impulsnyj-etki-n-du-20>
- 33 Методика М.Б. Равича – [http://www.analitech.ru/files/Ravich\\_sm.pdf](http://www.analitech.ru/files/Ravich_sm.pdf)
- 34 Равич М.Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов. / М.Б. Равич. – М.: «Наука», 1995.;
- 35 Дахин, С.В. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебное пособие. – Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2010. - 182 с.
- 36 Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов.– 9-е изд., стереот.–М.: Изд-во МЭИ, 2009.–472с.
- 37 СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест. Актуализация текста от 01.10.2008, Издательство "БТИЖ", 2001. – 10 с.

										Лист
										79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2020.016.12 ПЗ

38 Красногорская, Н.Н. Расчет рассеивания в атмосфере загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий: [учебное пособие для студентов высших учебных заведений] / Н.Н. Красногорская, Н.Н. Цвилленева, Т.Б. Фащевская. - Уфа: УГАТУ, 2006. - 48 с.

39 СП 89.13330.2012. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76. – М.: Минрегион России, 2012.

40 Стоимость КИПиА. – <http://energy-rus.ru/>

41 Стоимость трубопроводов и арматуры. – <http://metallstroy-74.ru/>

42 Приказ Минтруда России от 24.07.2013 № 328н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок", Издательство "Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти", № 5, 03.02.2014

43 Приказ Минтруда России № 551н от 17 августа 2015 г. Правила по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок, Официальный интернетпортал правовой информации <http://www.pravo.gov.ru>, 07.10.2015.

44 СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемнопланировочным и конструктивным решениям. – М.: Изд-во стандартов, 2013.– 186 с

45 Волошенко, А.В. Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования / А.В. Волошенко, Д.Б. Горбунов. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 109 с.;

46 Приказ Минтруда России от 24.07.2013 № 328н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок", Издательство "Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти", № 5, 03.02.2014

47 СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99, – М.: Минрегион России, 2012. – 103 с

48 Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7, – М.: Издательство: Норматика, 2016 г

49 ГОСТ 12.2.061-81. ССБТ. Оборудование производственное. Ограждения защитные. М.: Стандартинформ, 2010. – 57 с.;

50 Правила устройства электроустановок. –7-е изд.– М.: НЦ ЭНАС, 2007.– 552 с.

51 Промышленная экология: учебное пособие / под ред. В.В. Данилова. – Ростов н/Д.: Феникс, 2009. – 720 с.

52 ГОСТ Р 12.1.019-2009 Электробезопасность. – М.: Стандартинформ, 2010. – 32 с.

53 ГОСТ Р 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования, 1992. – 25с.

54 СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Требования пожарной безопасности, – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 27 с

55 ГОСТ 21.408-2013. «Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов», – М.: Стандартинформ, 2014

56 Приказ Минтруда России от 17.08.2015 № 551н «Об утверждении Правил по

						13.03.01.2020.016.12 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			80

- охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок». – [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_187101/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_187101/)
- 57 СП 4.13130.2013 Системы противопожарной защиты. – М.: Стандартинформ, 2013. – 186 с.
- 58 Стоимость КИПиА. – <http://energy-rus.ru/>
- 59 Стоимость трубопроводов и арматуры. – <http://metallstroy-74.ru/>
- 60 Бак для хранения дизельного топлива – <https://chelyabinsk.pzem.ru/catalog/emkosti-i-rezervuary/emkosti/emkosti-dlya-dizelnogo-topliva/>
- 61 Прайс-листа горелка газовая модуляционная ТВГ360 ME Baltur – <http://baltur.ru/catalog/>
- 62 Цена на насос на отопление котельной UPS 40-120 F – <https://teplo3000.spb.ru/product/>
- 63 Цена на насос сетевой ТР 100-250/2 Grundfos – <https://www.teploprofi.com/catalogue/show>
- 64 Тарифы на природный газ ПАО «Новатэк». – <https://www.novatek74.ru/naselenie/tarify/roznichnye-tseny-na-prirodnyy-gaz>
- 65 Тариф на водоснабжения в г. Челябинске. – <https://cheladmin.ru/ru/tarify-na-kommunalnye-uslugi>
- 66 Тариф на эл. энергию в г. Челябинске. – <https://energovopros.ru/spravochnik/elektrosnabzhenie/tarify-na-elektroenergiju>
- 67 Тариф на дизельное хозяйство в г. Челябинске. – <https://cotn.ru/czenyi>
- 68 Цена за лом в г. Челябинске. – <http://www.lom74.com/chernyy-metallolom>