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

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент
Начальник лаборатории неразрушающего
контроля СК «СТЭМ»
_____ Д.А.Сосковец
«_____» _____2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой
промышленной теплоэнерге
к.т.н., доцент
_____ К.В. Осинцев
«_____» _____2018 г.

РАЗРАБОТКА КРЫШНОЙ КОТЕЛЬНОЙ ДЛЯ БИЗНЕС-ЦЕНТРА ПО УЛ. КРАСНОАРМЕЙСКОЙ В Г. ЧЕЛЯБИНСКЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ–13.03.01.2018.270.11.ПЗ ВКР

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

Руководитель работы,
к.т.н., доцент
_____ С.В. Пашнин
«_____» _____ 2018 г.

Нормоконтролер,
старший преподаватель
_____ Р.А. Алабугина
«_____» _____2018 г.

Автор работы,
студент группы ПЗ-579
_____ Я.В. Лузановский
«_____» _____ 2018 г.

Челябинск 2018

АННОТАЦИЯ

Лузановский Я.В. Разработка крышной котельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской в г. Челябинске. – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, ЗФ; 2018, 105 с., 9 ил., библиогр. список – 63 наим., 1 прил., 5 листов чертежей ф.А1, 1 демонстрационный лист ф.А1.

Для вновь сооружаемого здания бизнес-центра по ул. Красноармейской встал вопрос о выборе источника теплоснабжения. Район строительства бизнес-центра имеет плотную застройку. Резервы тепловых мощностей для возможности подключения проектируемого здания к существующим тепловым сетям минимальны. Тепловые сети находятся в изношенном состоянии и имеют место колоссальные теплопотери в них. Решение выбрать для здания бизнес-центра такой автономный источник теплоснабжения, как крышная котельная, является наиболее эффективным и целесообразным и позволит в кратчайшие сроки окупить данный проект.

Целью выпускной квалификационной работы (ВКР) бакалавра является разработка рассматриваемой крышной котельной.

Пояснительная записка содержит 9 разделов, в которых изложены основные расчеты тепловых нагрузок, температур и расходов сетевой воды, тепловой схемы котельной, расчет котла Vitoplex 200, проведено сравнение отечественных и зарубежных разработок в области котельного оборудования, определена экономическая эффективность и общий годовой экономический эффект от предложенного строительства крышной котельной, выполнен расчет минимальной высоты дымовой трубы, а также рассмотрены вопросы экологии, энергосбережения, автоматизации и безопасности жизнедеятельности при работе водогрейной котельной.

Графическая часть выполнена с применением AutoCAD – системы автоматизированного проектирования на 6-ти листах формата А1.

					13.03.01.2018.270.11 ПЗ				
Изм	*Лист*	*№ докум.*	*Подп.*	*Дата*					
Выполнил		*Лузановский*			*Разработка крышной котельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской в г. Челябинске*	*Лит.*		*Лист*	*Листов*
Руковод.		*Пашнин С.В.*				*В*	*К* *Р*	*3*	*105*
						ЮУрГУ Кафедра промышленной теплоэнергетики			
Н.контр.		*Алабугина Р.А.*							
Зав.каф.		*Осинцев К.В.*							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..6
1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ КРЫШНОЙ КОТЕЛЬНОЙ ДЛЯ БИЗНЕС-ЦЕНТРА ПО УЛ. КРАСНОАРМЕЙСКОЙ В ГОРОДЕ ЧЕЛЯБИНСКЕ……..……...….8
2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ…….…9
3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ…….…….....……11
4 РАЗРАБОТКА КРЫШНОЙ КОТЕЛЬНОЙ ДЛЯ БИЗНЕС-ЦЕНТРА ПО УЛ. КРАСНОАРМЕЙСКОЙ В ГОРОДЕ ЧЕЛЯБИНСКЕ…….…..…16
4.1 Определение удельных тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и ГВС…….....16
4.1.1 Отопительная тепловая нагрузка…….....16
4.1.2 Вентиляционная тепловая нагрузка……....19
4.1.3 Расход теплоты на горячее водоснабжение……...20
4.1.4 Расчёт суммарных тепловых нагрузок……..21
4.1.5 Расчет годового отпуска теплоты……...22
4.2 Расчёт температурного графика и расходов сетевой воды……....23
4.2.1 Расчет температур сетевой воды……23
4.2.2 Расчет расходов сетевой воды……27
4.3 Расчет тепловой схемы котельной…….…28
4.4 Выбор котельного агрегата…….…31
4.4.1 Исходные данные для выбора типа котла……..…32
4.4.2 Низкотемпературный водогрейный котел Vitoplex 200……...32
4.4.3 Атмосферный низкотемпературный водогрейный газовый котел Vitogas 100-F……...……...….34
4.5 Тепловой расчет котла……36
4.5.1 Состав и количество продуктов сгорания……..37
4.5.2 Расчет энтальпий продуктов сгорания……...39
4.5.3 Тепловой баланс котла и расчет расхода топлива……39
4.5.4 Тепловой расчет топочной камеры……..41
4.5.5 Расчет дымогарных труб……..46
4.5.6 Проверка теплового баланса……..…49
5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ…….…51
5.1 Основные мероприятия по энергосбережению в котельных……..51
5.2 Меры по энергосбережению, применяемые в крышной котельной……...52
6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ……....56
6.1 Определение объемов продуктов сгорания топлива……56
6.2 Расчет максимальной приземной концентрации выбросов из дымовой трубы…….....59
6.3 Расчет выброса оксидов азота……...59
6.4 Расчет минимальной высоты дымовой трубы……..61

7 АВТОМАТИЗАЦИЯ – ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА……69
7.1 Система автоматизации котлов……..…69
7.2.Система защиты оборудования котла……...70
7.3 Сигнализация……...71
7.4 Автоматическое регулирование……71
7.5 Простейшая принципиальная функциональная схема автоматического регулирования котла Vitoplex 200……72
7.6 Комплектация водогрейного котла Vitoplex 200……..…..74
8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ……....75
8.1 Анализ потенциально опасных и вредных производственных факторов…..75
8.2 Общие требования безопасности при работе в котельной……..77
8.3 Требования безопасности перед началом работы в котельной……...78
8.4 Требования безопасности во время работы в котельной…….……78
8.5 Требования безопасности в аварийных ситуациях……...…78
8.6 Меры безопасности при эксплуатации крышных котельных……79
8.7 Электробезопасность……..79
8.8 Заземление и уравнивание потенциалов…….....81
8.9 Молниезащита……81
8.10 Пожаровзрывобезопасность……....82
8.11 Мероприятия по снижению шума и вибрации……...……84
9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ……..…..86
9.1 Определение сравнительной экономической эффективности применения методов сооружения нового объекта теплоэнергетики……...86
9.1.1 Определение капитальных затрат по двум сопоставимым вариантам……...……..…..86
9.1.2 Определение текущих затрат по двум сопоставимым вариантам…...90
9.1.3 Определение экономической эффективности строительства крышной котельной…….....92
9.2 SWOT – анализ вариантов технических решений……....92
9.3 Оценка движущих и сдерживающих сил и ресурсов крышной котельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской…….……...….94
9.4 Модель дерева целей проекта разработки крышной котельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской в г. Челябинске……95
9.5 Планирование мероприятий по реализации проекта (График Ганта)…….96

ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..99
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК……..…..101
ПРИЛОЖЕНИЯ
ПРИЛОЖЕНИЕ А. График Ганта по реализации целей проекта ……..105

ВВЕДЕНИЕ

С каждым днем плотность городской застройки увеличивается. Растут новые жилые кварталы, а вместе с тем, появляется необходимость в сооружении административных зданий – бизнес-центров, которые служат рабочими местами для жителей. Бизнес-центры, в основном, строятся многоэтажными, а следовательно, при проектировании таких зданий необходимо решить вопрос с выбором источника теплоснабжения.

В настоящее время в крупных городах теплоснабжение потребителей обеспечивается за счет тепловых электростанций. Дефицит топлива, энергоемкость производств, экологическая перегрузка региона обостряют энергетическую проблему области.

Потребители тепла проявляют все больший интерес к эффективности использования котельного оборудования. Прослеживается четкая тенденция к возрастанию роли индивидуальных источников теплоснабжения, которые зачастую являются более экономичными по сравнению с ТЭЦ или централизованными котельными. Стоимость производимого тепла в индивидуальных котельных, как правило, в 2-3 раза ниже по сравнению централизованными источниками тепла. В связи с этим в последние годы на российском рынке значительно вырос спрос на автоматизированные котлы малой мощности. Причинами возрастания такого спроса являются также отсутствие резервов в существующих тепловых сетях.

В большинстве случаев запросы потребителей на такое оборудование удается удовлетворить, используя котлы мощностью до 6,5 МВт, при этом наиболее приемлемыми для отопительных котельных, исходя из соображений экономичности, надежности, безопасности и простоты эксплуатации, является автоматизированные водогрейные котлы с температурой воды на выходе 95-115 ^{0}С. В настоящее время на российском рынке появился большой выбор как отечественного, так и импортного котельного оборудования.

Отдельное внимание среди индивидуальных источников теплоснабжения заслуживают крышные котельные. Они возводятся на кровле здания, и обеспечивают его теплом и ГВС.

Крышные котельные имеют множество преимуществ. Они позволяют повысить энергосбережение на 25-30 %. Такие источники теплоснабжения более экономичны, так как протяженность тепловых сетей отсутствует, а, следовательно, отсутствуют и потери в сетях.

На улице Красноармейской города Челябинска было принято решение возвести бизнес-центр. В качестве источника тепловой энергии для него было решено разработать крышную котельную, которая и будет служить объектом исследования ВКР. Целью работы является предложение разработки крышной котельной для бизнес-центра.

Задачи работы:

– обоснование актуальности выбора крышной котельной в качестве источника тепловой энергии здания бизнес-центра;

– определение тепловых нагрузок и мощности котлов;

– предложение тепловой схемы котельной;

– выполнение ряда технических расчетов (расчет тепловой схемы котельной, определение выбросов и минимальной высоты дымовой трубы);

– технико-экономической обоснование строительства предложенной котельной и расчет годового экономического эффекта.

1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ КРЫШНОЙ КОТЕЛЬНОЙ ДЛЯ БИЗНЕС-ЦЕНТРА ПО УЛ. КРАСНОАРМЕЙСКОЙ В ГОРОДЕ ЧЕЛЯБИНСКЕ

В городе Челябинске преобладает централизованное теплоснабжение, в основном обеспечиваемое источниками с комбинированной выработкой теплоты и электроэнергии, которыми являются 4 ТЭЦ, принадлежащие ОАО «Фортум»: ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ЧГРЭС, а также ТЭЦ «Мечел». В системе централизованного теплоснабжения кроме того работают 3 крупные котельные: Северо-Западная и Юго-Западная водогрейные котельные филиала «Челябинские тепловые сети» (ЧТС) ОАО «Уральская теплосетевая компания (ОАО «УТСК», дочернее предприятие ОАО «Фортум»), и Западная водогрейная котельная ООО «ТК «Западная» [43].

Район строительства бизнес-центра имеет плотную застройку. Резервы тепловых мощностей для возможности подключения проектируемого здания к существующим тепловым сетям минимальны. Тепловые сети находятся в изношенном состоянии и имеют место колоссальные теплопотери в них. Решение выбрать для здания бизнес-центра такой автономный источник теплоснабжения, как крышная котельная, является наиболее эффективным и целесообразным и позволит в кратчайшие сроки окупить данный проект.

Проектом предусматривается размещение котельной на кровле здания. Категория производства - Г.

Установленная тепловая мощность котельной составляет Q=964 кВт.

Для отопительного режима теплопотребления предусматривается установка двух водогрейных котлов Vitoplex 200, теплопроизводительностью Q=440 кВт каждый.

Для неотопительного режима при летнем теплопотреблении на нужды ГВС предусматривается установка водогрейного котла Vitogas 100-F, теплопроизводительностью Q=84 кВт. Производитель котлов – фирма Viessmann.

Теплоноситель на все нужды теплопотребления в отопительный период – горячая вода с температурой t = 90/70 °С;

Теплоноситель для нужд ГВС в неотопительный период – горячая вода с температурой в подающем трубопроводе t_1 =70 °С, в обратном трубопроводе t_2 =40 °С.

Рабочее давление в системе теплоснабжения здания составляет $P_{раб}$=2,3 бар; максимальное рабочее давление $P_{макс}$=4,0 бар, минимально допустимое давление в системе трубопроводов составляет $P_{мин}$=1,0 бар (нормальная работа котла VITOGAS 100-F). Статическое давление в системе 1,5 бар.

Топливо для котельной – природный газ, соответствующий ГОСТ 5542-2014.

Работа котельной предусматривается без постоянного обслуживающего персонала. По надежности отпуска тепла котельная относится ко II категории.

Отвод дымовых газов предусматривается через индивидуальные дымовые трубы Ø300 мм для котлов Vitoplex 200, Ø150 мм для котла Vitogas 100-F, выполненные из отдельных элементов длиной 1000 мм, изготавливаемых из листовой

нержавеющей стали толщиной 1 мм с изоляцией изделиями из минеральной ваты и покровным слоем из оцинкованной листовой стали. Общая высота дымовых труб из отдельных элементов составляет 6,0 метров от пола котельной. В нижней части дымовых труб предусматривается устройство карманов со штуцерами с запорной арматурой для сбора и отвода конденсата, образующегося при отводе дымовых газов от котлов. Отвод конденсата предусматривается по системе дренажных трубопроводов котельной в сборный дренажный бак объемом V=5 м^3, установленный в подвальном помещении.

Заполнение системы и подпитка контура теплоснабжения котельной предусматривается от городского водопровода с добавлением реагента Jurby Soft-9 для обеспечения безнакипного режима и химического связывания кислорода.

Для компенсации температурных расширений теплоносителя в системе трубопроводов котельной предусматривается установка 2-х мембранных расширительных бака WRV-750.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Выпускная квалификационная работа выполнена в соответствии с СП 89.13330.1012. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76 [22], ПБ 10-574-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов [12].

В спецчасти ВКР выполняются технические расчеты. Определение тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и ГВС производится по климатологическим данным г. Челябтнска в соответствие со СНиП 23-01-99*. Строительная климатология [18].

Расчет тепловой схемы котельной выполнен при использовании учебного пособия Кириллова В.В. «Расчет тепловых схем источников теплоснабжения промышленных предприятий» [34]; тепловой расчет котла произведен, руководствуясь Нормативным методом «Тепловой расчет котлов» [44], а также учебным пособием А. П. Лумми, «Расчет жаротрубно-дымогарного котла» [37].

Раздел «Энергосбережение» основан на Федеральном законе РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [1].

Раздел экологии разработан при использования учебника для ВУЗов П.В. Рослякова «Методы защиты окружающей среды» [40]. Поверочный расчет дымовой трубы котельной произведен на основании Методики расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе от выбросов предприятий [38].

Основополагающим нормативным документом для раздела автоматизации является ГОСТ 21.404-85. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах [10].

При разработке мероприятий по охране труда и технике безопасности, основными нормативными документами являются были использованы:

– ГОСТ 12.0.003-80. Опасные и вредные производственные факторы. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1980 [3];

– ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2006 [5];

– ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Изд-во стандартов, 1988 [6];

– ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ И – 01.12.81; 02.06.90. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2007 [7];

– ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ И – 1.01.86. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защит. – М.:ИПК Изд-во стандартов, 2001 [9].

Раздел ВКР «Экономика и управление» выполнен на основании учебного пособия для бакалавров и магистрантов Алабугина А.А. [25] и при использовании учебника для ВУЗов «Экономика предприятий энергетического комплекса» Самсонова В.С. [41].

Пояснительная записка и графическая часть ВКР выполнена в соответствии с СТО ЮУрГУ 04–2008 [23] и методическими указаниями Р. А. Алабугиной [24].

3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

С рассматриваемой крышной котельной для бизнес-центра установлены котлы фирмы «Viessmann». Основные тепловые нагрузки проектирумой котельной покрывают два котла Vitoplex 200 мощностью 440 кВт каждый.

Водогрейный стальной жидкотопливный котел Viessmann Vitoplex 200 (Германия) — это низкотемпературный водогрейный котел для работы на жидком и газообразном топливе.

Котел Vitoplex 200 является трехходовой моделью низкотемпературных котлов, имеющий небольшие габариты и маленький вес. Vitoplex 200 практически не загрязняет атмосферу, так как особая трехходовая газоходная система имеет малую теплонапряженность рабочей камеры, а значит, выделяет минимальное количество вредных газов. Удобная система пуска, интегрированная в оборудование, значительно упрощает процесс стыковки котла и системы отопления или водонагрева.

Основные преимущества котлов Vitoplex 200:

– низкотемпературное котельное оборудование, использующее в качестве сырья газ или жидкое топливо. Мощность варьируется от 90 до 1950кВт;

– высокая экономичность дает возможность минимизировать затраты на приобретение топлива, при этом переменная температура, дот которой нагревается теплоноситель, позволяет до минимума сократить количество выбросов в атмосферу

– особенности конструкции обеспечивают очень высокий КПД – до 94% эффективности;

– возможность дополнительного использования специального теплообменника, использование энергии отработанных газов позволяет еще увеличить КПД;

– высокое водонаполнение гарантирует циркуляцию в любом случае, что обеспечивает простую стыковку котла и гидравлической системы отопления в целом.

Устройство водогрейного котла Vitoplex 200 показано на рисунке 3.1.

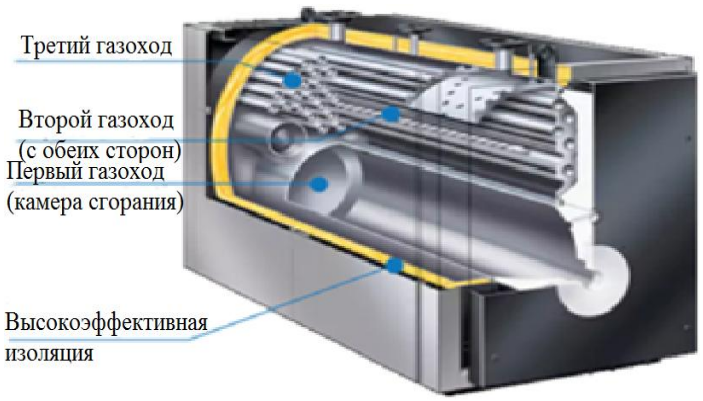


Рисунок 3.1 – Устройство водогрейного котла Vitoplex 200

Сегодня на рынке котельного оборудования существует огромное количество производителей, как отечественных, так и зарубежных заводов-изготовителей. Фирма Viessmann – это один из наиболее известных в Европе поставщиков бытового и промышленного отопительного оборудования, ведущий свою деятельность с 1917 года. Она выпускает газовые, пиролизные, дизельные, комбинированные котлы (напольные и настенные), а также бойлеры и системы автоматики. На сегодняшний день, покупатели из 74 стран мира могут приобрести технику Viessmann, страна производитель – Германия.

Жаротрубное водогрейное оборудование достаточно распространено во всем мире. Впервые такие котлы появились еще в XIX веке. Конструкция была создана для того, чтобы увеличить показатели производительности оборудования без увеличения размера агрегата и его формы.

Их широкое применение в настоящее время объясняется удобством эксплуатации, простотой выполнения ремонтных и обслуживающих работ, а также возможностью использования при наличии давления внутри конструкции выше атмосферного.

Котел жаротрубный являет собой подвид газотрубного оборудования, у которого поверхность состоит из определенного количества жаровых труб, внутри которых движется конкретный вид топлива.

Чаще всего жаротрубное оборудование имеет достаточно простую конструкцию – цилиндрический корпус, которой расположен горизонтально.

Принцип работы жаротрубного котла достаточно прост. На переднем торце всех жаровых труб расположена горелка надувочного типа, которая может сжигать газ или жидкое топливо. Благодаря этому жаровая труба становиться особой топочной камерой, где сгорает практически все идущее в прибор топливо.

Конструкция жаротрубного водогрейного котла состоит из корпуса, передней и задней крышки, труб для отвода из агрегата дымовых газов и опор. Сама конструкция корпуса включает в себя камеру, представленную жаровой трубой с закругленным дном, конвективную зону, переднюю камеру агрегата и опоры. Дополнительно жаротрубный водогрейный котел покрывается теплоизоляционными материалами.

Газы, которые образовываются в жаровой трубе при сгорании конкретного вида топлива, меняют свое направление движения и возвращаются к фронтальной части отопительного оборудования. После отдачи тепла теплоносителю они выводятся наружу через дымоход.

Конструкция водогрейного жаротрубного котла может быть другой. Расположение и комплектация разных компонентов оборудования, в том числе и жаровых труб, может отличаться у разных производителей, а также в зависимости от предназначения и габаритов агрегата.

Широкое распространение в разных сферах котлы жаротрубные получили благодаря следующим характеристикам:

– наличие простой конструкции и удобства работы с ней;

– наличие участков с высоким показателем тепло напряжённости;

– оптимальный уровень безопасности котлов жаротрубных;

– высокий показатель мощности при компактных габаритах;

– наличие отопительного оборудования для обеспечения автоматической работы. Это достигается за счет использования дополнительных приборов: манометра, воздухоотводчика, термометра, датчика давления воды и др.;

– стабильная работа горелки на жаровых трубах котла без проблемы пульсации пламени;

– использование стали для теплообменника позволяет водогрейным жаротрубным котлам быть защищенными от коррозии и температурных перепадов.

Несмотря на некоторые разногласия, данный вид оборудования для водогрейного типа широко используется в странах Европы в промышленной сфере.

Среди факторов, которые влияют на этот показатель, можно выделить следующие:

– большой объем используемой воды в котлах жаротрубных позволяет поддерживать стабильный показатель температуры на выходе;

– низкий показатель гидравлического сопротивления водогрейных жаротрубных агрегатов непосредственно влияет на снижение издержек эксплуатации;

– жаровая труба котла обеспечивает практически стопроцентное сгорание топлива, что обеспечивает высокий показатель КПД, достигающий выше 90%;

– высокий уровень тепловой мощности оборудования водогрейного типа позволяет уменьшить количество теплопотерь сооружения при наличии неблагоприятных климатических условий.

Что касается недостатков жаротрубных агрегатов, то сюда можно отнести их относительно высокую взрывоопасность, что объясняется особенностями конструкции агрегата, в частности жаровыми трубами. Однако при соблюдении всех норм и правил использования оборудования водогрейные жаротрубные котлы будут абсолютно безопасны и надежны в работе.

Учитывая высокие требования безопасности, выдвигаемые к котлам жаротрубным, на что непосредственно влияет их конструкция с наличием жаровых труб, при эксплуатации водогрейных жаротрубных котлов необходимо знать следующее:

– наличие жаровых труб приводит к тому, что скорость движения теплоносителя в водогрейных жаротрубных агрегатах небольшая, что приводит к образованию застойных зон внутри агрегата;

– количество воды в котлах жаротрубных намного больше, чем у водотрубного водогрейного оборудования. Это делает агрегат более взрывоопасным;

– основная причина поломки водогрейных агрегатов – это образования разных отложений и накипи. Учитывая конструктивные особенности оборудования, в частности наличие жаровых труб, накипь в агрегатах скапливается неравномерно, вызывая перегрев теплообменника.

Среди котельных агрегатов с аналогичным принципом действия и диапазона мощностей среди отечественного оборудования можно выделить котлы ТЕРМОТЕХНИК компании «Энторрос» и котлы КВ-ГМ Дорогобужского котельной завода. Остановимся подробнее на котлах «Энторрос».

Газовые котлы ТЕРМОТЕХНИК ТТ 100 сконструированы как трехходовой ко-

тел газотрубного типа.

Котлы ТЕРМОТЕХНИК ТТ 100 производятся серийно в диапазоне номинальной мощности от 1000 кВт до 15000 кВт. ТЕРМОТЕХНИК ТТ 100 — трехходовые стальные низкотемпературные водогрейные котлы газотрубно-дымогарного типа, оснащенные топкой, работающей под наддувом. Котлы предназначены для производства теплофикационной горячей воды с максимальной температурой 115°С при допустимом рабочем давлении 0,6 МПа. Котлы используются для работы только в закрытых системах теплоснабжения [54].

У компании «Viessmann» диапазон мощностей для трехходовых котлов несколько ниже – 90-1950 кВт, а котлы ТЕРМОТЕХНИК меньшей мощности 210-1000 кВт уже имеют всего два хода.

Предпочтительными сферами применения котлов ТЕРМОТЕХНИК ТТ 100 являются крупные системы отопления и вентиляции, горячего водоснабжения промышленных, административных, коммунально-бытовых и других объектов, обеспечение тепловой энергией технологического оборудования производств.

Котлы сертифицированы по системе ГОСТ РФ и разрешены к применению Ростехнадзором РФ. Производитель оставляет за собой право на внесение качественных изменений в конструкцию, обусловленных техническим прогрессом и изменением законодательства.

Все котлы Термотехник ТТ100 имеют цилиндрическую форму обшивки котла, камеры сгорания и газоходов. Для изготовления котла ТТ100 применяется сталь высокого качества, которая выдерживает температурные нагрузки на внутренние стенки котла. Конструкция котла ТТ100, за счет полностью омываемой стенки котла и торосферического днища обеспечивает высокую интенсивность теплообмена. Передняя стенка котла устанавливается на петлях, которые устанавливаются на правую или левую сторону котла и позволяют открывать дверцу вместе с горелкой. Это значительно облегчает как плановое техническое обслуживание котла ТТ100, так и обслуживание горелки. Конструкция котла предусматривает возможность осмотра топки котла и жаровых труб. Для осмотра дымогарных труб имеется смотровой люк, который располагается в верхней части котла. Второй люк, предназначенный для чистки коллектора дымовых газов, расположен в задней стенке котла. Кроме этого, котел ТТ100 имеет большое межтрубное пространство, что позволяет создать оптимальные условия для теплообмена и распределения теплоносителя [54].

Компания Viessmann известна во всем мире. Она прославилась как производитель надежного и качественного котельного и отопительного оборудования. На протяжении всего периода своей работы компания подтверждала, что выпускаемое оборудование отвечает всем заявленным характеристикам. Котлы немецкого производства отличаются легкостью и простой в использовании. Поэтому они так популярны в России.

Современный рынок переполнен предложениями от отечественных и зарубежных производителей. Но по данным статистики именно продукция марки Viessmann является самой популярной. Секрет в том, что аналогов оборудованию немецкого производства практически нет во всем мире. К основным отличиям

можно отнести:

– использование современных методов и инновационных технологий при производстве отопительного и котельного оборудования;

– надежность установок;

– высокие показатели эффективности в работе;

– экологичность и безопасность оборудования.

В продажу регулярно поступает новая продукция, оснащенная ещё большим количеством полезных функций и обладающая неоспоримыми преимуществами по отношению к продукции конкурентов.

Если вернуться к котлам Vitoplex 200, то их большим преимуществом по сравнению со всеми аналогами среди рассийских и зарубежных котельных агрегатов является их компактность и малый вес.

Итогом всего сказанного в данном разделе является то, что рынок котельного оборудования очень богат. Водогрейных трехходовых котлов имеется большое количество. Можно бесконечно долго сравнивать преимущества и недостатки различных заводов-изготовителей как отечественных, так и зарубежных. Интернет-ресурсы переполнены статьями со сравнением различных фирм-производителей котлов, но все они, как правило, призваны выделить в глазах потребителя именно свое оборудование и выявлением недостатков конкурентов. Компания Viessmann хорошо зарекомендовала себя на этом рынке как производитель надежного, простого в эксплуатации и экологичного оборудования, преимущества котельных агрегатов фирмы Viessmann описаны выше, но выбор в рассматриваемой котельной именно этих котлов обусловлен желанием заказчика и его предыдущим удачным опытом по эксплуатации оборудования фирмы Viessmann.

4 РАЗРАБОТКА КРЫШНОЙ КОТЕЛЬНОЙ ДЛЯ БИЗНЕС-ЦЕНТРА ПО УЛ. КРАСНОАРМЕЙСКОЙ В ГОРОДЕ ЧЕЛЯБИНСКЕ

Данный раздел является специальной частью выпускной квалификационной работой бакалавра. В нем выполним все необходимые технические расчеты: вычислим мощность котельной путем определения тепловых нагрузок на отопление вентиляцию и водоснабжения здания бизнес-центра по ул. Красноармейской, температур сетевой воды, построим соответствующие графики, рассчитаем тепловую схему котельной для пяти расчетных режимов, по результатам которой выберем тип и производительность котельных агрегатов. Будут приведены технические характеристики выбранных котлов, а также выполнен тепловой расчет водогрейного котла Vitoplex 200.

4.1 Определение удельных тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и ГВС

Для выбора мощности котельной необходимо определить тепловые нагрузки на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения здания бизнес-центра. Рассчитаем сезонные и круглогодичные тепловые нагрузки для различных расчетных периодов, а также годовой отпуск тепла.

Расчет тепловых нагрузок производится по климатологическим данным г. Челябинска по СНиП 23-01-99*[18], которые представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Климатические параметры наружного воздуха

Продолжительность n, сут	Температура воздуха, ºС			
	отопления $t_{НО}$	вентиляции $t_{НВ}$	средняя отопительного периода	средняя самого холодного месяца
218	-34	-34	-6,5	-15,8

4.1.1 Отопительная тепловая нагрузка

Расчет сезонных тепловых нагрузок будем производить по укрупненным показателям по объёму здания бизнес-центра. Расход теплоты на отопление определяется по формуле (4.1):

$$Q_O^{'} = a \cdot q_O \cdot V_н \cdot \left(t_B - t_{НО}\right) \quad (4.1)$$

где a – коэффициент учета района строительства здания;

q_O – удельная тепловая характеристика здания, зависящая от объема и назначения здания, Вт/$\left(м^3 \cdot °C\right)$;

$V_н$ – объем здания по наружному замеру, м^3;

$t_{НО}$ – температура наружного воздуха для проектирования отопления, согласно [18, табл. 10.1] $t_{НО} = t_н = -34$ ˚С.

В соответствие с [21] при расчете тепловых нагрузок на отопление и вентиляцию для обеспечения параметров воздуха в пределах допустимых норм в холодный период года в обслуживаемой зоне общественных и административно бытовых зданий принимать расчетную температуру внутреннего воздуха $t_в$ минимальную из допустимых температур, т е для помещений общественного и административного назначения категории 3а (помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды) – равной 19 ºС .

Коэффициент, учитывающий район строительства рассчитывается по формуле (4.2):

$$a = 0,54 + \frac{22}{(t_B - t_{HO})} \tag{4.2}$$

$$a = 0,54 + \frac{22}{(19 - (-34))} = 0,955.$$

Удельная тепловая характеристика гражданского здания может быть рассчитана тремя способами [29]:

1) удельная тепловая характеристика гражданского здания q, (Вт/м^3·К), может быть ориентировочно найдена по формуле (4.3):

$$q = 1,16 \cdot \frac{(1 + 2d) \cdot A + S}{V_н} \tag{4.3}$$

где d – доля остекления стен;

A и S – площадь соответственно наружных стен и здания в плане, м^2.

2) для жилых и общественных зданий (новое строительство) значение теплопотерь, отнесенные к 1 м^2 общей площади, даны в справочных данных.

3) удельная тепловая характеристика здания любого назначения более точно может быть определена по формуле (4.4), предложенной Н.С. Ермолаевым:

$$q = 1,08\left\{\frac{P}{S} \cdot \left[k_{н.с} + d \cdot (k_{ок} - k_{н.с})\right] + \frac{1}{h} \cdot (0,9 \cdot k_{пт} + 0,6 k_{пл}) - \right\}, \tag{4.4}$$

где P,S, и h – периметр, площадь и высота здания;

$k_{н.с.}$, $k_{пт}$, $k_{пл}$ – коэффициент теплопередачи, Вт/(м^2·К), наружных стен, окон, потолка, пола.

d – доля остекления здания, рассчитывается по формуле (4.5):

$$d = \frac{S_{ок}}{A} \quad (4.5)$$

где $S_{ок}$ – площадь остекления.

В качестве исходных данных мы имеем строительные чертежи проектируемого здания, по которым имеем возможность посчитать его геометрические размеры, а также площадь остекления, поэтому воспользуемся первым способом для расчета тепловой характеристики гражданского.

По чертежам находим площадь всех окон $S_{ок}$ =445,05 м^2, площадь наружных стен здания A=2998,99 м^2, площадь здания в плане 430 м^2, объем здания по наружному обмеру $V_н$ =22 526 м^2,

$$d = \frac{445,05}{2998,99} = 0,148.$$

Используя формулу (4.3) найдем удельную тепловую характеристику:

$$q_o = 1,16 \cdot \frac{(1 + 2 \cdot 0,148) \cdot 2998,99 + 430}{22\,526} = 0,39 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{К}.$$

По формуле (4.1) найдем расход теплоты на отопление:

$$Q_O^{'} = 0,955 \cdot 0,39 \cdot 22\,526 \cdot \left(19 - (-34)\right) = 444660 \text{ Вт}$$

Рассчитаем расход теплоты в начале отопительного периода при температуре наружного воздуха равной +8 ˚С[29].

Расход теплоты на отопление в начале отопительного периода определим по формуле (4.6):

$$Q_o^{+8} = Q_O^{'} \cdot \frac{t_B - t_H}{t_B - t_{HO}}, \quad (4.6)$$

где t_H = 8 ºС – температура воздуха в начале отопительного периода;

Q_0' – максимальный расход теплоты на отопление при расчетной температуре t_{HO}.

$$Q_o^{+8} = 444660 \cdot \frac{19 - 8}{19 - (-34)} = 92288 \text{ Вт}.$$

Рассчитаем расход теплоты на отопление при средней температуре наиболее холодного месяца по формуле (4.7):

$$Q_{O}^{HXM} = Q_{O}^{'} \cdot \frac{t_B - t_{HXM}}{t_B - t_{HO}} \quad (4.7)$$

где t_{HXM} =-15,8 ºС – температура воздуха наиболее холодного месяца.

$$Q_{O}^{HXM} = 444660 \cdot \frac{19-(-15,8)}{19-(-34)} = 291965 \text{ Вт.}$$

4.1.2 Вентиляционная тепловая нагрузка

Расход теплоты на вентиляцию по объему здания определяется по формуле (4.8):

$$Q_{в}^{'} = \alpha \cdot q_{в} \cdot V \cdot \left(t_B - t_{HB}\right) \quad (4.8)$$

где $q_в$ – удельная вентиляционная характеристика здания, зависящая от его назначения и строительного объема, принимается по справочным данным [29];

t_{HB} – температура наружного воздуха для проектирования вентиляции, согласно [18, табл. 10.1] $t_{НВ} = t_н = -34$ ˚С.

Для административных зданий с объемом свыше 15000 м^3 $q_в$ = 0,18 Вт/(м^3 · К).

$$Q_{в}^{'} = 0,955 \cdot 0,18 \cdot 22\,526 \cdot \left(19-(-34)\right) = 205228 \text{ Вт}.$$

Расход теплоты на вентиляцию в начале отопительного периода определим по формуле (4.9):

$$Q_{в}^{+8} = Q_{B}^{'} \cdot \frac{t_B - t_H}{t_B - t_{HB}} \quad (4.9)$$

где Q'_B – максимальный расход теплоты на вентиляцию при расчетной температуре t_{HB}.

$$Q_{в}^{+8} = 205228 \cdot \frac{19-8}{19-(-34)} = 42594 \text{ Вт.}$$

Рассчитаем расход теплоты на вентиляцию при средней температуре наиболее холодного месяца по формуле (4.10):

$$Q_{в}^{HXM} = Q_{B}^{'} \cdot \frac{t_B - t_{HXM}}{t_B - t_{HB}} \quad (4.10)$$

$$Q_{в}^{НХМ} = 205228 \cdot \frac{19-(-15,8)}{19-(-34)} = 134753 \text{ Вт.}$$

4.1.3 Расход теплоты на горячее водоснабжение

Средненедельный расход теплоты горячего водоснабжения в зимнем режиме определяется по формуле (4.11):

$$Q_{ГВС}^{ср.н.} = \frac{1,2 \cdot a \cdot m \cdot c_{р} \cdot (t_{г} - t_{х}^{з})}{n_{с}}, \quad (4.11)$$

где m - число работников здания, по исходным данным количество сотрудников в здании бизнес-центра принято равным 406 человек;

a - норма расхода горячей воды на одного сотрудника в сутки для административных зданий (a = 15 л/сут) [20];

$c_р$ – теплоемкость ($c_р$ = 4190 Дж/кг·К);

$t_г$ – температура горячей воды ($t_г$ = 65 ^{0}С);

$t_х$ – температура холодной воды в зимний и летний периоды соответственно ($t_х$ = 5 или 15 ^{0}С);

$n_с$ – расчетная длительность подачи тепла на ГВС, при среднем времени работы бизнес-центра 10 часов в сутки $n_с$ = 36000 с/сут.

$$Q_{ГВС}^{ср.н.} = \frac{1,2 \cdot 15 \cdot 406 \cdot 4190 \cdot (65-5)}{3600} = 51034 \text{ Вт.}$$

Средненедельный расход теплоты на нужды ГВС в летнем режиме определяется по формуле (4.12):

$$\left(Q_{ГВС}^{ср.н.}\right)_{Л} = 0,8 \cdot \left(Q_{ГВС}^{ср.н.}\right)_{З} \cdot \frac{65 - t_{х}^{л}}{65 - t_{х}^{з}} \quad (4.12)$$

$$\left(Q_{ГВС}^{ср.н.}\right)_{Л} = 0,8 \cdot 51034 \cdot \frac{65-15}{65-5} = 34023 \text{ Вт.}$$

Расчетный расход теплоты на ГВС рассчитывается по формуле (4.13):

$$Q_{ГВС}^{Р} = k_{с} \cdot k_{н} \cdot Q_{ГВС}^{ср.н.}, \quad (4.13)$$

где $k_с$ – коэффициент суточной неравномерности расхода теплоты ($k_с$ = 2,0);

$k_н$ – коэффициент недельной неравномерности расхода теплоты ($k_н$ =1,2).

$$(Q_{ГВС}^{P})_{з} = 2 \cdot 1,2 \cdot 51034 = 122482 \text{ Вт.}$$

$$(Q_{ГВС}^{P})_{л} = 2 \cdot 1,2 \cdot 34023 = 81655 \text{ Вт.}$$

4.1.4 Расчёт суммарных тепловых нагрузок

Суммарная тепловая нагрузка в начале отопительного периода определяется по формуле (4.14):

$$Q_{\Sigma}^{+8} = Q_{о}^{+8} + Q_{в}^{+8} + (Q^{р}_{гвс})_{л} \quad (4.14)$$

$$Q_{\Sigma}^{+8} = 92288 + 42594 + 81655 = 216537 \text{ Вт} = 216,5 \text{ кВт.}$$

Суммарная максимальная тепловая нагрузка при расчетной температуре определяется по формуле (4.15):

$$Q_{\Sigma}^{-34} = Q_{о}^{-34} + Q_{в}^{-34} + (Q^{р}_{гвс})_{З} \quad (4.15)$$

$$Q_{\Sigma}^{-34} = 444660 + 205228 + 122482 = 772370 \text{ Вт} = 772,4 \text{ кВт.}$$

Тепловые нагрузки на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения для здания бизнес-центра разных периодов года сведем в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Сводная таблица тепловых нагрузок здания бизнес-центра

Расчетные режимы	Тепловые нагрузки			
	на отопление, Вт	на вентиляцию, Вт	на ГВС, Вт	суммарная
максимальный режим при $t_{н}$=-34 ^{0}С	444 660	205 228	122 482	772 370
расчетный режим при $t_{нхм}$=-15,8 ^{0}С	291 965	134 753	122482	549 200
начало отопительного периода при $t_{н}$=+8 ^{0}С	92 288	42 594	81 655	216 537
летний режим при $t_{н}$ > +8 ^{0}С	–	–	81 655	81 655

Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха, равной и ниже данной представлено в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха, равной и ниже данной

t_H	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+8
n	7	39	166	520	1110	1950	2980	3920	5180

График продолжительности суммарных тепловых нагрузок приведён на рисунке 4.1.

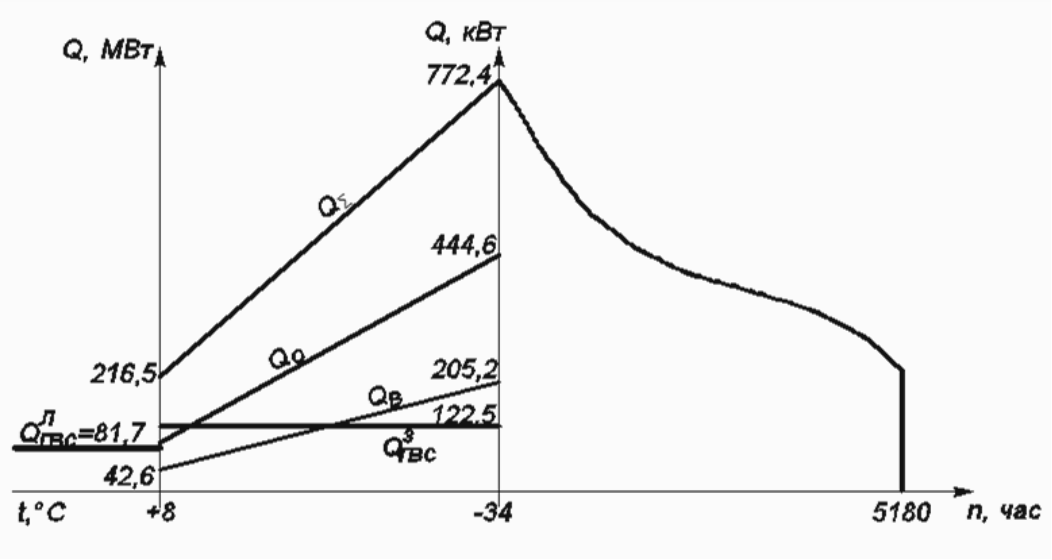


Рисунок 4.1 – График продолжительности суммарных тепловых нагрузок

4.1.5 Расчет годового отпуска теплоты

Рассчитаем годовой расход тепла по отопительной нагрузке (4.16):

$$Q^0_{год} = n_0 \cdot Q^{ср}_0 = n_0 \cdot Q'_0 \cdot \frac{t_B - t^{ср}_H}{t_B - t_{НО}}, \qquad (4.16)$$

$$Q^0_{год} = 218 \cdot 24 \cdot 444660 \cdot \frac{19 + 6{,}5}{19 + 34} = 1119{,}3 \text{ МВт·ч/год}$$

Годовой расход тепла на вентиляцию (4.17):

$$Q_в^{год} = Q'_в \frac{t_в - t_н^{ср.в}}{t_в - t_{нв}} n_о, \qquad (4.17)$$

$$Q_в^{год} = 218 \cdot 24 \cdot 205228 \cdot \frac{19 + 6{,}5}{19 + 34} = 516{,}6 \text{ МВт·ч/год.}$$

Годовой расход тепла на горячее водоснабжение (4.18):

$$Q_{ГВС}^{год} = Q_{ГВС}^{ср.н.} \cdot \left(n_0 + \beta \cdot \frac{t_г - t_x^л}{t_г - t_x^з} (n_г - n_0) \right) \quad (4.18)$$

где $n_г$ = 3500 ч/год – длительность работы систем ГВС;

β = 0,8 коэффициент, учитывающий изменение средненедельного расхода воды на горячее водоснабжение в неотопительный период по отношению к отопительному,

$$Q_{ГВС}^{год} = 51034 \cdot \left(218 \cdot 10 + 0{,}8 \cdot \frac{65-15}{65-5} (3500 - 218 \cdot 10) \right) = 66{,}3 \text{ МВт} \cdot \text{ч/год}$$

Суммарный годовой расход (4.19):

$$Q_{год} = Q_0^{год} + Q_B^{год} + Q_{ГВС}^{год}, \quad (4.19)$$

$$Q_{год} = 1119{,}3 + 516{,}6 + 66{,}3 = 1702{,}2 \text{ МВт} \cdot \text{ч/год}$$

4.2 Расчёт температурного графика и расходов сетевой воды

4.2.1 Расчет температур сетевой воды

Значения температур сетевой воды в зависимости от температур наружного воздуха определяются методом регулирования тепловых нагрузок и температурным графиком теплосети. В данном случае имеем качественное регулирование по совмещенной нагрузке в закрытых системах теплоснабжения при температурном графике теплосети 90/70 ^{0}С.

Сначала определим температурный график для отопительной нагрузки, а затем посчитаем температуры в подающем и обратном трубопроводах при регулировании по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения.

Перепад температур воды внутри тепловой сети (4.20):

$$\delta\tau_0' = \tau_{01}' - \tau_{02}', \quad (4.20)$$

где $\tau_{01}' = 90$°С – температура воды в подающем трубопроводе;

$\tau_{02}' = 70$°С – температура воды в обратном трубопроводе.

$$\delta\tau_0' = 90 - 70 = 20\text{°С}.$$

Температурный напор нагревательного напора местной системы (4.21):

$$\Delta t_0' = \frac{\tau_{03}' + \tau_{02}'}{2} - t_в, \quad (4.21)$$

где $\tau_{03}' = 95$°С – максимальная температура в отопительном приборе;

$$\Delta t_0' = \frac{95 + 70}{2} - 19 = 63,5\text{°С}.$$

Перепад температур воды в местной системе (4.22):

$$\theta_0' = \tau_{03}' - \tau_{02}', \quad (4.22)$$

$$\theta_0' = 95 - 70 = 25\text{°С}.$$

Относительна величина тепловой нагрузки отопления (4.23):

$$\overline{Q}_0 = \frac{Q_0}{Q_0'} = \frac{t_в - t_н}{t_в - t_{но}} \quad (4.23)$$

Температура сетевой воды перед отопительной установкой (4.24):

$$\tau_{01} = t_в + \Delta t_0' \cdot \overline{Q}_0^{0.8} + \overline{Q}_0 \cdot (\delta\tau_0' - 0,5 \cdot \theta_0') \quad (4.24)$$

Температура сетевой воды после отопительной установки (4.25):

$$\tau_{02} = t_в + \Delta t_0' \cdot \overline{Q}_0^{0.8} - 0.5 \cdot \overline{Q}_0 \cdot \theta_0' \quad (4.25)$$

Результаты расчета температур сетевой воды при регулировании по отопительной нагрузке отображены в таблице 4.4

Таблица 4.4 – Температуры сетевой воды при регулировании по отопительной нагрузке

Величина	Температура наружного воздуха, °С										
	+8	+5	0	-5	-10	-15	-15,8	-20	-25	-30	-34
$\overline{Q}_0$	0,21	0,26	0,36	0,45	0,55	0,64	0,66	0,74	0,83	0,92	1
τ_{01}	38,6	42,9	49,6	56,1	62,3	68,3	69,3	74,2	79,9	85,6	90
τ_{02}	34,5	37,6	42,5	47	51,4	55,5	56,1	59,5	63,3	67,1	70

График температур сетевой воды представлен на рисунке 4.2.

Независимо от метода регулирования тепловых нагрузок необходимо учитывать, что при любых температурах наружного воздуха температура сетевой воды в подающем трубопроводе не может опускаться ниже заданной ($t_г$=65 ^{0}C). Поэтому необходимо сделать «подрезку» температурного графика. График температур приобретает вид ломаной. Точке излома температурного графика соответствует температура наружного воздуха $t_{ни}$ [35].

При температуре наружного воздуха $t_{ни}$ происходит смена метода регулирования с качественного на количественное или наоборот.

Из графика $t_{ни}$ = -12,2 °C (рисунок 4.2).

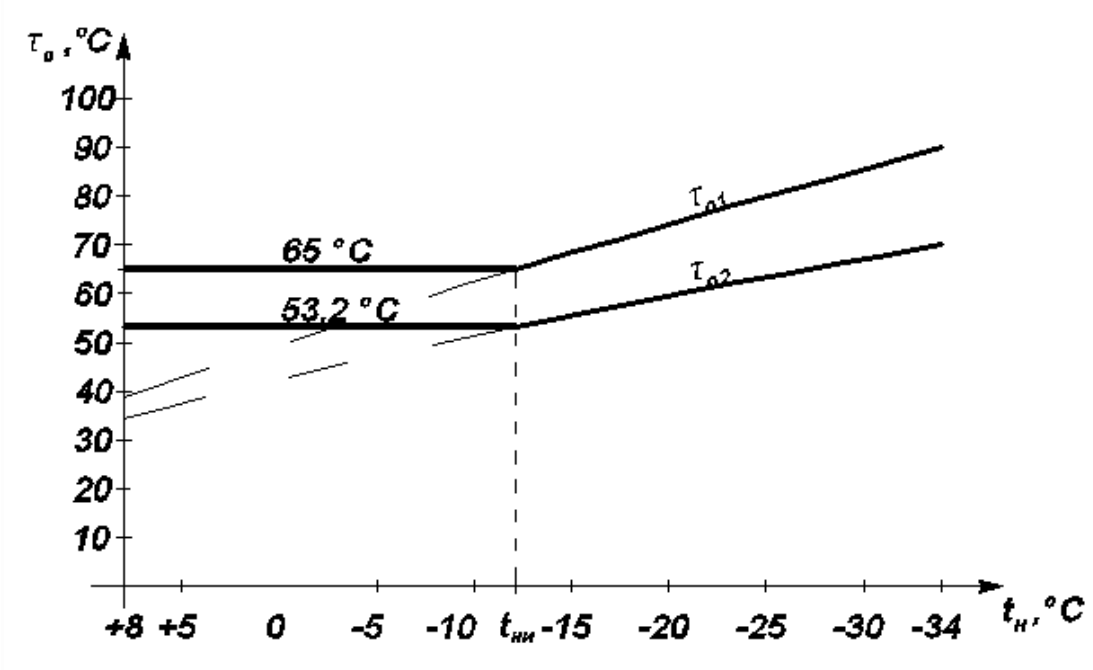


Рисунок 4.2 – График температур тепловой сети

Качественное регулирование по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения применяется при суммарном среднечасовом расходе теплоты на горячее водоснабжение более 15 % от суммарного максимального часового расхода на отопление.

В часы максимального водопотребления снижается температура воды, поступающей в систему отопления, что приводит к уменьшению отдачи тепла. Этот небаланс компенсируется в часы минимального водопотребления, когда в систему отопления поступает вода с температурой более высокой, чем требуется по отопительному графику. Суточный баланс на отопления обеспечивается при расчете температурного графика по «балансовой» нагрузке горячего водоснабжения $Q_г^б$, несколько превышающей среднечасовой расход теплоты на горячее водоснабжение (4.26):

$$Q_г^б = \chi_б \cdot Q_{ГВС}^{ср.н.}, \qquad (4.26)$$

где $\chi_б$ – балансовый коэффициент учитывающий неравномерность суточного графика горячего водоснабжения, $\chi_б = 1,2$.

$$Q_г^б = 1,2 \cdot 51034 = 61241 \text{ Вт}.$$

Перепад температур сетевой воды определяют по формуле (4.27):

$$\delta_2'' = \frac{Q_г^б}{Q_o'} \cdot \frac{\tau_{o2}'' - \Delta t_н'' - t_x}{t_г - t_x} \delta\tau_o', \quad (4.27)$$

где $\Delta t_н'' = 5 \div 10\,°C$ – величина недогрева.

$$\delta_2'' = \frac{61241}{444660} \cdot \frac{53,2 - 5 - 5}{65 - 5} \cdot 20 = 1,8\,°C.$$

Суммарный перепад температур δ, ˚С, определяется по формуле (4.28):

$$\delta = \frac{Q_г^б}{Q_o'} \cdot \delta\tau_o' \quad (4.28)$$

$$\delta = \frac{61241}{444660_o} \cdot 20 = 2,8\,°C.$$

При известном суммарном теплоперепаде найдем значение δ_1'' по формуле (4.29):

$$\delta_1'' = \delta - \delta_2'' \quad (4.29)$$

$$\delta_1'' = 3 - 1,8 = 1,2\,°C.$$

Определим перепады температур сетевой воды в обратном трубопроводе δ_2 по формуле (4.30):

$$\delta_2 = \delta_2'' \cdot \frac{\tau_{o2} - t_x}{\tau_{o2}'' - t_x}, \quad (4.30)$$

перепады температур сетевой воды в подающем трубопроводе δ_1 по формуле (4.31):

$$\delta_1 = \delta - \delta_2 \quad (4.31)$$

Результаты расчетов оформим в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Температуры и перепады сетевой воды при регулировании по совмещенной нагрузке

Величина	Температура наружного воздуха, ºС										
	+8	+5	0	-5	-10	-15	-15,8	-20	-25	-30	-34
δ_1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,5	0,2	0,0
δ_2	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	2,0	2,3	2,6	2,8
$\tau_1 = \tau_{01} + \delta_1$	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	69,2	70,2	75,0	80,4	85,8	90,0
$\tau_2 = \tau_{02} - \delta_2$	51,4	51,4	51,4	51,4	51,4	53,7	54,3	57,5	61,0	64,5	67,2

График температур сетевой воды при качественном регулировании по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения, называемый повышенным, представлен на рисунке 4.3.

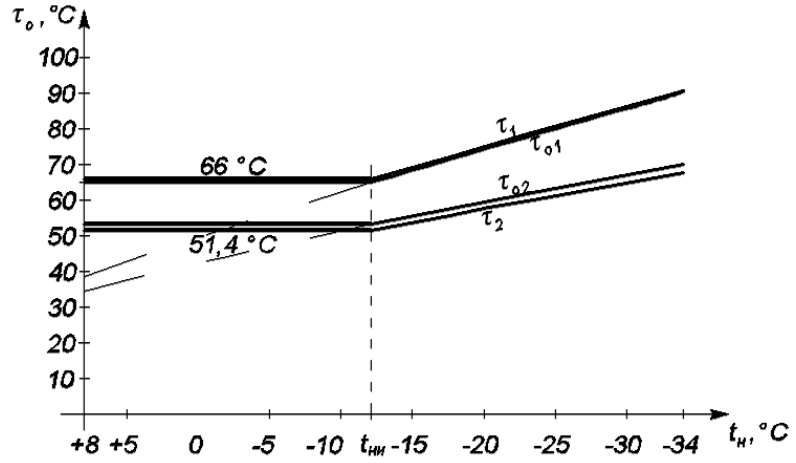


Рисунок 4.3 – Повышенный график температур сетевой воды

4.2.2 Расчет расходов сетевой воды

Наличие нагрузки горячего водоснабжения увеличивает расход сетевой воды. При качественном регулировании по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения достигается значительное сокращение расчетных расходов воды. В системе поддерживается постоянный расход сетевой воды, равный расчетному расходу воды на отопление G_o (4.32):

$$G'_o = \frac{Q'_o}{c_p \delta \tau'_0} = const. \qquad (4.32)$$

Расход сетевой воды на отопление при $t_н$=+8 °С (4.33):

$$G_o = \frac{Q_o}{C_p \cdot \left(\tau''_1 - \tau''_2\right)}, \qquad (4.33)$$

где $\tau_1^{"}$, $\tau_2^{"}$ – температура сетевой воды в прямой и обратной линиях при $t_{ни}$= -12,2°С.

$$G_o = \frac{92288}{4190 \cdot (66 - 51,4)} = 1,51 \text{ кг/с}.$$

Тепловая нагрузка на отопление при $t_{ни}$= -12,2 ºС (4.34):

$$Q_o = Q_o' \frac{t_в - t_{ни}}{t_в - t_{но}} \qquad (4.34)$$

$$Q_o = 444660 \cdot \frac{19 + 12,2}{19 + 34} = 261762 \text{ Вт}.$$

Расход сетевой воды на отопление при $t_{ни}$=-12,2 °С:

$$G_o = \frac{261762}{4190 \cdot (66 - 51,4)} = 4,3 \text{ кг/с}.$$

Результаты расчета расходов воды на отопление для других температур наружного воздуха представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Расходы воды на отопление

$t_н$, °С	+8	+5	0	-5	-10	-12,2	-15	-20	-25	-30	-34
Q_o,10^3 Вт	922,9	117,5	159,4	201,3	243,3	261,8	285,2	372,7	369,1	411,1	444,7
G_o, кг/с	1,51	1,93	2,61	3,3	3,99	4,3	4,37	4,47	4,55	4,62	4,66

График расходов сетевой воды на отопление, вентиляцию и ГВС представлен на рисунке 4.4.

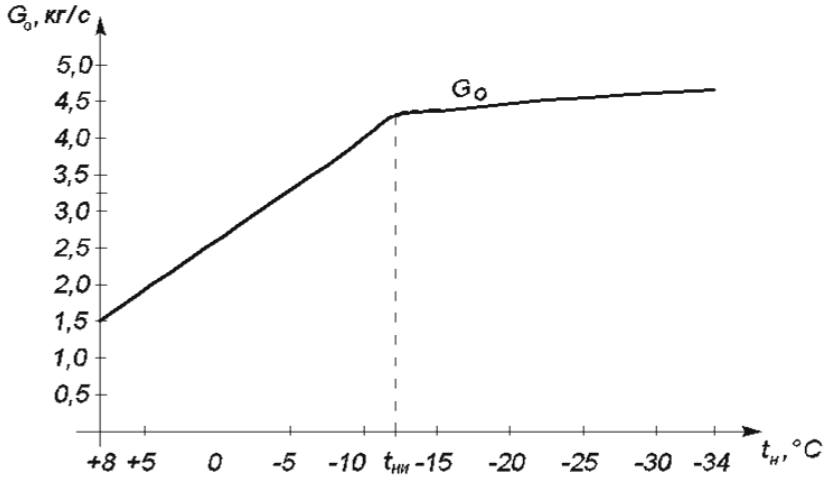


Рисунок 4.4 – График расходов сетевой воды

4.3 Расчет тепловой схемы котельной

Основной целью расчета любой тепловой схемы котельной является выбор основного и вспомогательною оборудования с определением исходных данных для последующих технико-экономических расчетов.

При разработке и расчете тепловых схем котельных с водогрейными котлами необходимо учитывать особенности их конструкции и эксплуатации.

Принципиальная тепловая схема, являющаяся первым этапом проектирования, включает в себя только главное оборудование (котельный агрегат, насосы) и соединяющие его трубопроводы без вспомогательных устройств, запорно-регулирующей арматуры и второстепенных трубопроводов, без указания количества и расположения оборудования.

Основной целью расчета тепловой схемы котельной является:

– определение общих тепловых нагрузок, состоящих из внешних нагрузок и расходов тепла на собственные нужды;

– определение всех тепловых и массовых потоков, необходимых для выбора вспомогательного оборудования;

– определение исходных данных для дальнейших технико-экономических расчетов (годовых выработок тепла, годовых расходов топлива и др.).

Расчет тепловой схемы позволяет определить суммарную теплопроизводительность котельной установки.

Котельная спроектирована на двухтрубную закрытую систему теплоснабжения. Применяется качественное регулирование по совмещенной тепловой нагрузке отопления и горячего водоснабжения, которое является погодозависимым, то есть температуры сетевой воды зависят от температур наружного воздуха. Это осуществляется с помощью трехходового регулирующего клапана.ю обозначенного на принципиальной тепловой схеме Кл2, установленного на линии перемычки, которой соединены между собой подающая и обратная линии. Посредством перемычки при всех режимах работы, кроме максимально зимнего, перепускается часть воды из обратной в подающую линию для поддержания заданной температуры.

Особенностью предлагаемой тепловой схемы рассматриваемой котельной является наличие дополнительного низкотемпературного водогрейного котла, который покрывает тепловую нагрузку в неотопительный период. Это связано с тем, что летом нагрузка на отопление и вентиляцию отсутствует, а нагрузка на горячее водоснабжение составляет менее 20% даже от мощности одного основного котла Vitoplex 200, теплопроизводительностью Q=440 кВт. Котел с такой нагрузкой работает нестабильно, увеличивается количество пусков-остановов котельного агрегата, снижается коэффициент полезного действия.

Предложение добавить в тепловую схему котел малой мощности Vitogas 100-F решает эту проблему. Он подключен к основному коллектору, в отопительный период работает совместно с двумя котлами Vitoplex 200, а в летнее время самостоятельно покрывает нагузку на нужды горячего водоснабжения.

Исходные данные для расчёта тепловой схемы представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Исходные данные к расчёту тепловой схемы котельной

Наименование параметра	$t_{но}$ = -34°С	$t_{нхм}$ =-15,8°С	$t_{ни}$ = -12,2°С	$t_{н}$ = +8°С	летний $t_{н}$ > +8°С
Тепловая нагрузка на отопление, кВт	444,7	292,0	261,8	92,3	–
Тепловая нагрузка на вентиляцию, кВт	205,2	134,8	120,8	42,6	–
Тепловая нагрузка на ГВС, кВт	122,4	122,4	122,4	81,7	81,7
Температура в подающем трубопроводе, τ_{01}, °С	90	70,2	66,0	66,0	70
Температура воды в обратном трубопроводе, τ_{02}, °С	67,2	51,4	54,3	51,4	40

Результаты расчета тепловой схемы котельной приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Расчёт тепловой схемы котельной [34]

Расчетная величина	Обозначение	Расчетная формула или способ определения	Единица измерения	Расчетные режимы				
				$t_{но}$ =- 34 °С	$t_{нхм}$ = - 15,8 °С	$t_{ни}$ = - 12,2 °С	$t_{н}$ = +8 °С	летний $t_{н}$ >+8 °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Расход теплоты на отопление и вентиляцию	$Q_{ов}$	$Q_{ов}^{р}\frac{t_{в}-t_{н}}{t_{в}-t_{но}}$	кВт	649,9	426,8	382,6	134,9	0,0
Расход теплоты на ГВС	$Q_{гвс}$	Из расчета	кВт	122,4	122,4	122,4	81,7	81,7
Общий расход теплоты	$Q_{т}$	$Q_{ов}+Q_{гвс}$	МВт	772,3	549,2	505,0	216,6	81,7
Температура прямой сетевой воды на выходе из котельной	τ_{1}	По рис. 4.3	ºС	90,0	70,2	66,0	66,0	70,0
Температура обратной сетевой воды на входе в котельную	τ_{2}	По рис. 4.3	ºС	67,2	54,3	51,4	51,4	40,0
Общий расход сетевой воды	$G_{с}$	Из расчета	кг/с	4,66	4,39	4,3	1,51	0,65
Расход воды на подпитку и потери в т/с	$G_{под}$	$0,025\cdot G_{с}$	кг/с	0,117	0,110	0,108	0,038	0,016
Расход теплоты на собственные нужды	$Q_{сн}$	$0,02\cdot Q_{т}$	кВт	15,4	10,9	10,1	4,33	1,63

Продолжение таблицы 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Общая тепловая мощность котельной	$Q_к$	$Q_т + Q_{сн}$	кВт	787,7	560,1	515,1	220,9	83,3
Расход воды через котельные агрегаты	$G_к$	$\frac{Q_к}{C_р \cdot (t''_к - t'_к)}$	кг/с	9,4	6,68	6,15	2,64	0,66
Температура воды на входе в котел	$t''_к$	$t'_к + \frac{Q_к}{C_р \cdot G_к}$	ºС	90	90	90	90	70
Расход воды через котел на собственные нужды	$G_{сн}$	$\frac{Q_{сн}}{c_р \cdot (t''_к - t'_к)}$	кг/с	0,18	0,13	0,12	0,05	0,01
Расход воды по перемычке	$G_{пм}$	$\frac{G_с \cdot (t''_к - \tau_1)}{t''_к - \tau_2}$	кг/с	0	2,43	2,67	0,94	0
Расход химочищенной воды	$G_{хво}$	$G_{под}$	кг/с	0,117	0,110	0,108	0,038	0,016
Расход исходной воды	$G_{исх}$	$1{,}15 \cdot G_{хво}$	кг/с	0,13	0,13	0,13	0,04	0,02
Расчетный расход воды через котлы	$G_к^{расч}$	$\frac{Q_т}{C_р \cdot (t''_к - t'_к)} + G_{сн}$	кг/с	9,396	6,684	6,146	2,635	0,66
Относительная погрешность	Δ	$\frac{G_к^{расч} - G_к}{G_к^{расч}} \cdot 100$	%	-0,04	0,06	-0,07	-0,19	0

4.4 Выбор котельного агрегата

В данном подразделе сведем все данные для выбора типа котла, полученные выше, произведем выбор котельных агрегатов, а также приведем технические характеристики выбранных котлов.

4.4.1 Исходные данные для выбора типа котла

Проектом предусмотрена двухконтурная тепловая схема работы котельной, то есть через котлы предполагается пропускать контур котловой воды, который будет нагревать контур сетевой воды.

В соответствии с заданием на проектирование и результатами расчета нагрузок на отопление и ГВС параметры теплоносителя и теплопроизводительность котельной приняты следующие:

– теплоноситель для системы отопления и горячего водоснабжения – сетевая вода по температурному графику 90/67,2 ^{o}C;

– система теплоснабжения закрытая;

– общая тепловая нагрузка 787,7 кВт (677 300 ккал/ч);

– в качестве топлива для сжигания принят природный газ с теплотворной способностью $Q_н^р$ = 8028 ккал/м^3;

– техническое водоснабжение котельной осуществляется от существующих городских сетей водоснабжения и водоотведения;

– работа котельной предусматривается в автоматическом режиме, без постоянного обслуживающего персонала;

Циркуляция в контуре тепловой сети осуществляется сетевыми насосами, установленными на подающей магистрали. Установка рециркуляционных насосов на котлах необходима для повышения температуры котловой воды на входе в котлоагрегат в целях защиты от коррозии конвективных поверхностей нагрева.

По общей тепловой мощности котельной, определенной при расчете тепловой схемы выбираем два низкотемпературных водогрейных котла, работающих на газообразном топливе Vitoplex 200, мощностью 440 кВт каждый, и атмосферный низкотемпературный газовый водогрейный котел Vitogas 100-F мощностью 84 кВт, который самостоятельно будет покрывать тепловые нагрузки на нужды горячего водоснабжения в летний период. Все выбранные котлы производит фирма Viessman, которая является одним из ведущих в мире производителей систем отопления/охлаждения и промышленных установок.

Фирма Viessmann, выпуская полный комплект оборудования, предлагает индивидуальные решения и эффективные системы в диапазоне мощности от 1,5 до 120 000 кВт для любых областей применения и всех энергоносителей [46]. Выбор котлов именно этой фирмы обусловлен требованием заказчика, который уже сталкивался с ними. Котлы фирмы Viessmann проявили себя как надежное и долговечное оборудование, легкое в обслуживании и эксплуатации.

4.4.2 Низкотемпературный водогрейный котел Vitoplex 200

Низкотемпературный водогрейный котел для работы на жидком и газообразном топливе является трехходовым и предназначен специально для тесных помещений. Он имеет следующие особенности:

– экономичный и экологичный режим благодаря переменной температуре теплоносителя;

– трехходовой котел с низкой теплонапряженностью камеры сгорания обеспечивает минимальные выделения вредных веществ;

– широкие проходы между трубами и большое водонаполнение котлового блока обеспечивают эффективную естественную циркуляцию и гарантированный теплообмен;

– встроенная пусковая схема Therm-Control упрощает гидравлическую стыковку котла с системой и позволяет отказаться как от подмешивающего насоса, так и от комплекта повышения температуры обратной магистрали;

– устройство контроля заполненности котлового блока водой до 300 кВт не требуется;

– благодаря компактности конструкции облегчается подача в котельные и

обеспечивается экономия места при установке, что является важным фактором при модернизации.

Технические характеристики котла Vitoplex 200 приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Технические характеристики водогрейного котла Vitoplex 200 [46]

Наименование	Единица измерения	Vitoplex 200
1	2	3
Номинальная тепловая мощность	кВт	440
Номинальная тепловая нагрузка	кВт	478
Допустимая температура подачи (температура срабатывания защитного ограничителя температуры)	ºС	110
Допустимая рабочая температура	ºС	95
Допустимое рабочее давление	кПа	400
Аэродинамическое сопротивление	Па	280
Размеры котлового блока – длина – ширина – высота (с патрубком)	 мм мм мм	 1825 865 1455
Габаритные размеры – общая длина – общая ширина – общая высота	мм мм мм мм	1885 1040 1625
Фундамент – длина – ширина	 мм мм	 1650 1040
Диаметр камеры сгорания	мм	570
Длина камеры сгорания	мм	1400
Общая масса водогрейного котла с теплоизоляцией и контроллером котлового контура	кг	990
Объем котловой воды	л	600
Диаметр патрубков котла – подающая и обратная магистраль PN=6	мм	100
Парметры уходящих газов: температура (при температуре котловой воды 60 ºС) – номинальная тепловая мощность – частичная нагрузка температура (при температуре котловой воды 80 ºС)	 ºС ºС ºС	 180 125 195

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3
Массовый расход уходящих газов (при работе на природном газе)	кг/ч	1,5225 х тепловая нагрузка в кВт
Необходимая тяга	Па/мбар	0
Подключение системы удаления продуктов сгорания	Ø мм	250
Нормативный КПД	%	89

4.4.3 Атмосферный низкотемпературный водогрейный газовый котел Vitogas 100-F

Низкотемпературный газовый водогрейный котел Vitogas 100-F обладает разнообразными преимуществами, работая в составе отопительной установки:

– температура котловой воды плавно регулируется в зависимости от наружной температуры и фактического теплопотребления;

– высокая экологичность при сгорании топлива;

– низкое потребление энергии благодаря снижению температуры котловой воды при повышении наружной температуры;

– малошумное разжигание благодаря системе розжига периодического действия;

– универсальная возможность установки благодаря компактным размерам

Это снижает расход газа, сберегает окружающую среду и способствует экономии средств.

Данный газовый водогрейный котел отличается длительным сроком службы благодаря поверхностям нагрева из проверенного на практике специального серого чугуна с пластинчатым графитом. Эти поверхности спроектированы таким образом, чтобы даже при колебаниях температуры они подвергались наименьшим нагрузкам в режиме эксплуатации, что гарантирует высокую эксплуатационную надежность и длительный срок службы.

Атмосферный газовый водогрейный котел имеет горелку частичного предварительного смешения. Котел характеризуется высокой эксплуатационной надежностью при значительных колебаниях сетевого давления и электрического напряжения, длительным сроком службы благодаря поверхностям теплообмена из специального высококачественного серого чугуна с чешуйчатым графитом и низкой теплонапряженности котлового блока.

Стержневая горелка из нержавеющей стали с частичным предварительным смешиванием имеет возможность дооборудования системой Renox для снижения содержания NOx.

Одним из преимуществ рассматриваемого котла является высокая надежность воспламенения и мягкое, бесшумное зажигание благодаря системе зажигания пе-

риодического действия. Имеется встроенное реле контроля давления газа для автоматического включения после сбоя в подаче газа

Котел обладает компактностью конструкции, а малый вес облегчают подачу котла на место установки. Поставляется в полностью собранном виде в цельном исполнении или отдельными литыми сегментами. Технические характеристики котла Vitogas 100-F представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Технические характеристики газового водогрейного котла Vitogas 100-F [46]

Наименование	Единица измерения	Vitoplex 200
1	2	3
Номинальная теплопроизводительность	кВт	84
Номинальная тепловая нагрузка	кВт	91,3
Площадь теплообменных поверхностей	$м^2$	7,25
Коэффициент теплопроводности теплоизоляции	$Вт/м^2 \cdot К$	0,45
Допустимое рабочее давление	бар	6
Давление подключения газа (номинальное давление) – природный газ – сжиженный газ	 мбар мбар	 20 50
Максимально допустимое давление подключения газа (номинальное давление) – природный газ – сжиженный газ	 мбар мбар	 25 57,5
Габаритные размеры: – длина – общая длина – ширина	 мм мм мм	 770 1010 1120
– высота без контроллера – высота с коленом газохода – длина котлового блока	мм мм мм	1039 1342 861
Количество литых секций	шт.	8
Количество стержней горелки	шт.	7
Масса котлового блока	кг	365
Полная масса с теплоизоляцией, горелкой и регулятором котлового контура	кг	435
Объем котловой воды	л	43

Продолжение таблицы 4.10

1	2	3
Присоединительные патрубки водогрейного котла – подающей и обратной магистрали – вентиль опорожнения	 R R	 2 1
Условный проход трубопровода к расширительному баку	DN R	20 3/4
Предохранительный клапан Линия опорожнения	DN R DN R	20 ¾ 25 1
Подключение газа	R	1
Параметры уходящих газов – температура уходящих газов при температуре котловой воды 50 ºС – температура уходящих газов при температуре котловой воды 80 ºС – массовый расход – при содержании CO_2	 ºС ºС кг/ч %	 107 116 186 7,3
Требуемый напор	мбар	0,03
Патрубок присоединения дымохода	Ø мм	200
Нормативный КПД $T_{под}/T_{обр}$=75/60 ºС	%	83
Затраты теплоты на поддержание готовности при температуре котловой воды 60 ºС	%	0,69

4.5 Тепловой расчет котла

Целью теплового поверочного расчета является определение температуры воды, продуктов сгорания на границах между поверхностями нагрева на выходе из котла, КПД котла, расход топлива. Выполним расчёт водогрейного котла Vitoplex 200 мощностью 440 кВт. [37, 44].

Исходные данные для расчёта:

– топливом служит природный газ с теплотворной способностью $Q_н^р$ = 8028 ккал/м^3;

– температура воды на входе $t^{'} = 67,2\ ^0C$

– температура воды на выходе $t^{''} = 90\ ^0C$

Расчетный состав топлива:

$CH_4 = 94,2\%$;

$C_2H_6 = 2,8\%$;

$C_3H_8 = 0,4\%$;

$C_4H_{10} = 0,1\%$;
$C_5H_{12} = 0,1\%$;
$N_2 = 2,0\%$;
$CO_2 = 0,4\%$.

4.5.1 Состав и количество продуктов сгорания

Теоретически необходимый объем воздуха при $\alpha = 1\,м^3/м^3$ для газообразного топлива определим по формуле (4.35):

$$V^0 = 0,0476 \cdot \left[0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + 1,5 \cdot H_2S + \sum\left(m + 0,25 \cdot n\right) \cdot C_mH_n - O_2\right], \quad (4.35)$$

где *m*, *n* – числа атомов углерода и водорода в химической формуле углеводородов, входящих в состав топлива.

$$V^0 = 0,0476\big[\ (1 + 0,25 \cdot 4) \cdot 94,2 + (2 + 0,25 \cdot 6) \cdot 2,8 + (3 + 0,25 \cdot 8) \cdot 0,4 +$$
$$+(4 + 0,25 \cdot 10) \cdot 0,1 + (5 + 0,25 \cdot 12) \cdot 0,1\ \big] = 9,6\ м^3/м^3$$

Теоретический объем продуктов сгорания при $\alpha = 1\,м^3/м^3$:
– объем трехатомных газов (4.36):

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot \left[CO_2 + CO + \sum m \cdot C_mH_n\right] \quad (4.36)$$

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot \left[0,4 + 1 \cdot 94,2 + 2 \cdot 2,8 + 3 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1\right] = 1,023\ м^3/м^3$$

– объем двухатомных газов (4.37):

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,01 \cdot N_2 \quad (4.37)$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 9,6 + 0,01 \cdot 2,0 = 7,604\ м^3/м^3$$

– объем водяных паров (4.38):

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot \left[H_2S + H_2 + \sum 0,5 \cdot n \cdot C_mH_n + 0,124 \cdot d_{г.тл.}\right] + 0,0161 \cdot V^0, \quad (4.38)$$

где $d_{г.тл.}$ – влагосодержание топлива, отнесенное к $1\,м^3$ сухого газа, при $t_{г.тл}$ = 10 ^{0}С $d_{г.тл.}$ можно принять равным 10 г/м^3.

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot [0,5 \cdot 4 \cdot 94,2 + 0,5 \cdot 6 \cdot 2,8 + 0,5 \cdot 8 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot 10 \cdot 0,1 +$$
$$+0,5 \cdot 12 \cdot 0,1 + 0,124 \cdot 10] + 0,0161 \cdot 9,6 = 2,16 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Действительный объем водяных паров определим по формуле (4.39):

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0 \quad (4.39)$$

$$V_{H_2O} = 2,16 + 0,0161 \cdot (1,1 - 1) \cdot 9,6 = 2,17 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Действительный объем дымовых газов определим по формуле (4.40):

$$V_г = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + (\alpha - 1) \cdot V^0 + V_{H_2O} \quad (4.40)$$

$$V_г = 1,023 + 7,604 + (1,1 - 1) \cdot 9,6 + 2,17 = 11,76 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Объемные доли водяных паров (4.41):

$$r_{H_2O} = V_{H_2O} / V_г \quad (4.41)$$

$$r_{H_2O} = 2,17 / 11,76 = 0,185 \text{м}^3/\text{м}^3.$$

Объемные доли трехатомных газов (4.42):

$$r_{RO_2} = V_{RO_2} / V_г \quad (4.42)$$

$$r_{RO_2} = 1,023 / 11,76 = 0,087 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Суммарные доли определяются по формуле (4.43):

$$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O} \quad (4.43)$$

$$r_n = 0,185 + 0,087 = 0,272 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

4.5.2 Расчет энтальпий продуктов сгорания

Для выполнения поверочных расчетов элементов котла необходимо найти энтальпии продуктов сгорания. Расчет теплосодержания продуктов сгорания в газоходах представлен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Теплосодержание продуктов сгорания в газоходах

$\vartheta, °C$	$I_в^0$, кДж/м^3	$I_г^0$, кДж/м^3	$I = I_г^0 + (\alpha'' - 1) \cdot I_в^0$, кДж/м^3	
			I	ΔI
1	2	3	4	5
30	382,08	–	–	–
100	1487,57	1267,20	1614,3	
200	2998,89	2553,60	3254,3	1640,0
300	4552,71	3868,80	4939,6	1685,3
400	6149,22	5203,20	6669,5	1730,0
500	7783,00	6566,40	8439,6	1770,1
600	8869,24	7968,00	9666,0	1226,4
700	11165,51	9398,40	12105,3	2439,3
800	12937,96	10848,00	14022,8	1917,4
900	14739,49	12297,60	15969,2	1946,5
1000	16578,62	13785,60	17957,2	1987,9
1100	18421,85	15312,00	19953,1	1995,9
1200	20271,23	16838,40	21955,1	2002,0
1300	22174,89	18537,60	24028,6	2073,6
1400	24116,24	19929,60	26109,2	2080,5
1500	26042,29	21494,40	28191,7	2082,5
1600	27999,89	23068,80	30306,8	2115,0
1700	29971,25	24633,60	32434,6	2127,8
1800	31961,02	26198,40	34580,9	2146,2
1900	33971,43	27811,20	36752,6	2171,7
2000	35972,81	29414,40	38914,2	2161,7
2100	37998,11	31094,40	41107,6	2193,3
2200	40029,90	32630,40	43292,9	2185,4

4.5.3 Тепловой баланс котла и расчет расхода топлива

Тепловой баланс водогрейного котла можно охарактеризовать равенством прихода и расхода тепла. Тепловую эффективность котлоагрегата и его качество работы описывается коэффициентом полезного действия – КПД.

Уравнение теплового баланса котла в удельных величинах будет иметь вид (4.44):

$$\eta_{бр} = 100 - (q_2 + q_3 + q_5) \qquad (4.44)$$

где q_2– потери теплоты с уходящим газом;

q_3– потери теплоты от химической неполноты сгорания газа;

q_5– потери теплоты от наружного охлаждения;

$\eta_{бр}$ – КПД котла, в %.

Потери теплоты из-за химического недожога q_3 для применяемого топлива – природного газа – равны примерно 0,5 %.

Потери теплоты с уходящими газами q_2 определяется по формуле (4.45):

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_p^p} \cdot 100 = \frac{\left(I_{ух} - \alpha_{ух} \cdot I_{хв}^o\right) \cdot 100}{Q_p^p}, \% \qquad (4.45)$$

где $I_{ух}$– энтальпия уходящих газов из котельного агрегата, определяющаяся из таблицы 4.11 по температуре уходящих газов 195 ˚С: $I_{ух}$ = 3172,3 кДж/м^3;

$I_{х.в.}^{o}$– энтальпия теоретического объема холодного воздуха при температуре 30 ^{o}С. $I_{х.в.}^{o}$ = 382,08 кДж/м^3.

$$q_2 = \frac{\left(3172,3 - 1,1 \cdot 382,08\right) \cdot 100}{33640} = 8,18\,\%.$$

Потеря теплоты из-за наружного охлаждения q_5 (4.46):

$$q_5 = \frac{100 \cdot \alpha_к \cdot \Delta t \cdot F_к}{Q_p^н \cdot B}, \% \qquad (4.46)$$

где $\alpha_к$ – коэффициент теплоотдачи от стенки котла к окружающей среде, Вт/(м^2·К), считаем $\alpha_к$~10 Вт/(м^2·К).

$F_к$ – наружная поверхность котла, м^2, $F_к$ =10,24 м^2.

$\Delta t = 25\,°C$ – разница между температурой поверхности котла и температурой воздуха;

В – расход топлива, определяемый по формуле (4.47):

$$B = \frac{G_c \cdot c \cdot (t_1 - t_2)}{Q_p^н \cdot \eta} \qquad (4.47)$$

где c – теплоемкость воды, c = 4,19 кДж/кг;

t_1, t_2 – температуры прямой и обратной воды;

$$B = \frac{4,66 \cdot 4,19 \cdot (90 - 67,2)}{33640 \cdot 89} = 0,015\ \text{м}^3/\text{с}.$$

$$q_5 = \frac{100 \cdot 10 \cdot 25 \cdot 10,24}{33640 \cdot 0,015} = 0,51\ \%.$$

Рассчитаем значение коэффициента полезного действия котла (4.44):

$$\eta_{\text{бр}} = 100 - (8{,}18 + 0{,}5 + 0{,}51) = 90{,}81\ \%\ .$$

4.5.4 Тепловой расчет топочной камеры

Поверочный расчет топочной камеры котлоагрегата производится по средствам определения значения действительной температуры дымовых газов на выходе топочной камеры котельного агрегата $\theta_m^{"}$ с помощью выражения (4.48)[44]:

$$\theta_m^{"} = \frac{T_a}{M\left(\frac{5{,}67 \cdot \psi_{cp} \cdot F_{cm} \cdot \alpha_m \cdot T_a^3}{10^{11} \cdot \varphi \cdot B_p \cdot Vc_{cp}}\right)^{0,6} + 1} - 273,\ ^{\text{o}}\text{C} \qquad (4.48)$$

где $T_{\text{а}}$ – значение абсолютной температуры продуктов сгорания, К;

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

φ – коэффициент сохранности теплоты;

$B_{\text{р}}$ – величина расчетного расхода топлива, м^3/с;

$F_{\text{ст}}$ – площадь стен топки, м^2;

ψ_{cp} – коэффициент тепловой эффективности экрана;

$\alpha_{\text{т}}$ – величина черноты топки;

$Vc_{\text{ср}}$ –суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 м^3 топлива в интервале температур $\theta_a - \theta_m^{"}$, кДж/(кг·К);

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

С целью определения значений действительной температуры $\theta_m^{"}$, задаемся ее величиной $\theta_m^{"} = 1100\ ^oC$.

Исходя из принятой температуры газов на выходе из топки и адиабатической температуры сгорания топливной массы $T_{\text{а}}$ определяются тепловые потери.

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

Поверочный расчет топки проводится в следующем порядке.

Для предварительно принятой температуры $\theta_m^{"} = 1100\ ^oC$ определяется энтальпия продуктов сгорания на выходе топки по таблице 4.11.

$$I_m^{"} = 19953{,}1\ \text{кДж/м}^3.$$

Полезное тепловыделение топки рассчитывается с помощью выражения (4.49):

$$Q_m = Q_p^p \cdot \frac{100 - q_3}{100} + Q_в, \text{ кДж/м}^3, \quad (4.49)$$

где $Q_в$– теплота, которая вносится в топку воздухом – для котлов, не имеющих воздухоподогревателей, определяется по выражению (4.50):

$$Q_в = \alpha_m \cdot I_{хв}^o, \text{ кДж/м}^3, \quad (4.50)$$

$$Q_в = 1{,}1 \cdot 380{,}89 = 420{,}29 \text{ кДж/м}^3.$$

$$Q_m = 33640 \cdot \frac{100 - 0{,}5}{100} + 420{,}29 = 33892{,}09 \text{ кДж/м}^3$$

Адиабатная (теоретическая) температура горения $T_а$ определяется исходя из величины полезного тепловыделения в топке: $H_а = Q_т$ = 33892,09 кДж/м^3

Исходя из таблицы 4.11, при $H_а$ = 33892,09 кДж/м^3 $\Theta_а$ = 1768 °С.

$$T_a = \theta_a + 273 = 1768 + 273 = 2041 \text{ }^oK.$$

Определим параметр M, в зависимости от положения максимальной температуры пламени по высоте топки ($x_т$) при сжигании газов по формуле (4.51):

$$M = 0{,}54 - 0{,}2 \cdot x_m, \quad (4.51)$$

Где x_m определяемая по формуле (4.52):

$$x_m = \frac{H_г}{H_m}, \quad (4.52)$$

$$x_m = \frac{3{,}109}{3{,}391} = 0{,}917$$

$H_г$ – расстояние от пода топочной камеры до оси горелки, м;

$H_т$ – расстояние от пода топки до середины выходного окна топки, м;

$$M = 0{,}54 - 0{,}2 \cdot 0{,}917 = 0{,}36$$

Значение коэффициента тепловой эффективности экрана определяется по выражению (4.53):

$$\psi = x \cdot \xi, \quad (4.53)$$

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

x – коэффициент экранирования; определяется по номограмме, при S = 64мм, d = 60мм, S/d = 64/60 =1,07, тогда x = 0,98. Получим:

$$\psi = 0{,}98 \cdot 0{,}65 = 0{,}64$$

Определим эффективную толщину излучающего слоя топки (4.54):

$$S = 3{,}6 \cdot \frac{V_m}{F_{cm}}, \text{ м} \qquad (4.54)$$

где $V_т$, $F_{ст}$ – соответственно, объем и поверхность стен топочной камеры, м^3 и м^2

$$V_т = 0{,}424 \text{ м}^3, \; F_{ст} = 3{,}391 \text{ м}^2;$$

$$S = 3{,}6 \cdot \frac{0{,}424}{3{,}391} = 0{,}45 \text{ м}.$$

Величина коэффициента ослабления лучей для пламени формируется из коэффициента ослабления трехатомными газами ($k_г$) и сажистыми частицами ($k_с$). При сжигании газа данный коэффициент определяется по выражению (4.55):

$$k = k_Г \cdot r_П + k_c, (м \cdot МПа)^{-1} \qquad (4.55)$$

где $r_п$ –объемная доля трехатомных газов , $r_п$ = 0,272.

Значение коэффициента ослабления лучей трехатомными газами $k_г$ рассчитывается с помощью формулы (4.56):

$$k_Г = \left(\frac{7{,}8 + 16 r_{H_2O}}{3{,}16\sqrt{p_П \cdot S}} - 1 \right) \left(1 - 0{,}37 \cdot \frac{T_m''}{1000} \right), (м \cdot МПа)^{-1} \qquad (4.56)$$

где $p_п$– парциальное давление для трехатомного газа (4.57);

$$p_n = r_n \cdot p, \text{ МПа} \qquad (4.57)$$

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

$$p_n = 0{,}272 \cdot 0{,}1 = 0{,}027;$$

$T_m^{"}$ – величина абсолютной температуры газов на выходе топочной камеры, К.

$$T_m^{"} = \theta_m^{"} + 273 = 1100 + 273 = 1373\,\text{К}$$

$$k_Г = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,185}{3,16 \cdot \sqrt{0,027 \cdot 0,45}} - 1 \right) \left(1 - 0,37 \frac{1373}{1000} \right) = 14,24 \ \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$$

Значение коэффициента ослабления лучей из-за наличия сажистых частиц определяется по формуле (4.58):

$$\text{k}_\text{с} = 0,3(2 - \alpha_\text{т}) \left(1,6 \frac{\text{T}_\text{т}^{"}}{1000} - 0,5 \right) \frac{\text{C}^\text{р}}{\text{H}^\text{р}}, (м \cdot МПа)^{-1} \qquad (4.58)$$

Соотношение содержания углерода и водорода в общей массе топлива: для используемого газового топлива принимаем (4.59):

$$\frac{\text{C}^\text{р}}{\text{H}^\text{р}} = 0,12 \sum \frac{\text{m}}{\text{n}} \text{C}_\text{m}\text{H}_\text{n}\,, \qquad (4.59)$$

$$\frac{C_p}{H_p} = 0,12 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot 94,2 + \frac{2}{6} \cdot 2,8 + \frac{3}{8} \cdot 0,4 + \frac{4}{10} \cdot 0,1 + \frac{5}{12} \cdot 0,1 \right) = 2,97$$

$$k_c = 0,3(2 - 1,1) \left(1,6 \cdot \frac{1373}{1000} - 0,5 \right) \cdot 2,97 = 1,36 \ (м \cdot МПа)^{-1}$$

$$k = 14,24 \cdot 0,272 + 1,36 = 5,23 \ (м \cdot МПа)^{-1}$$

Значение черноты факела $a_ф$ для газообразного топлива рассчитывается, используя выражение (4.60):

$$a_ф = m \cdot a_{св} + (1 - m) \cdot a_Г \qquad (4.60)$$

где $a_{св}$ – значение черноты части факела, рассчитанное по выражению (4.61):

$$a_{св} = 1 - e^{-(k_r \cdot r_n + k_c) pS} \qquad (4.61)$$

$a_г$ – значение черноты несветящихся трехатомными газами, определяемое по выражению (4.62):

$$a_г = 1 - e^{-k_r \cdot r_n \cdot pS}; \qquad (4.62)$$

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

Определим удельную нагрузку, соответствующую топочному объему (4.63):

$$q_v = \frac{B_p \cdot Q_н^p}{V_m} \tag{4.63}$$

$$q_v = \frac{0,015 \cdot 33640}{0,424} = 1190,1 \ \frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}$$

тогда принимаем m = 0,626, используя формулы (4.60), (4.61), (4.62) получаем:

$$a_{св} = 1 - e^{-(14,24 \cdot 0,272 + 1,36) \cdot 0,1 \cdot 0,45} = 0,21$$

$$a_г = 1 - e^{-14,24 \cdot 0,272 \cdot 0,1 \cdot 0,45} = 0,16$$

$$a_ф = 0,626 \cdot 0,21 + (1 - 0,626) \cdot 0,16 = 0,19$$

Величина черноты в процессе сжигания газа определяется по формуле (4.64):

$$a_m = \frac{a_ф}{a_ф + (1 - a_ф) \cdot \psi_{ср}} \tag{4.64}$$

$$a_m = \frac{0,19}{0,19 + (1 - 0,19) \cdot 0,64} = 0,268$$

Суммарная теплоемкость продуктов сгорания на 1м^3 топлива определяется с помощью следующего выражения (4.65):

$$Vc_{ср} = \frac{Q_m - I_m''}{T_a - T_m''}, \ \text{кДж/(м}^3\text{К)} \tag{4.65}$$

$$Vc_{ср} = \frac{33892,09 - 19953,1}{2041 - 1373} = 20,87 \ кДж / м^3 К$$

Определим действительную температуру на выходе топки, ^{o}C, (4.48):

$$\theta_m'' = \frac{2041}{0,36 \cdot \left(\frac{5,67 \cdot 0,64 \cdot 3,391 \cdot 0,268 \cdot 2041^3}{10^{11} \cdot 0,99 \cdot 0,015 \cdot 20,87} \right)^{0,6} + 1} - 273 = 1097 \ ^oC$$

Расчетная температура $\theta_m^{''} = 1097\ ^oC$ на выходе топочной камеры отличается от ранее принятой не более чем на 20 °С, поэтому полученную температуру используем для дальнейшего расчета, в качестве температуры на выходе топки:

$$I_m^{''} = 19893,2\ \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

$$q_{ст} = \frac{B_p \cdot Q_m}{F_{ст}} = \frac{0,015 \cdot 33892,09}{0,424} = 1199,01\ \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}.$$

4.5.5 Расчет дымогарных труб

Расчет уравнения баланса тепла определяется по формуле (4.66):

$$Q_б = \varphi \cdot (I' - I''), \tag{4.66}$$

где I'=19893,2 кДж/м^3 – теплосодержание дымовых газов на входе в дымогарны0е трубы;

I''=3172,3 кДж/м^3 – теплосодержание дымовых газов на выходе из дымогарных труб;

$$Q_б = 0,99 \cdot (19893,2 - 3172,3) = 16553,7\ \text{кДж/ м}^3.$$

Уравнение теплопередачи будет иметь вид (4.67):

$$Q_m = \frac{k \cdot \Delta t \cdot H}{B \cdot 10^3}, \tag{4.67}$$

где H = 16,579 м^2 – поверхность нагрева дымогарных труб.

Температурный напор Δt определяется по формуле (4.68):

$$\Delta t = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln \frac{\Delta t_б}{\Delta t_м}}\ , \tag{4.68}$$

где $\Delta t_б = \theta' - t_1 = 1097 - 90 = 1007\ ^oC;$

$\Delta t_м = \theta'' - t_2 = 195 - 67,2 = 127,8\ ^oC;$

$$\Delta t = \frac{1007 - 127,8}{\ln \frac{1007}{127,8}} = 425,9\ ^oC.$$

Коэффициент теплопередачи определяется по формуле (4.69):

$$k = \psi(\alpha_к + \alpha_л) \tag{4.69}$$

где ψ – коэффициент тепловой эффективности, принимаем ψ =0,8;

Расчетная температура (4.70):

$$\theta = \theta_{ср} + \Delta t, \tag{4.70}$$

$$\theta = \frac{1097 + 195}{2} + 425,9 = 1071,9\,°C.$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией $\alpha_к$, Вт/(м^2·К) определим по формуле (4.71):

$$\alpha_к = 0,023\frac{\lambda}{d}\left(\frac{\omega \cdot d}{\nu}\right)^{0,8} \mathrm{Pr}^{0,4}, \tag{4.71}$$

здесь значения Pr, λ, ν принимаются при температуре θ, Pr=0,558, λ=0,127 Вт/(м·К); ν=0,0002133 м^2/с.

Скорость газов в дымогарных трубах определяется по формуле (4.72):

$$\omega = \frac{B \cdot V_г \cdot (\theta + 273)}{F \cdot 273}, \tag{4.72}$$

Живое сечение дымогарных труб F определяется по формуле (4.73):

$$F = \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4}\right) \cdot n, \tag{4.73}$$

где n = 57 – число дымогарных труб;

d – диаметр дымогарных труб.

$$F = \left(\frac{3,14 \cdot 0,063^2}{4}\right) \cdot 57 = 0,158\,\text{м}^2.$$

$$\omega = \frac{0,015 \cdot 11,76 \cdot (1071,9 + 273)}{0,158 \cdot 273} = 5,5\,\text{м/с}.$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией:

$$\alpha_к = 0,023 \cdot \frac{0,127}{0,063} \cdot \left(\frac{5,5 \cdot 0,063}{0,002133} \right)^{0,8} \cdot 0,558^{0,4} = 12,75 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Степень черноты определим по формуле (4.74):

$$\alpha = 1 - e^{-kps} \tag{4.74}$$

где p=0,1 МПа – давление газов в дымогарных трубах;

Эффективная толщина излучающего слоя определим по формуле (4.75):

$$S = 0,9 \cdot d \tag{4.75}$$

$$S = 0,9 \cdot 0,063 = 0,057 \text{ м}.$$

Степень черноты газов определяется по формуле (4.62):

$$a_г = 1 - e^{-14,24 \cdot 0,1 \cdot 0,057} = 0,078.$$

Для незапыленного потока (4.76):

$$\alpha_л = \alpha_н \cdot \alpha \cdot C_г \tag{4.76}$$

По графику [44], определяем $\alpha_н$ при температуре загрязненной наружной стенки $t_з$ и температуре газов θ, $\alpha_н$=165 Вт/(м^2·К).

$$\alpha_л = 165 \cdot 0,078 \cdot 1 = 12,84 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

$$k = 0,8 \cdot (12,75 + 12,84) = 20,47 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

По формуле (4.67) определим $Q_т$:

$$Q_т = \frac{20,47 \cdot 425,9 \cdot 28,73}{0,015 \cdot 10^3} = 16698,2 \text{ кДж/м}^3.$$

Вычислим погрешность (4.77):

$$\Delta Q = \frac{Q_б - Q_т}{Q_б} \cdot 100, \tag{4.77}$$

$$\Delta Q = \frac{16553,7 - 16698,2}{16553,7} \cdot 100 = 0,87\%.$$

Полученная погрешность удовлетворяет допустимой (2%), значит расчет произведен верно.

4.5.6 Проверка теплового баланса

Расчёты считается верными, если выполняется нижеприведенное условие (4.78):

$$\frac{\Delta Q \cdot 100}{Q_р \cdot \eta_{бр}} \le 0{,}5\% \qquad (4.78)$$

Отсюда невязка теплового баланса определяется по формуле (4.79):

$$\Delta Q = B_р \cdot [Q_р^р \cdot \eta - (Q_л + Q_т)], \qquad (4.79)$$

Где $Q_л$ определяется следующим образом (4.80):

$$Q_л = \varphi \cdot (Q_р^р - I_т^{''}) \qquad (4.80)$$

$$Q_л = 0{,}99 \cdot (33640 - 19893{,}2) = 13609{,}3 \text{ кДж/м}^3.$$

$$\Delta Q = 0{,}015 \cdot [33640 \cdot 0{,}89 - (13609{,}3 + 16698{,}2)] = 5{,}52 \text{ кДж/м}^3$$

$$\frac{\Delta Q \cdot 100}{Q_р \cdot \eta_{бр}} = \frac{5{,}52 \cdot 100}{33640 \cdot 0{,}89} = 0{,}02\% \le 0{,}5\%$$

Условия теплового баланса соблюдены.

В данном разделе выпускной квалификационной работы были произведены все необходимые теплотехнические расчеты. Для определения мощности крышной котельной были вычислены тепловые нагрузки на отопление, вентиляцию и водоснабжения здания бизнес-центра, они составили 772,37 кВт. Был рассчитан годовой отпуск теплоты; определены температуры и расходы сетевой воды, построены соответствующие графики.

Расчет тепловой схемы крышной котельной с определением всех тепловых и массовых потоков, а также расходов тепла на собственные нужды был выполнен для пяти температурных режимов: максимально зимнего, при температуре наиболее холодного месяца $t_{НХМ}$, при температуре излома температурного графика $t_{НИ}$, при температуре начала отопительного периода t=+8 ˚С и летнего режимов. По результатам этого расчета выбраны типы и производительность котельных агрегатов – два низкотемпературных водогрейных котла, работающих на газообраз-

ном топливе Vitoplex 200, мощностью 440 кВт каждый, и атмосферный низкотемпературный газовый водогрейный котел Vitogas 100-F мощностью 84 кВт, который самостоятельно будет покрывать тепловые нагрузки на нужды горячего водоснабжения в летний период. Фирма-производитель рассматриваемых котлов – компания Viessmann. Приведены технические характеристики и выполнен тепловой расчет водогрейного котла Vitoplex 200.

5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

В последнее десятилетие вопрос энергоэффективности и рационального использования энергетических ресурсов стал вставать очень остро. Запасы возобновляемых источников энергии с каждым годом уменьшается, поэтому, озаботившись этой проблемой, государство принимает всевозможные меры в сфере энергосбережения. Федеральный закон №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [1] постоянно претерпевает изменения и новые редакции.

Поэтому рассмотрим меры по энергосбережению в рассматриваемой крышной котельной для здания бизнес-центра по ул. Красноармейской в г. Челябинске.

5.1 Основные мероприятия по энергосбережению в котельных

Основные мероприятия по энергосбережению в котельных полностью совпадают с мероприятиями по энергосбережению в теплогенерирующих установках и включают в себя:

– увеличение КПД котельных установок;

– экономию топлива;

– снижение потерь теплоты;

– качественную подготовку воды для подпитки котельных агрегатов;

– 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.

При разработке котельных следует производить сравнение технико-экономических показателей, вариантов выбора основного и вспомогательного оборудования, степени автоматизации, компоновочных и схемных решений. Сравнение технико-экономических показателей следует производить по приведенным затратам: экономически целесообразным признается вариант с наименьшими приведенными затратами, а при равных приведенных затратах предпочтение отдается варианту с наименьшими, капитальными вложениями (или сметной стоимостью).

При выполнении расчетов определяют себестоимость тепловой энергии, отпущенной потребителям, которая отражает техническую вооруженность котельной, степень механизации и автоматизации процессов, расходование материальных ресурсов. Для расчета себестоимости вычисляют годовые эксплуатационные расходы, которые включают следующие статьи: топливо, электроэнергию, воду, амортизацию, текущий ремонт, заработную плату персонала и прочие (на охрану труда, технику безопасности, пожарную и сторожевую охрану, приобретение спецодежды, реактивов для химической очистки воды) [52].

Эти расчеты приведены в экономико-управленческом разделе ВКР.

Существуют методики расчета тепловых схем котельных позволяющие, задаваясь определенными параметрами, получать параметры различного уровня: требуемую или необходимую температуру любого теплоносителя, расход теплоносителя, расход топлива и тем самым выбрать наиболее экономичный и энергосберегающий вариант работы котельной. Данные методики обладают новизной и оригинальностью и поэтому являются перспективными для использования в информационно-измерительных системах, компьютерных технологиях и программах.

При выполнении развернутых тепловых схем котельных с водогрейными котлами применяют общестанционную или агрегатную схему компоновки оборудования. Общестанционная схема характеризуется присоединением сетевых и рециркуляционных насосов, при котором вода из обратной линии тепловых сетей может поступать к любому из сетевых насосов, подключенных к магистральному трубопроводу, питающему водой все котлы котельной. Рециркуляционные насосы подают горячую воду из общей линии за котлами в общую линию, питающую водой все водогрейные котлы.

При агрегатной схеме компоновки оборудования котельной для каждого котла устанавливаются сетевые и рециркуляционные насосы. Вода из обратной магистрали поступает параллельно ко всем сетевым насосам, а нагнетательный трубопровод каждого насоса подключен только к одному из водогрейных котлов. К рециркуляционному насосу горячая вода поступает из трубопровода за каждым котлом до включения его в общую подающую магистраль и направляется в питательную линию того же котло - агрегата. Также предусматривается установка одного резервного сетевого насоса для всех водогрейных котлов.

Выбор общестанционного или агрегатного способа компоновки оборудования котельных с водогрейными котлами определяется, исходя из эксплуатационных соображений, а именно, учета и регулирования расхода и параметров теплоносителя, протяженности в пределах котельной магистральных трубопроводов, ввода в эксплуатацию каждого котельного агрегата и т. д [57].

5.2 Меры по энергосбережению, применяемые в крышной котельной

Применение крышных котельных, само по себе, является более энергоэффективным решением по производству тепловой энергии. Такие котельные являются достойным вариантом децентрализованного (автономного) теплоснабжения, обеспечивая бесперебойную подачу тепловой энергии на нужды отопления и горячего водоснабжения. Это альтернативное решение проблемы теплоснабжение в местах, где подача централизованных источников ограничена или нецелесообразна.

Обеспечение тепловой энергией зданий от крышных котельных предполагает использование безопасных и экологичных водогрейных котлов. По сравнению с централизованным теплоснабжением, использование крышных котельных имеет ряд преимуществ:

– значительное повышение энергоэффективности ввиду отсутствия теплотрасс, в которых потери от производимого количества тепла часто превышают 30 % от производимого количества тепла;

– за счет полной автоматизации технологического процесса крышных котельных достигается точное поддержание температуры воды, подаваемой в систему и экономный расход горячей воды (с минимальными потерями по сети);

– котельные на крышах зданий разумно и выгодно использовать в мегаполисах больших городов, где плотность застройки и высокая цена на землю делают возведение наземных котельных экономично нецелесообразными, а иногда объективно невозможными;

– строительство автономных котельных установок на кровлях зданий выгодно и в экологическом аспекте, так как уменьшает загрязнение нижних слоев атмосферы, позволяя продуктам сгорания рассеиваться высоко над землей;

– снижение затрат на сооружение котельной, так как снимаются вопросы дополнительного землеотвода и строительства отдельно стоящего здания котельной и установки высокой дымовой трубы;

– использование облегченной конструкции котельного оборудования возможно ввиду более благоприятных гидравлических условий работы оборудования, что связано с отсутствием статического давления, определяемого высотой водяного столба (высотой здания) по сравнению с наземным расположением котельной;

– крышные котельные позволяют обеспечить комфортные условия для людей за счет поддержания необходимого температурного режима для отопления данного конкретного здания [49].

Расчеты показали, что 1 Гкал тепла, который производят крышные котельные, почти в полтора раза ниже стоимости тепла, вырабатываемого централизованными системами теплоснабжения.

Автоматизация крышных котельных может исключить присутствие дежурного оператора в помещении котельной.

Отличительная черта крышных котельных — их интеграция в строительные конструкции отапливаемого здания. Первостепенным критерием качества теплоснабжения за счет крышных котельных является отсутствие температурного дискомфорта в помещении и постоянное наличие горячей воды в требуемом объеме, желательно с определенной температурой.

Система автоматики котельной отслеживает соответствие параметров теплоносителя в системах отопления и горячего водоснабжения задаваемым уставкам, контролирует параметры безопасной работы основного и вспомогательного оборудования и осуществляет непрерывный обмен данными с объединенной диспетчерской, которая оборудована в помещении диспетчерской службы.

Автоматическое регулирование количества тепла, расходуемого на отопление, предусматривает коррекцию температуры сетевой воды в зависимости от температуры наружного воздуха. Однако тепловые потери каждого здания зависят от многих факторов: от конструкции ограждений и вида используемых строительных материалов, от расположения здания относительно розы ветров, от ориента-

ции относительно воздействия солнечной радиации.

При отоплении зданий от крышных котельных появляется возможность учесть эти особенности каждого строения путем подбора индивидуального графика по температуре воды, подаваемой в отопительную сеть. На практике такая коррекция таблиц температурных уставок проводится на основе замеров температур в квар-помещениях верхнего и нижнего этажей.

Это внесло дополнительный вклад в повышение энергоэффективности крышных котельных. Что касается точности поддержания температуры воды относительно уставок, то и по сети отопления и по расходуемой горячей воде, она не выходит за пределы ±2°С. Выбором режима работы сетевого насоса решается задача выравнивания температурных режимов помещений нижнего и верхнего этажей [50].

Погодозависимая чувствительность, применяемая в крышных котельных в схемах управления отоплением является ярким примером энергоэффективного использования топливных ресурсов.

Одним из направлений энергосбережения является применение пенополиуретановой изоляции «Энергофлекс» [52].

Материал «Энергофлекс» -это теплоизоляция на основе вспененного полиэтилена с закрытой ячеистой структурой, предназначен для изоляции систем отопления, горячего и холодного водоснабжения, санитарных систем и систем кондиционирования воздуха, системы вентиляции, а также ограждающих конструкций.

Основные задачи технической изоляции, которые прекрасно решает материал «Энергофлекс»:

– сохранение энергии. Низкий коэффициент теплопроводности изоляции «Энергофлекс» позволяет использовать тепловую энергию по назначению;

– защита от нагревания. Теплоизоляция «Энергофлекс» сохраняет носитель внутри труб от нагревания;

– защита от замерзания. В случае аварии в зимнее время на трубопроводе теплоизоляция «Энергофлекс» сохранит систему от замораживания на срок, достаточный для того, чтобы провести необходимые ремонтные работы;

– защита от выпадения конденсата. Теплоизоляция «Энергофлекс» защищает трубопровод от конденсата, и как следствие, от коррозии оборудования и порчи строительных конструкций;

– защита труб от коррозии. Теплоизоляция на основе вспененного полиэтилена «Энергофлекс» устойчива к воздействию бетонно-цементных смесей (материалы с агрессивной щелочной средой), поэтому она надежно защищает трубы от коррозии;

– шумопоглощение. Теплоизоляционные материалы «Энергофлекс» обладают способностью снижать структурные шумы. Это полезное свойство часто помогает достичь акустического комфорта вблизи жилых домов.

Эффективность топливоиспользования в котельной повышается при внедрении в эксплуатацию средств технической диагностики состояния отдельных узлов котлоагрегатов, при оптимизации топочных режимов, режимов работы основного и вспомогательного оборудования, а также путем использования метрологическо-

го обеспечения средств измерений технологических параметров.

Основной резерв повышения экономичности котлов – в снижении потерь теплоты с уходящими газами. Направления работ по сокращению этих потерь общеизвестны и заключаются, главным образом, в поддержании оптимальных значений коэффициента избытка воздуха по газовому тракту котлов за счет своевременной очистки внутренних и наружных поверхностей нагрева от загрязнений [30].

Одним из основных потребителей электроэнергии в системах отопления являются насосы. Чем больше электроэнергии тратится на привод насосов, тем выше себестоимость воды, и тем больше приходится платить потребителю воды. Количество электроэнергии, затрачиваемой на подачу одного кубометра воды, зависит от напора, создаваемого насосом, и от коэффициента полезного действия насоса.

Применение в котельной для бизнес-центра насосного оборудования датского концерна «Grundfos» имеет ряд преимуществ, позволяющих добиться энергоэффективности:

– возможность регулирования мощности и создания нужного давления в системе;

– надежность, достигаемая за счет мокрого ротора, стартера, тщательно защищенного от влаги. При этом в насосах отсутствуют уплотнители, что позволяет избежать необходимости частого технического обслуживания;

– наличие моделей с разными узлами подсоединения, что позволят подобрать оптимальный вариант для каждой конкретной системы;

– слаженная работа всех составляющих устройства. Любой насос – цельный технический агрегат, оснащенный электродвигателем, блоком управления, насосной установкой, где все детали четко подогнаны;

– наличие приспособления, способного выводить наружу скопления лишнего воздуха, что предотвращает вероятность возникновения воздушных пробок [60].

Таким образом, по результатам данного раздела можно сделать вывод что крышная котельная является энергоэффективным источником теплоснабжения, за счет отсутствия тепловых сетей, погодозависимого регулирования и полной автоматизации, благодаря которой котельная работает без обслуживающего персонала. В крышной котельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской в г. Челябинске реализуются такие энергосберегающие мероприятия, как использование современного теплоизоляционного материала «Энергофлекс», снижение потерь теплоты с уходящими газами за счет своевременной очистки внутренних и наружных поверхностей нагрева от загрязнений, применение проверенного и качественного насосного оборудования «Grundfoss».

6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

Защита воздушного бассейна от выбросов энергетических объектов является одной из важнейших проблем современного производства. Загрязнение воздушной среды может вызвать нарушения экологических систем, ухудшить санитарно-гигиеническое состояние атмосферного воздуха и нанести ущерб экономике.

Выбросы в атмосферу при сжигании ископаемого топлива зависят не только от вида топлива, но от того, насколько эффективно оно используется. Газообразное топливо обычно сжигается легче и эффективнее, чем уголь или нефть. Утилизация сбросной теплоты от отходящих газов в случае природного газа осуществляется также проще, так как топочный газ не загрязнен твердыми частицами или агрессивными соединениями серы. Благодаря химическому составу, простоте и эффективности использования природный газ может внести существенный вклад в снижение выбросов диоксида углерода путем замены им ископаемых видов топлив.

В разрабатываемой в выпускной квалификационной работе крышной котельной для бизнес-центра по улице Красноармейской города Челябинска предлагается установить котельные агрегаты, работающие на природном газе. Резервного топлива не предусматривается, поэтому в топочной камере образуется в основном окись азота NO (более 95%).

Образование окислов азота в топках происходит главным образом в результате окисления азота воздуха при высоких температурах, а также при разложении и окислении азотосодержащих соединении, входящих в состав топлива. В дымовых газах котлоагрегатов окислы азота обычно состоят на 95…99% из окиси азота NO и лишь на 1…5% из двуокиси азота NO_2.

Методы подавления образования окислов азота в топках котлов:

– снижение избытка воздуха;

– рециркуляция дымовых газов;

– двухстадийное (двухступенчатое) сжигание;

– снижение подогрева воздуха;

– организация факельного процесса горения;

– подача воды и пара в зону горения [40].

Определим в данном разделе максимальную приземистую концентрацию выбросов из дымовой трубы, рассчитаем количество выбросов оксидов азота, и произведем конструктивный расчет дымовой трубы, чтобы определить ее конструктивные размеры – диаметр и высоту, необходимые для рассеивания вредных выбросов.

6.1 Определение объемов продуктов сгорания топлива

При разработке крышной котельной для здания бизнес-центра предлагается установить два водогрейных котла Vitoplex 200, мощностью 440 кВт каждый, и атмосферный низкотемпературный газовый водогрейный котел Vitogas 100-F

мощностью 84 кВт, для покрытия тепловых нагрузок на нужды ГВС в летний период.

Крышная котельная будет работать круглый год. В течение отопительного периода она покрывает тепловые нагрузки на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения здания бизнес-центра, а в летний период обеспечивает потребителей только горячей водой.

Основным топливом является природный газ с теплотворной способностью $Q_н^р$ = 8028 ккал/м^3 = 33,64 МДж/м^3.

Расчетный состав топлива:

$CH_4 = 94,2\%$;

$C_2H_6 = 2,8\%$;

$C_3H_8 = 0,4\%$;

$C_4H_{10} = 0,1\%$;

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

$N_2 = 2,0\%$;

$CO_2 = 0,4\%$.

Теоретически необходимый объем воздуха при $\alpha = 1\,м^3/м^3$ для газообразного топлива определим по формуле (6.1):

$$V^0 = 0,0476 \cdot \left[0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + 1,5 \cdot H_2S + \sum\left(m + 0,25 \cdot n\right) \cdot C_m H_n - O_2\right], \quad (6.1)$$

где *m*, *n* – числа атомов углерода и водорода в химической формуле углеводородов, входящих в состав топлива.

$$V^0 = 0,0476 \cdot [(1 + 0,25 \cdot 4) \cdot 94,2 + (2 + 0,25 \cdot 6) \cdot 2,8 + (3 + 0,25 \cdot 8) \cdot 0,4 +$$
$$+(4 + 0,25 \cdot 10) \cdot 0,1 + (5 + 0,25 \cdot 12) \cdot 0,1] = 9,6\,м^3/м^3$$

Теоретический объем продуктов сгорания при $\alpha = 1\,м^3/м^3$:

– объем трехатомных газов (6.2):

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot \left[CO_2 + CO + \sum m \cdot C_m H_n\right] \quad (6.2)$$

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot \left[0,4 + 1 \cdot 94,2 + 2 \cdot 2,8 + 3 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1\right] = 1,023\,м^3/м^3$$

– объем двухатомных газов (6.3):

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,01 \cdot N_2 \quad (6.3)$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 9,6 + 0,01 \cdot 2,0 = 7,604 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

– объем водяных паров (6.4):

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot \left[H_2S + H_2 + \sum 0,5 \cdot n \cdot C_m H_n + 0,124 \cdot d_{г.тл.} \right] + 0,0161 \cdot V^0, \quad (6.4)$$

где $d_{г.тл.}$ – влагосодержание топлива, отнесенное к 1 м^3 сухого газа, при $t_{г.тл}$ = 10 ^{0}C $d_{г.тл.}$ можно принять равным 10 г/м^3.

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot [0,5 \cdot 4 \cdot 94,2 + 0,5 \cdot 6 \cdot 2,8 + 0,5 \cdot 8 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot 10 \cdot 0,1 +$$
$$+0,5 \cdot 12 \cdot 0,1 + 0,124 \cdot 10] + 0,0161 \cdot 9,6 = 2,16 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Конструкция котла выполнена в газоплотном исполнении, то есть присосов воздуха нет, коэффициент избытка воздуха в поверхностях нагрева примем α = 1,05 = const.

Объем дымовых газов при нормальных условиях определим по формуле (6.5):

$$V_г = V_{RO_2}^0 + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 + (\alpha - 1) \cdot V^0, \quad (6.5)$$

$$V_г = 1,023 + 7,604 + 2,16 + (1,05 - 1) \cdot 9,6 = 11,267 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Объем продуктов сгорания, образующихся при сжигании топлива при нормальных условиях (6.6):

$$V_{ну} = \frac{P_{ну} \cdot V_г \cdot T}{P \cdot T_{ну}}, \quad (6.6)$$

где $t_{ух}^1 = 195 \,°C = 468 \,K$ – температура уходящих газов котла Vitoplex 200;

$t_{ух}^2 = 116 \,°C = 389 \,K$ – температура уходящих газов котла Vitogas 100-F;

$$V_{ну}^1 = \frac{101090 \cdot 11,267 \cdot 468}{97000 \cdot 273} = 20,13 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$V_{ну}^2 = \frac{101090 \cdot 11,267 \cdot 389}{97000 \cdot 273} = 16,73 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

6.2 Расчет максимальной приземной концентрации выбросов из дымовой трубы

Максимальная приземистая концентрация выбросов из дымовой трубы будет наблюдаться в период максимальной нагрузки котлов, т е в зимний период при температуре -34˚С. Значит, расчеты будем вести для этого температурного режима.

Для крышной котельной целесообразнее будет установить три дымовых трубы по одной для каждого котельного агрегата, поэтому при выполнении расчета в этом разделе, все величины будем определять для котла Vitoplex 200 с коэффициентом 1, а для котла Vitogas 100-F с коэффициентом 2.

Расход топлива на котлы определим по формуле (6.7):

$$B_p = \frac{Q}{Q_н^p \cdot \eta}, \tag{6.7}$$

где Q_1 =440 кВт = 0,44 МВт – мощность котла Vitoplex 200;

$\eta_1 = 89\,\%$ – КПД котла Vitoplex 200;

Q_2 = 84 кВт = 0,084 МВт – мощность котла Vitogas 100-F;

$\eta_2 = 83\,\%$ – КПД котла Vitogas 100-F;

$$B_p^1 = \frac{0,44}{33,64 \cdot 0,89} = 0,015\ м^3/с;$$

$$B_p^2 = \frac{0,084}{33,64 \cdot 0,83} = 0,003\ м^3/с.$$

Объем продуктов сгорания, образующихся при работе котлов (6.8):

$$V = V_{ну} \cdot B_p \tag{6.8}$$

$$V_1 = 20,13 \cdot 0,015 = 0,3\ м^3/с;$$

$$V_2 = 16,73 \cdot 0,003 = 0,05\ м^3/с;$$

6.3 Расчет выброса оксидов азота

В топочной камере образуется в основном окись азота NO (более 95%). Образование двуокиси азота NO_2 за счет окисления NO происходит при низких температурах и требует значительного времени. Выброс окислов азота, г/с, рассчитывается по NO_2.

Расчет выбросов оксидов азота ведется согласно методике определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 20 Гкал/час [38] для зимнего периода.

Суммарное количество оксидов азота, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами рассчитывается по формуле (6.9):

$$M_{NO_2} = B_P \cdot Q_н^p \cdot K_{NO_2}^г \cdot \beta_K \cdot \beta_t \cdot \beta_\alpha \cdot (1-\beta_Г) \cdot (1-\beta_\delta) \cdot k_П, \quad (6.9)$$

где $K_{NO_2}^г$ - удельный выброс оксидов азота при сжигании газа, г/МДж, для водогрейных котлов (6.10):

$$K_{NO_2}^г = 0,0113 \cdot \sqrt{Q_T} + 0,03, \quad (6.10)$$

где Q_T – фактическая тепловая мощность котла по введенному в топку теплу, МВт, определяемая по формуле (6.11):

$$Q_T = B_p \cdot Q_н^p, \quad (6.11)$$

$$Q_т^1 = 0,015 \cdot 33,64 = 0,5 \text{ МДж/с};$$

$$Q_т^2 = 0,003 \cdot 33,64 = 0,1 \text{ МДж/с};$$

$$K_{NO_2}^{г\,1} = 0,0113 \cdot \sqrt{0,98} + 0,03 = 0,04 \text{ г/МДж};$$

$$K_{NO_2}^{г\,2} = 0,0113 \cdot \sqrt{0,1} + 0,03 = 0,03 \text{ г/МДж};$$

$\beta_K = 1$ – безразмерный коэффициент, учитывающий принципиальную конструкцию горелки.

β_t - безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения (6.12):

$$\beta_t = 1 + 0,002 \cdot (t_{гв} - 30), \quad (6.12)$$

$t_{г.в.}$ – температура горячего воздуха, ºС.

$$\beta_t = 1 + 0,002 \cdot (1000 - 30) = 2,94.$$

$\beta_\alpha = 1$ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха

на образование оксидов азота.

$\beta_Г$ - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов через горелки на образование оксидов азота (6.13).

$$\beta_Г = 0{,}16 \cdot \sqrt{r}, \tag{6.13}$$

где r – степень рециркуляции дымовых газов.

$$\beta_Г = 0{,}16 \cdot \sqrt{1} = 0{,}16.$$

$\beta_\delta = 0{,}01$ – безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру.

$k_П$ – коэффициент пересчета, при определении выбросов в граммах в секунду $k_П = 1$.

$$M^1_{NO_2} = 0{,}015 \cdot 33{,}64 \cdot 0{,}04 \cdot 1 \cdot 2{,}94 \cdot 1 \cdot (1 - 0{,}16) \cdot (1 - 0{,}01) \cdot 1 = 0{,}049 \text{ г/с};$$

$$M^2_{NO_2} = 0{,}003 \cdot 33{,}64 \cdot 0{,}03 \cdot 1 \cdot 2{,}94 \cdot 1 \cdot (1 - 0{,}16) \cdot (1 - 0{,}01) \cdot 1 = 0{,}007 \text{ г/с};$$

$$ПДК = 0{,}085 \text{ мг/м}^3.$$

6.4 Расчет минимальной высоты дымовой трубы

Даже после очистки в дымовых газах остаются вредные вещества, особенно газообразные, количество которых может значительно превосходить предельно допустимую концентрацию (ПДК) этих веществ в атмосфере. Основным методом снижения концентрации выбросов на уровне земли является рассеивание их через высокие дымовые трубы. При истечении в атмосферу дымовые газы состоят из продуктов реакции горения топлива. Происходит изменение их состава. Образуются новые соединения.

Расчет рассеивания выбросов ведется в соответствии с СН-369-74, согласно которым минимальная высота трубы определяется из условия, что максимальная концентрация вредного вещества в приземном слое $С_м$ не превосходит максимально разовую ПДК этого вещества в атмосферном воздухе (6.14).

$$С_м \leq ПДК \tag{6.14}$$

В соответствии с этим уравнением минимально допустимая высота трубы Н, м, при которой обеспечивается значение $С_м$, равное ПДК, при наличии Z труб одинаковой высоты и выброса при температуре выбрасываемых газов большей

температуры атмосферного воздуха (ΔТ > 0), может быть рассчитана по формуле (6.15):

$$H = \sqrt{AFnm\eta \frac{M}{ПДК} \sqrt[3]{\frac{Z}{V_1 \Delta T}}} \qquad (6.15)$$

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

ΔT – разность температур выбрасываемых газов и атмосферного воздуха;

V_1 – полный расход дымовых газов на срезе (устье) трубы, м^3/с;

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

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

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

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

Задаемся скоростью газа на выходе из дымовой трубы при естественной тяге:

$$w_г = 4 \text{ м/с}.$$

Диаметр дымовой трубы определим по формуле (6.16):

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w_г}}, \qquad (6.16)$$

$$D_0^1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,3}{3,14 \cdot 4}} = 0,3 \text{ м};$$

$$D_0^2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,05}{3,14 \cdot 4}} = 0,13 \text{ м};$$

Принимаем диаметры устьев дымовых труб из стандартного ряда стальных труб $D_0^1 = 0,3$ м для котла Vitoplex 200 и $D_0^2 = 0,15$ м для котла Vitogas 100-F. Тогда скорость газа будет определяться по формуле (6.17):

$$w_г = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_0^2} \qquad (6.17)$$

$$w_г^1 = \frac{4 \cdot 0,3}{3,14 \cdot 0,3^2} = 4,24 \text{ м};$$

$$w_г^2 = \frac{4 \cdot 0,05}{3,14 \cdot 0,15^2} = 2,83 \text{ м};$$

Задаемся высотой дымовых труб h = 5 м и находим значение коэффициента m по формуле (6.18):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \tag{6.18}$$

где коэффициент f определяется по формуле (6.19):

$$f = \frac{10^3 w_г^2 D_o}{h_1^2 \Delta T}, \tag{6.19}$$

где $\Delta T_1 = 195 + 273 - (-34 + 273) = 229$ К;

$\Delta T_2 = 116 + 273 - (-34 + 273) = 150$ К

$$f_1 = \frac{10^3 \cdot 4,24^2 \cdot 0,3}{5^2 \cdot 229} = 0,94;$$

$$f_2 = \frac{10^3 \cdot 2,83^2 \cdot 0,15}{5^2 \cdot 150} = 0,32;$$

$$m_1 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,94} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,94}} = 0,91;$$

$$m_2 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,32} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,32}} = 1,04;$$

Безразмерный коэффициент n определяется в зависимости от параметра $v_м$ (6.20):

$$\left.\begin{array}{l} \text{при } v_м \le 0,3 \; n = 3; \\ \text{при } 0,3 \le v_м \le 2 \; n = 3 - \sqrt{(v_м - 0,3)(4,36 - v_м)}; \\ \text{при } v_м > 2 \; n = 1. \end{array}\right\} \tag{6.20}$$

Параметр определяется по формуле (6.21):

$$v_м = 0,65 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T / h_1} \qquad (6.21)$$

$$v_м^1 = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,3 \cdot 229}{5}} = 1,56 \; м / с;$$

$$v_м^2 = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,05 \cdot 150}{5}} = 0,74 \; м / с.$$

Т.к. $0,3 \le v_м \le 2$, то:

$$n_1 = 3 - \sqrt{(1,56 - 0,3) \cdot (4,36 - 1,56)} = 1,12;$$

$$n_2 = 3 - \sqrt{(0,74 - 0,3) \cdot (4,36 - 0,74)} = 1,73;$$

Расчетная высота дымовых труб определяется по формуле (6.15):

$$H_1 = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1,12 \cdot 0,91 \cdot 1 \cdot \frac{0,049}{0,085} \sqrt[3]{\frac{1}{0,3 \cdot 229}}} = 4,79 \text{ м};$$

$$H_2 = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1,73 \cdot 1,04 \cdot 1 \cdot \frac{0,007}{0,085} \sqrt[3]{\frac{1}{0,05 \cdot 150}}} = 3,49 \text{ м};$$

Задаемся высотой дымовых труб h = 8 м и находим значение коэффициента m по формуле (6.18):

$$f_1 = \frac{10^3 \cdot 4,24^2 \cdot 0,3}{8^2 \cdot 229} = 0,37;$$

$$f_2 = \frac{10^3 \cdot 2,83^2 \cdot 0,15}{8^2 \cdot 150} = 0,13;$$

$$m_1 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,37} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,37}} = 1,02;$$

$$m_2 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,13} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,13}} = 1,14;$$

$$v_{м}^{1} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,3 \cdot 229}{8}} = 1,33 \; м / с;$$

$$v_{м}^{2} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,05 \cdot 150}{8}} = 0,64 \; м / с.$$

Т.к. $0,3 \le v_{м} \le 2$, то:

$$n_1 = 3 - \sqrt{(1,33 - 0,3) \cdot (4,36 - 1,33)} = 1,23;$$

$$n_2 = 3 - \sqrt{(0,64 - 0,3) \cdot (4,36 - 0,64)} = 1,88;$$

Расчетная высота дымовых труб определяется по формуле (6.15):

$$H_1 = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1,23 \cdot 1,02 \cdot 1 \cdot \frac{0,049}{0,085} \sqrt[3]{\frac{1}{0,3 \cdot 229}}} = 5,34 \text{ м};$$

$$H_2 = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1,88 \cdot 1,14 \cdot 1 \cdot \frac{0,007}{0,085} \sqrt[3]{\frac{1}{0,05 \cdot 150}}} = 3,8 \text{ м};$$

Задаемся высотой дымовых труб h = 3 м и находим значение коэффициента m по формуле (6.18):

$$f_1 = \frac{10^3 \cdot 4,24^2 \cdot 0,3}{3^2 \cdot 229} = 2,62;$$

$$f_2 = \frac{10^3 \cdot 2,83^2 \cdot 0,15}{3^2 \cdot 150} = 0,89;$$

$$m_1 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{2,62} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{2,62}} = 0,77;$$

$$m_2 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,89} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,89}} = 0,92;$$

$$v_{м}^{1} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,3 \cdot 229}{3}} = 1,85 \; м / с;$$

$$v_м^2 = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,05 \cdot 150}{3}} = 0,88 \; м/с.$$

Т.к. $0,3 \le v_м \le 2$, то:

$$n_1 = 3 - \sqrt{(1,85 - 0,3) \cdot (4,36 - 1,85)} = 1,03;$$

$$n_2 = 3 - \sqrt{(0,88 - 0,3) \cdot (4,36 - 0,88)} = 1,58;$$

Расчетная высота дымовых труб определяется по формуле (6.15):

$$H_1 = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1,03 \cdot 0,77 \cdot 1 \cdot \frac{0,049}{0,085} \sqrt[3]{\frac{1}{0,3 \cdot 229}}} = 4,22 \text{ м};$$

$$H_2 = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1,58 \cdot 0,92 \cdot 1 \cdot \frac{0,007}{0,085} \sqrt[3]{\frac{1}{0,05 \cdot 150}}} = 3,1 \text{ м};$$

Найденные значения высот трубы откладываются на графике h=f(H), представленном на рисунке 6.1, где h – заданная высота дымовой трубы, H – расчетная высота дымовой трубы с одинаковой ценой деления по осям координат. Точки соединяют плавной кривой, затем проводят биссектрису координатного угла. Точка пересечения кривой и биссектрисы дает искомую минимальную высоту дымовой трубы H.

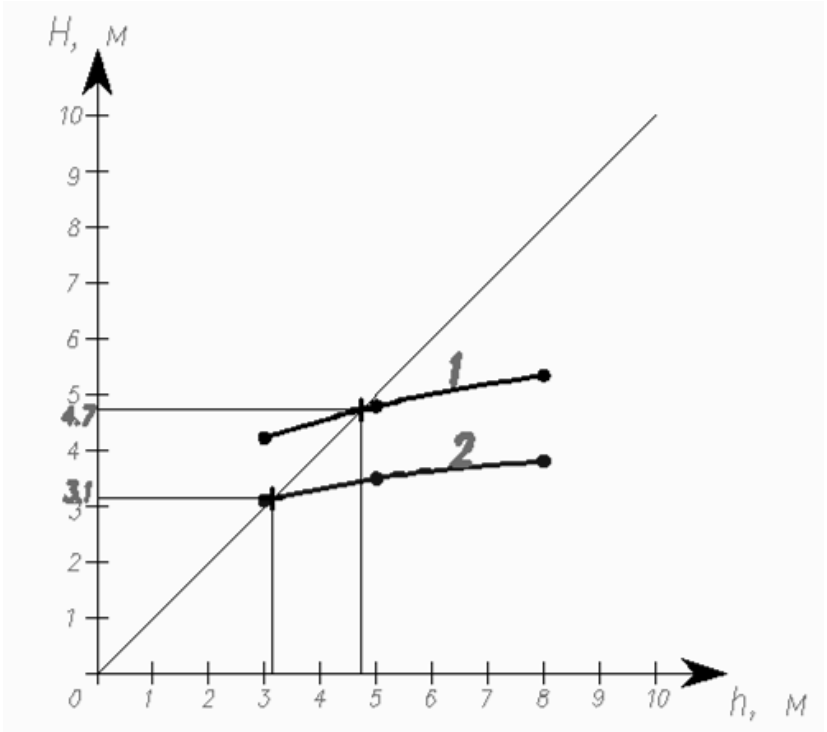


Рисунок 6.1 – График для определения минимальной высоты дымовых труб

По графику получаем искомую минимальную высоту дымовой трубы 4,7 м – для котлов Vitoplex 200, и 3,1 м – для котла Vitogas 100-F. Выбираем дымовые трубы стандартной высоты из ряда стальных труб 5 м высотой, и 0,3 м диаметром – для котлов Vitoplex 200; 3,5 м высотой и 0,15 м диаметром – для котла Vitogas 100-F.

Для выбранной высоты дымовой трубы определим концентрации загрязняющих веществ в приземистом слое атмосферы. Максимальная приземная концентрация вредных веществ, мг/м^3, для выброса из одиночного точечного источника с круглым устьем определяется по формуле (6.22):

$$c_м = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{h^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}} \qquad (6.22)$$

Найдем коэффициенты m и n для выбранной высоты дымовой трубы:

$$f_1 = \frac{10^3 \cdot 4,24^2 \cdot 0,3}{5^2 \cdot 229} = 0,94;$$

$$f_2 = \frac{10^3 \cdot 2,83^2 \cdot 0,15}{3,5^2 \cdot 150} = 0,65;$$

$$m_1 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,94} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,94}} = 0,91;$$

$$m_2 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,65} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,65}} = 0,96;$$

$$v_м^1 = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,3 \cdot 229}{5}} = 1,56 \; м/с;$$

$$v_м^2 = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,05 \cdot 150}{3,5}} = 0,84 \; м/с.$$

Т.к. $0,3 \le v_м \le 2$, то:

$$n_1 = 3 - \sqrt{(1,56 - 0,3) \cdot (4,36 - 1,56)} = 1,12;$$

$$n_2 = 3 - \sqrt{(0,84 - 0,3) \cdot (4,36 - 0,84)} = 1,62;$$

Определим максимальную приземистую концентрацию для диоксида азота по формуле (6.22):

$$C_{м}^{1} = \frac{160 \cdot 0,049 \cdot 1 \cdot 0,91 \cdot 1,12}{5^2 \cdot \sqrt[3]{0,3 \cdot 229}} = 0,078 \; мг / м^3;$$

$$C_{м}^{2} = \frac{160 \cdot 0,007 \cdot 1 \cdot 0,96 \cdot 1,62}{3,5^2 \cdot \sqrt[3]{0,05 \cdot 150}} = 0,072 \; мг / м^3;$$

$$ПДК_{NO2}=0,085 \text{ мг/м}^3.$$

Полученный результат удовлетворяет условию (6.14):

$$0,078 \text{ мг/м}^3 \le 0,085 \text{ мг/м}^3;$$
$$0,072 \text{ мг/м}^3 \le 0,085 \text{ мг/м}^3$$

Максимальная концентрация выбросов NO_2 не превышает ПДК, поэтому можно сделать вывод правильности расчетов и выбору высоты дымовых труб для крышной котельной бизнес-центра.

7 АВТОМАТИЗАЦИЯ – ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

В разделе рассмотрены основные принципы автоматизации котлов, виды систем автоматического регулирования (САР), системы защиты, сигнализации и автоматического регулирования водогрейных котлов, описана простейшая принципиальная функциональная схема автоматического регулирования и комплектация автоматики котла Vitoplex 200.

7.1 Система автоматизации котлов

В проектируемых котельных должна предусматриваться защита оборудования (автоматика безопасности), автоматическое регулирование, контроль, сигнализация и управление технологическими процессами. В зданиях и сооружениях котельных допускается предусматривать центральные, групповые, или местные щиты управления.

Происходящие в котле, во время работы, технологические процессы характеризуются рядом параметров. Изменение одного из них, например, температуры воды, должно отражаться на всех остальных: расходе топлива, количестве воздуха и отсасываемых дымовых газов и т.д. Автоматизация котлов предусматривает осуществление заданного технологического режима без непосредственного участия человека. Система автоматического регулирования состоит из объекта регулирования и взаимодействующего с ним автоматического регулятора. Водогрейный котел, являясь объектом регулирования, требует контроля следующих взаимосвязанных параметров: температуры или давления пора (воды), количество сжигаемого топлива и расхода воздуха, разряжения в топке и за котлом, наличие электропитания, устойчивости горения топлива, подачи воздуха к топливосжигающим устройствам котла.

Основными звеньями САР, кроме объекта регулирования автоматического регулятора, являются:

– усилитель – устройство усиления сигнала за счет дополнительного источника энергии;

– исполнительный механизм – устройство, взаимодействующее на регулируемый объект;

– чувствительный элемент, реагирующий на отклонение регулируемого параметра (датчика);

– задающее устройство – механизм ручной или автоматической настройки заданного значения или программное устройство;

– преобразователь – исполнительный орган, преобразующий сигнал чувствительного элемента в электрические импульсы, удобные для усиления;

– корректирующее устройство – стабилизирующие процесс регулирования воздействия на работу регуляторов: в качестве корректирующих устройств используются внутренние обратные связи и дифференцирующие элементы.

Иногда система выполняется с регуляторами прямого действия, в которых

отсутствует преобразователь и усилитель, а чувствительные элементы воздействуют непосредственно на исполнительные органы. Системы автоматического регулирования котлов и котельных классифицируют в зависимости от построения и методов реализации функциональных возможностей. По принципу действия они делятся на комбинированные и системы автоматического регулирования тепловой мощности отопительных котельных и на системы с регулированием тепловой мощности по возмущению. Регулирование по возмущению выполняют функции управления. Так, температура горячей воды на выходе из котла регулируется в зависимости от температуры наружного воздуха, изменение которой является возмущающим действием. Поступающее на вход регулятора возмущение изменяет величину регулирующего воздействия, так что она компенсирует влияние изменения температуры наружного воздуха на температуру помещения. Комбинированные САР состоят из сочетания систем регулирования и управления. Постоянное значение регулируемого параметра поддерживается воздействием по возмущению. В системе с воздействием по возмущению регулятор работает с опережением, т.е. начинает действовать сразу вслед за возмущающим воздействием до момента изменения регулируемой величины. Последняя контролируется, а изменение сигнала подается на вход регулятора. Кроме того, вводится задающее воздействие, зависящее от возмущения.

Существуют системы с регулированием по отклонению, т.е. воздействие на объект регулирования зависит от изменения регулируемого параметра.

САР по виду регулирования делятся на системы непрерывные и многопозиционные. В системах непрерывного регулирования при изменении возмущающего воздействия положение регулирующего органа изменяется плавно. В системах многопозиционных регулирующий орган всегда занимает одно из крайних положений [39].

7.2.Система защиты оборудования котла

Система защиты защищает котел при следующих аварийных режимах: повышении температуры воды за котлом сверх допустимой, падения разряжения в топке, угасании пламени горелки или форсунки, падения давления воздуха перед горелкой, сбросе электропитания в цепях автоматики.

Для водогрейных котлов, работающих на газообразном топливе, следует предусматривать устройства, автоматически прекращающие подачу топлива к горелкам при:

– повышении или понижении давления газообразного топлива перед горелками;

– понижении давления жидкого топлива перед горелками, кроме котлов, оборудованных ротационными горелками;

– уменьшении разряжения в топке;

– понижении давления воздуха перед горелками;

– погасание факелов горелок, отключение которых при работе котла не допускается;

– понижении давления воздуха перед горелками для котлов, оборудованных горелками с принудительной подачей воздуха;

– понижении или повышении давления воды на выходе из котла;

– повышении температуры воды на выходе из котла;

– неисправности цепей защиты.

7.3 Сигнализация

Котельные, которые работают без постоянного обслуживающего персонала, оборудуются диспетчерским пунктом на который должны выводится сигналы (звуковые и световые):

– неисправности оборудования, при этом в котельной фиксируется причина вызова;

– сигнал срабатывания главного быстродействующего запорного клапана топливоснабжения котельной;

– для котельных, работающих на газообразном топливе, при достижении загазованности помещения 10% от нижнего предела воспламеняемости природного газа [10].

7.4 Автоматическое регулирование

В котельных, работающих без постоянного обслуживаемого персонала, автоматическое регулирование должно предусматривать автоматическую работу основного и вспомогательного оборудования котельной в зависимости от заданных параметров работы и с учетом автоматизации теплопотребляющих установок. Запуск котлов при аварийном их отключении должен производиться после устранения неисправностей вручную.

Также в котельной следует предусматривать автоматическое поддержание заданной температуры воды, поступающей в системы теплоснабжения и горячего водоснабжения, а также заданную температуру обратной воды, поступающей в котлы, если это предусмотрено заводом изготовителем.

Для водоподготовительных установок следует предусматривать автоматическое регулирование:

– температуры подогрева исходной воды;

– уровня в баках декарбонизированной и осветленной воды;

– расхода реагентов.

Для контроля параметров, наблюдение за которыми необходимо при эксплуатации котельной, следует предусматривать показывающие приборы:

– для контроля параметров, изменение которых может привести к аварийному состоянию оборудования – сигнализирующие приборы;

– для контроля параметров, учет которых необходим для анализа работы оборудования или хозяйственных расчетов – регистрирующие или суммирующие приборы.

7.5 Простейшая принципиальная функциональная схема автоматического регулирования котла Vitoplex 200

Проектом автоматизации предусматривается контроль, защита и регулирование котлоагрегатов и вспомогательного оборудования. Работа котельной предусматривается в автоматическом режиме.

Котельная оборудована двумя котлами Vitoplex 200 мощностью по 440 кВт каждый, и атмосферным котлом Vitogas 100-F мощностью 84 кВт. Рассмотрим автоматику котла Vitoplex 200.

Система автоматики горелки и контроллер котлового блока обеспечивают управление работой котла в следующих режимах:

– автоматический розжиг;

– двухступенчатое регулирование теплопроизводительности котла;

– поддержание оптимального соотношения газ-воздух;

– аварийное отключение подачи газа;

– сигнализация аварийной ситуации.

Прекращение подачи топлива в котельную путем закрытия клапана-отсекателя газа на вводе газопровода в котельную:

– по сигналу от датчика загазованности по метану и CO;

– наличию пожара по сигналу от ППКОП “Intal”;

– отсутствие напряжения в сети.

Для учета тепловой энергии отпускаемой котлами используется тепловой счетчик СТ-3 с вычислителем “Multical”.

Все приборы питания и регулирования устанавливаются на щите вспомогательного оборудования. Питание щита ~220В. На щите предусмотрена свето-звуковая сигнализация:

– отклонения от нормы давления обратной сетевой воды;

– отклонения от нормы давления газа на вводе к каждому котлу;

– состояния котлов;

– состояния насосов;

– срабатывания клапана-отсекателя на газе;

– загазованности в котельной по CO и метану.

Схема предусматривает прекращение подачи топлива к горелке при:

– погасание факела;

– повышение давления воды за котлом;

– отсутствие расхода воды через котел;

– повышение температуры воды на выходе из котла;

– понижение давления газа перед горелкой;

– понижение давления воздуха;

– неисправности цепей защиты.

Трехходовой клапан предусмотрен для более быстрого разогрева котлов, управляемые с помощью ТРМ-12 по температуре воды на выходе из котла

Проектом предусмотрено автоматическое прекращение подачи газа в котельную (срабатывание клапана- отсекателя) при:

– превышении допустимой концентрации природного газа в воздухе котельной (10% НКПР);

– превышении допустимой концентрации оксида углерода в воздухе котельной (5 ПДК);

– пожаре в котельной;

– отключении электроэнергии в котельной.

Для контроля параметров необходимых для наладки и эксплуатации котельной предусмотрены показывающие приборы.

Контроль метана в воздухе котельной осуществляется сигнализатором типа СТМ 10 с выдачей сигнала о загазованности. Контроль СО в воздухе котельной осуществляется сигнализатором оксида углерода СОУ-1.

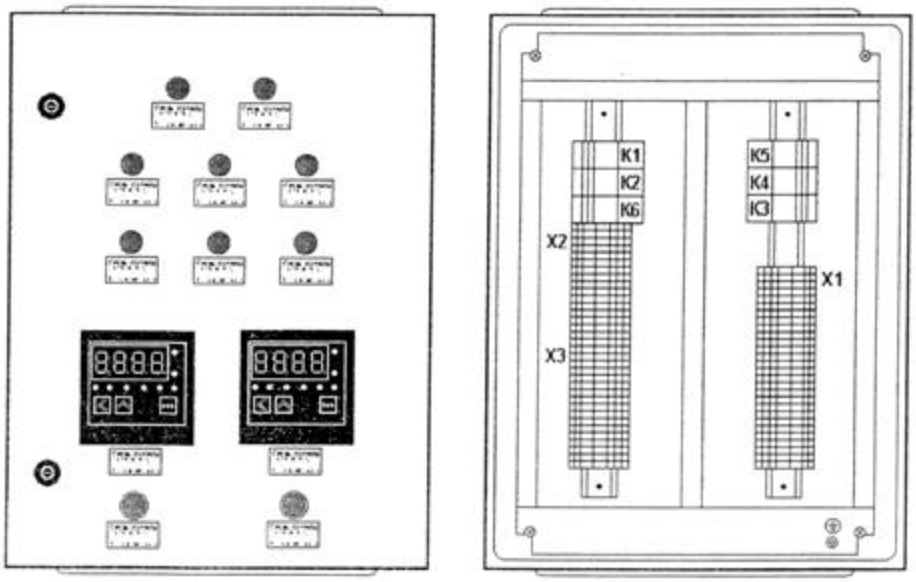
Питание установок автоматизации осуществляется электроэнергией напряжением 220 В (однофазные электроприемники) частотой 50 Гц.

Звуковой сигнал снимается дежурным персоналом, а световой сохраняется до ликвидации аварии.

Котлы Vitoplex 200 предназначены для систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. Котлы выпускаются для работы при допустимом рабочем давлении 4 бар и допустимой температурой подачи воды до 110^0С.

В комплект поставки производитель рекомендует включить щит управления контура котловой воды ЩК-2, который осуществляет не только управление работой горелочного устройства, но и обеспечивает безопасность работы котловой установки.

Щит управления контура котловой воды ЩК-2, выполнен в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более 0,07 МПа, водогрейных котлов и водонагревателей с температурой нагрева воды не выше 388 К [13]. Щит управления и аварийных блокировок представлен на рисунке 7.1.



передняя панель монтажная панель

Рисунок 7.1 – Щит управления и аварийных блокировок

7.6 Комплектация водогрейного котла Vitoplex 200

1. Предельный термостат – для защиты от перегрева котловой воды. Установка температуры производится в зависимости от выбранного графика, но не более 110 ˚С;

2. Регулировочный термостат – для ступенчатого регулирования работы горелочного устройства. Установку производит пусконаладочная организация;

3. Предохранительный клапан – устанавливается на корпусе котла между патрубками подачи и выхода котловой воды;

4. Показывающие приборы – манометры для измерения давления в подающем трубопроводе котла, термометры для измерения температуры прямой и обратной котловой воды, термометры для измерения температуры отходящих газов;

5. Запорная арматура на подающем и обратном трубопроводах;

6. Обратный клапан – для предотвращения реверсирования циркуляции теплоносителя;

7. Ограничитель максимального и минимального давления котловой воды – врезается в подающий трубопровод;

8. Циркуляционные насосы.

Применение автоматического регулирования и управления приводит к централизованному контролю за работой автоматизированных котельных без постоянного присутствия обслуживающего персонала в них с помощью аппаратуры и каналов связи, а также к организованному техническому обслуживанию оборудования котельных, автоматики и средств диспетчеризации персоналом диспетчерского пункта.

8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

При разработке проекта строительства крышной котельной для бизнес-центра необходимо учитывать вопросы безопасности жизнедеятельности. В данном разделе оценим влияние потенциально опасных и вредных производственных факторов, рассмотрим общие требования техники безопасности при работе в котельной, требования электро- и пожаровзрывоопасности, устройство заземления и молниезащиты, а также мероприятия по снижению шума и вибрации.

8.1 Анализ потенциально опасных и вредных производственных факторов

Опасные и вредные производственные факторы рабочей среды и трудового процесса (ОиВФ и ТП) делятся на физические, химические, биологические и психофизические. В ГОСТ 12.0.003-80 «Опасные и вредные производственные факторы» приводится классификация ОиВФ и ТП [3].

В зоне обслуживания водогрейных котлов эксплуатационным персоналом существуют следующие факторы:

1) физические:
   – параметры микроклимата: температура, влажность, скорость движения воздуха, тепловое излучение от горячих поверхностей;
   – повышенный уровень постоянного шума;
   – повышенный уровень вибрации в котельном зале;
   – освещение.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88(1999) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [6] допустимые величины показателей микроклимата в теплый период года:

– температура воздуха 20-24 ºС;
– относительная влажность воздуха 15-75 %;
– скорость движения воздуха 0,1-0,4 м/с.

Допустимые величины показателей микроклимата в холодный период года:

– температура воздуха 23-25 ºС;
– относительная влажность воздуха 40-60 %;
– скорость движения воздуха 0,1-0,3 м/с.

Интенсивность теплового излучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, не должна превышать 35 Вт/м^2 при излучении 50% поверхности тела и более, 70 Вт/м^2 - при величине облучаемой поверхности от 25 до 50% и 100 Вт/м^2 - при излучении не более 25% поверхности тела.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования к безопасности» [4], допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровни звука приведены в таблице 8.1.

Согласно ГОСТ 12.1.012-90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» [8] общая вибрация категории 3А. Предельно допустимый уровень – 92 дБ. Для локальной вибрации по оси X – 112 дБ.

Таблица 8.1 – Допустимые уровни звукового давления

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, ДБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Освещение спроектировано согласно СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение» [19], по которому нормы освещённости в котельной 150 лк.

2) химические: топливо котельной – природный газ и его продукты сгорания: углекислый газ, оксиды азота, оксиды углерода, бензапирен, летучие органические соединения.

Нормы на содержание вредных примесей в воздухе рабочей зоны:

– оксид углерода: класс опасности – 4, допутимое значение концентрации – 20 мг/м^3;

– оксиды азота в пересчёте на NO_2: класс опасности – 3, допустимое значение концентрации – 5 мг/м^3;

– диоксид азота: класс опасности – 3, допустимое значение концетрации – 2 мг/м^3;

– углеводороды предельные (C_6-C_{12}), класс опасности – 4, предельно-допустимая концентрация – 300 мг/м^3;

– метан, класс опасности – 4, предельно-допустимая концентрация – 7000 мг/м^3;

3) факторы трудового процесса:

– тяжесть труда – характеристика трудового процесса, отражающая преимущественно нагрузки на опорно-двигательный аппарат и функциональные системы организма;

– напряженность труда – нагрузка преимущественно на центральную нервную систему, органы чувств, эмоциональную сферу работника

4) травмоопасные факторы:

– острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;

– возможность поражения теплоносителем с высокой температурой;

– повышенное давление теплоносителя;

– разностное расположение оборудования;

– движущиеся и вращающиеся части механизмов могут вызвать механическое повреждение тела человека при попадании частей тела в поле действия этих частей механизмов;

– возможность поражения электрическим током от незащищенных и неизолированных электроприводов оборудования, в частности, насосов;

– возможность получения ожогов.

5) аварийно возможные ситуации:

– утечка топлива;

– взрыв котла;
– пожар;
– разрыв трубопровода вследствие повышения давления, образования свищей.

8.2 Общие требования безопасности при работе в котельной

8.2.1. К самостоятельной работе в котельной допускаются лица в возрасте не моложе 18 лет, прошедшие соответствующую подготовку и имеющие удостоверение о допуске к работе на водогрейных котлах, прошедшие инструктаж по охране труда, медицинский осмотр и не имеющие противопоказаний по состоянию здоровья.

8.2.2. При работе в котельной возможно воздействие на работающих следующих опасных и вредных производственных факторов:

– оставление без присмотра работающие котлы и поручение наблюдения за их работой посторонним лицам;

– превышение предельно допустимого давления пара в котлах;

– термические ожоги при разжигании топлива в топках котлов бензином, керосином или другими легковоспламеняющимися жидкостями, а также при резком открывании дверцы топки и заглядывании в неё;

– отогревание паяльными лампами и факелами замёрзших труб;

– отравление угарным газом;

– работа с каменным углём без средств защиты органов дыхания.

8.2.3. При работе в котельной используется следующая спецодежда и средства индивидуальной защиты: комбинезон хлопчатобумажный, рукавицы, очки защитные, респиратор или противогаз.

8.2.4. Помещение котельной должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией, понижающим трансформатором на 12 В с переносной 12-вольтовой лампой и электрическим фонарём.

8.2.5. В котельной должна быть медаптечка с набором необходимых медикаментов и перевязочных средств для оказания первой помощи при травмах.

8.2.6. Работающие обязаны соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения. Помещение котельной должно быть обеспечено огнетушителем на каждые два котла ящиком с песком и лопатой.

8.2.7. При несчастном случае пострадавший или очевидец несчастного случая обязан сообщить об этом администрации учреждения. При неисправности в работе водогрейных котлов сообщить об этом администрации Учреждения.

8.2.8. В процессе работы соблюдать правила ношения спецодежды, Пользования средствами индивидуальной и коллективной защиты, соблюдать правила личной гигиены, содержать в чистоте рабочее место.

8.2.9. Лица, допустившие невыполнение или нарушение инструкции по охране труда, привлекаются к дисциплинарной ответственности в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и, при необходимости, подвергаются внеочередной проверке знаний норм и правил охраны труда.

8.3 Требования безопасности перед началом работы в котельной

8.3.1. Надеть спецодежду и убедиться в наличии средств индивидуальной защиты органов дыхания.

8.3.2. Убедиться в исправной работе приборов контроля и автоматики, наличии ограждения муфт электронасосов.

8.3.3. Включить приточно-вытяжную вентиляцию, убедиться в её нормальном функционировании.

8.4 Требования безопасности во время работы в котельной

8.4.1. Не разжигать котлы без предварительной продувки их воздухом.

8.4.2. Не разжигать топливо в топках бензином, керосином или другими легковоспламеняющимися жидкостями.

8.4.3. Не оставлять без присмотра работающие котлы.

8.4.4. Не допускать в помещения котельной посторонних лиц и не поручать им наблюдение за работой котлов.

8.4.5. Во избежание ожогов соблюдать осторожность при открывании дверцы топки, резко не открывать её и не заглядывать в топку.

8.4.6. Не допускать повышения давления в котлах сверх допустимой нормы, указанной на циферблатах монометров красной чертой.

8.4.7. Запрещается сушить одежду, обувь, дрова и другие горючие материалы на конструкциях и оборудовании котлов и трубопроводах.

8.4.8. Запас топлива хранить не ближе 10м от здания котельной и других строений. В помещении котельной разрешается хранить топливо не более суточной потребности.

8.4.9. Шлак и золу выгребать в металлический ящик с крышкой на ножках. Не выбрасывать горячую золу, шлак, не прогоревший уголь возле строений и заборов.

8.5 Требования безопасности в аварийных ситуациях

8.5.1. В случае повышения давления пара в котле сверх допустимой нормы, указанной на циферблате манометра красной чертой, открыть предохранительный вентиль и стравить излишек пара из котла до достижения нормального давления.

8.5.2. В случае прекращения подачи электроэнергии и остановки водяных насосов для предотвращения размораживания системы отопления тушить котлы и слить воду из системы.

8.5.3. При возникновении пожара немедленно сообщить о пожаре в ближайшую пожарную часть, администрации учреждения и приступить к тушению очага возгорания с помощью первичных средств пожаротушения.

8.5.4. При получении травмы немедленно оказать первую помощь пострадавшему, сообщить об этом администрации учреждения, при необходимости отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.

8.6 Меры безопасности при эксплуатации крышных котельных

Наличие датчиков, проектирование которых контролирует процесс работы газового устройства и которые срабатывают непосредственно при самых легких возгораниях, обязательно. Эти нужно для того, чтобы не случился пожар или взрыв. Желательно, чтобы при проектировании крышных установок была установлена функция, которая автоматически гасит первые признаки пожара.

Необходимо также установить газоизолирующий фланец, который способен отключить всю систему при первых признаках пожара.

На крышах многоэтажных домах нужно обязательно установить сигнализацию, которая показывает и передает световые и звуковые сигналы при пожаре.

Высота дымовой трубы должна быть определена расчетом и быть выше, чем высота крышной котельной минимум на 2 метра. Каждый газовый котел в крышной котельной должен иметь по отдельному дымоотводу, обязательно одинаковой высоты.

Крышные газовые агрегаты должны работать от отдельной ветки электросети. Напряжение в отапливаемом крышной котельной здании может быть разным, поэтому не стоит рисковать с электричеством, так как из-за сбоя в электросети в доме могут появиться проблемы в работе всей отопительной системы. В качестве автономного источника питания электроэнергией может подойти дизельный генератор.

Пол, на котором будут стоять крышные газовые агрегаты, должен быть сделан из железо-бетонных плит.

Оборудование для отопления издает очень много шума, поэтому для того, чтобы иметь возможность устанавливать крышные котельные в многоэтажных зданиях, требуется осуществить специальные требования согласно нормам звукоизоляции в помещениях.

В котельной должны быть окна и двери, которые ведут непосредственно на крышу. Наличие отдельного лифта обязательно, так как он будет использоваться только для пожарных. Нужно также сделать проектирование служебного выхода. Котельная должна освещаться согласно нормам (0, 03 кв. м/1 м³).

При проектировании крышной котельной должен быть предусмотрен отдельный безопасный выход для обслуживающего персонала.

8.7 Электробезопасность

Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

Требования по электрической безопасности производственных помещений определяются согласно ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ-И – 1.01.86 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защит» [9].

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства: защитные оболочки;

защитные ограждения (временные или стационарные); безопасное расположение токоведущих частей; изоляцию токоведущих частей (рабочую, дополнительную, усиленную, двойную); изоляцию рабочего места; малое напряжение; защитное отключение, предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы: защитное заземление; зануление; выравнивание потенциала; систему защитных проводов; защитное отключение; изоляцию нетоковедущих частей; электрическое разделение сети; малое напряжение; контроль изоляции; компенсацию токов замыкания на землю; средства индивидуальной защиты. Технические способы и средства применяют раздельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Для защиты обслуживающего персонала котельной от поражения электрическим током предусматривается система защитного заземления и авоматическое отключение питания.

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

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

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

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

– 4 категория: любые воздушные линии, электропечи.

Монтаж электроустановок, электропроводки и заземления надлежит выполнять в соответствии с ПУЭ и СНиП 3.05.06-85 [14, 17].

Электроснабжение котельной должно осуществляться по двум взаиморезервируемым кабелям.

К работе в электроустановках должны допускаться лица, прошедшие инструктаж и обучение безопасным методам труда, проверку знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе с присвоением соответствующей квалификационной группы по технике безопасности и не имеющие медицинских противопоказаний, установленных Министерством здравоохранения.

Для обеспечения безопасности работ в действующих электроустановках должны выполняться следующие организационные мероприятия:

– назначение лиц, ответственных за организацию и безопасность производства работ;

– оформление наряда или распоряжения на производство работ;

– осуществление допуска к проведению работ;

– организация надзора за проведением работ; оформление окончания работы, перерывов в работе, переводов на другие рабочие места; установление рациональных режимов труда и отдыха.

Конкретные перечни работ, которые должны выполняться по наряду или распоряжению, следует устанавливать в отраслевой нормативной документации.

Для обеспечения безопасности работ в электроустановках следует выполнять следующие мероприятия:

– отключение установки (части установки) от источника питания;

– проверку отсутствия напряжения;

– механическое запирание приводов коммутационных аппаратов, снятие предохранителей, отсоединение концов питающих линий и другие меры, исключающие возможность ошибочной подачи напряжения к месту работы;

– заземление отключенных токоведущих частей (наложение переносных заземлителей, включение заземляющих ножей);

– ограждение рабочего места или остающихся под напряжением токоведущих частей, к которым в процессе работы можно прикоснуться или приблизиться на недопустимое расстояние.

8.8 Заземление и уравнивание потенциалов

Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током все металлические нетоковедущие части электрооборудования (корпуса светильников, электрических двигателей, электрощитов, котлов, электротехнического короба, металлический каркас здания) необходимо заземлить.

Для этих целей используется РЕ-проводник, который присоединяется к ГЗШ во ВРУ и к внутреннему контуру заземления из стальной полосы 25х4 мм. Все соединения выполнять сваркой.

Сопротивление растеканию электрического тока должно быть не более 4 Ом.

Работы выполнять в соответствии с ПУЭ [14] и СНиП 3.05.06-85 [17].

С целью уравнивания потенциалов в котельной строительные и производственные конструкции, стационарно проложенные трубопроводы всех назначений, металлические корпуса технологического оборудования должны быть присоединены к сети заземления стояка Ø 8 мм. При этом естественные контакты в сочленениях являются достаточными.

На пол положить диэлектрические ковры перед электрощитами, котлами, насосами.

8.9 Молниезащита

В соответствии с РД.34.21.122-87 "Инструкция по устройству молниезащиты" [16] здания и сооружения относятся к следующим категориям молниезащиты:

- здание котельной— II категория
- дымовые трубы— III категория

Для молниезащиты здания котельной на кровле под слоем гидроизоляции предусматривается молниеприемная сетка, которая должна соединяться с заземлителями здания центра.

Дымовые трубы присоединены к токоотводам, которые должны быть присое-

динены к заземлителям здания центра. Все соединения выполнены сваркой.

Сопротивление растеканию электрического тока должно быть не более 10 Ом.

8.10 Пожаровзрывобезопасность

Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Системы пожарной безопасности должны характеризоваться уровнем обеспечения пожарной безопасности людей и материальных ценностей, а также экономическими критериями эффективности этих систем для материальных ценностей, с учетом всех стадий (научная разработка, проектирование, строительство, эксплуатация) жизненного цикла объектов и выполнять следующие задачи:

– исключать возникновение пожара;

– обеспечивать пожарную безопасность людей;

– обеспечивать пожарную безопасность материальных ценностей;

– обеспечивать пожарную безопасность людей и материальных ценностей одновременно.

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

– организационные;

– технические;

– режимные;

– эксплуатационные.

Организационные мероприятия предусматривают правильное содержание зданий, территории, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, организацию пожарно – технических комиссий, издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности и т.д.

К техническим мероприятиям относятся, соблюдение противопожарных правил, норм проектирования, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

Мероприятия режимного характера – это запрещение курения в не установленных местах,производства сварочных и других огневых работ в пожароопасных помещениях и т.д.

Эксплуатационными мероприятиями являются своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытания технологического оборудования [5].

Согласно НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» котельная

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

Возможными источниками пожара в котельной является система топливоподачи котла. Агентом в системе топливоподачи котла является природный газ.

Утечки газа могут приводить к общему отравлению организма, вызывать удушье. Кроме того, в определенных концентрациях газо-воздушная смесь является взрывоопасной.

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

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

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

Газопроводы оборудуют водяными затворами или пламяпреградителями для защиты от попадания взрывной волны или пламени со стороны сети потребления, а также от проникновения кислорода.

Помещения котельной построено таким образом, чтобы ограничить распространение огня во время взрыва или пожара и уменьшить их разрушительные последствия. Для этого устанавливают прочные массивные стены из несгораемых материалов в тех напрвлениях, в которых взрыв или пожар приведет к наиболее разрушительным последствиям.

Важную роль в пожарной безопасности помещения котельной имеют эваукуационные и аварийные выходы. В котельной имеется два эвакуационных выхода, которые располагаются рассредоточено. Каждый из выходов обеспечивает безопасную эвакуацию всех людей, находящихся в помещении. Двери эвакуационных выходов и другие двери на путях эвакуации должны открываться по направлению выхода из здания и не должны иметь запоров, препятствующих их свободному открыванию изнутри без ключа. В качестве аварийных выходов в данной котельной будем считать выходы через окна.

Применение сигнальных цветов и знаков пожарной безопасности обязательно для организаций независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности на всей территории Российской Федерации. В качестве сигнальных цветов используются красный, желтый, синий и зеленый, для усиления зрительного восприятия которых должны применяться контрастные цвета - черный и белый. Красный сигнальный цвет применяют для: обозначения различных видов пожарной техники и ее элементов; обозначения знаков пожарной безопасности, содер-

жащих информацию о месте нахождения средств пожаротушения, спасания людей при пожаре, включения установок (систем) пожарной автоматики и т.п., а также мест нахождения водоисточников; окантовки пожарных щитов белого цвета, нанесенного непосредственно на вертикальную конструкцию (стену) с устройствами для крепления пожарного инвентаря, обозначения участков (зон), которые запрещается чем-либо загромождать. Обозначение выполняется окантовкой границ таких участков (зон) или заполнением соответствующих площадей этих участков (зон) наклонными под углом 45-60° полосами красного сигнального цвета шириной от 50 до 200 мм.

Желтый сигнальный цвет применяют для фона знаков треугольной формы "Внимание! Будь осторожен!" в целях предупреждения возникновения пожара.

Зеленый сигнальный цвет используют для: фона знаков, имеющих форму квадрата или прямоугольника, используемых для обозначения путей эвакуации и эвакуационных выходов; обозначения выходов на световых табло с белой надписью "Выход" или светильников.

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

Для тушения пожара предусмотрены следующие системы:

– система водяного пожаротушения закольцованная по цеху (пожарные гидранты);

– местные пожарные щиты, укомплектованные пожарным инвентарем (лопаты, ведра);

– углекислотные огнетушители для тушения возгорания электрооборудования.

Для уменьшения риска возникновения пожара в крышной котельной важно соблюдать следующие требования:

1. Размещение крышной котельной возможно только на несущие конструкции дома.

2. Высота потолка должна быть свыше 2,5 м.

3. Должны быть возведены противопожарные перегородки и обустроена специализированные разрывы между котлами.

В последнее время используют автоматическое пожаротушение крышной газовой котельной в виду большой скорости его срабатывания и высокой эффективностью по сравнению с применении ем ручных огнетушителей.

8.11 Мероприятия по снижению шума и вибрации

8.11.1. Бетонный пол здания котельной отделен от перекрытия основного здания жесткими минераловатными плитами толщиной 100мм, тем самым достигается устройство плавающего пола.

8.11.2. Котлы установлены на звукопоглощающие подкладки.

8.11.3 На напорных трубопроводах всех насосов, на патрубках котлов, а также в узлах прохода трубопроводов через пол и стены котельной предусмотрены резиновые виброкомпенсаторы (гибкие вставки).

8.11.4. Подсоединение газопровода к каждому котлу выполнено через амортизационные вставки, входящие в комплект поставки котла.

9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Необходимость экономико-управленческого раздела обусловлена определением экономической целесообразности предлагаемой в ВКР разработки крышной котельной здания бизнес-центра по улице Красноармейской в городе Челябинске.

Для экономического обоснования разработки крышной котельной необходимо сопоставить это предложение с запиткой здания бизнес-центра от существующих городских тепловых сетей, сравнить эти два варианта по количеству затрат и ряду других основополагающих показателей экономической эффективности и по результатам этого сравнения сделать соответствующие выводы.

9.1 Определение сравнительной экономической эффективности применения методов сооружения нового объекта теплоэнергетики

При выборе метода сооружения нового объекта теплоэнергетики обычно имеется несколько вариантов решения поставленной задачи, в конкретном случае это сопоставление вариантов разработки крышной котельной и подсоединения вновь сооружаемого здания бизнес-центра к существующем тепловым сетям.

При сравнении вариантов решающими являются экономические (стоимостные) показатели, то есть составление смет единовременных (капитальных) и производственных (текущих эксплуатационных) затрат на проектирование и функционирование объекта или подсистемы [25].

Определим капитальные и текущие затраты по двум сопоставляемым вариантам, величину приведенных затрат, сравним полученные величины и выберем лучший вариант. Для выбранного варианта рассчитаем общий годовой экономический эффект.

9.1.1 Определение капитальных затрат по двум сопоставимым вариантам

Капитальные затраты на строительство крышной котельной, включают в себя (9.1):

– затраты на проектно-изыскательские работы;
– затраты на покупку и монтаж нового оборудования;
– затраты на транспортировку;
– затраты на пусконаладочные работы.

$$K_1 = K_{проект} + K_{осн} + K_{трансп} + K_{пускн} \quad (9.1)$$

Выполнением проектно-изыскательских работ занимается проектно-конструкторское бюро. По его данным затраты на проект разработки крышной котельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской составляют 400 тыс. руб.

Стоимость оборудования берется по прейскуранту заводов-изготовителей [46,

59, 60, 63], стоимость монтажных работ по данным сметного отдела принята 30 % от стоимости оборудования. Расчеты сведены в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Стоимость оборудования и монтажных работ

Наименование оборудования	Количество	Стоимость единицы, тыс.руб.		Общая стоимость, тыс.руб.	
		Оборудования	Монтажных работ	Оборудования	Монтажных работ
1	2	3	4	5	6
1. Котёл стальной водогрейный газовый Vitoplex 200 *N*=440 кВт	2	982,80	294,84	1965,60	589,68
2. Газовая горелка WG40N/1–A ZM–LN Weishaupt	2	340,00	102,00	680,00	204,00
3. Котел чугунный водогрейный Vitogas 100-F, *N*=35 кВт с атмосферной горелкой	1	366,20	109,86	366,20	109,86
4. Насос рециркуляционный Grundfoss MAGNA 32-100 F, *G*=7,6 м^3/ч, *H*=0,67 м вод. ст.	2	68,94	20,68	137,88	41,36
5. Насос сетевой Grundfoss TPE65-170/4 *G*=33,8 м^3/ч, *H*=13 м вод. ст. с одной станцией управления Control MPC на два ввода питания	2	362,36	108,71	724,72	217,42
6. Насос сетевой Grundfoss TPE32-100/4 *G*=1,5 м^3/ч, *H*=9 м вод. ст.	1	75,71	22,71	75,71	22,71
7. Установка повышения давления Grundfoss Hudro Multi-E с двумя насосами CRE 1-11 *G*=0,2 м^3/ч, *H*=48 м вод. ст.	2	362,12	108,64	724,24	217,27
8. Система пропорционального дозирования с дозировочным насосом DDC 6-10 AR-PP /E/C-F-311001FG с баком *V*=100 л и водяным расходомером	1	63,26	18,98	63,26	18,98
9. Дренажный насос Unilift KP-250 *G*=5 м^3/ч, *H*=5,5 м вд.ст.	1	16,40	4,92	16,40	4,92

Продолжение таблицы 9.1

1	2	3	4	5	6
10. Бак мембранный расширительный WRV-750	2	54,35	16,31	108,7	32,62
11. Затвор поворотный дисковый тип SYLAX ø100 мм с электроприводом	2	24,30	7,29	48,60	14,58
12. Затвор поворотный дисковый тип SYLAX ø40 мм с электроприводом	1	21,80	6,54	21,80	6,54
13. Клапан регулирующий седельый трехходовой VF3 ø65 мм с приводом AMV435	1	162,20	48,66	162,2	48,66
14. Приборы КИПиА	–	26,00	7,80	26,00	7,80
15. Арматура трубопроводная и трубопроводы	–	300,00	90,00	300,00	90,00
ИТОГО:	–	–	–	5 421,31	1 626,39

Расходы на транспортировку и складирование оборудования принимаем 5% от стоимости оборудования [41].

Транспортные затраты составят (9.2):

$$К_{транс} = 0,05 \cdot К_{осн}, \quad (9.2)$$

$$К_{транс} = 0,05 \cdot 5\ 421,31 = 271,07 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость пусконаладочных работ по данным сметного отдела пусконаладочной организации «ООО Сургуттеплоэнергомонтаж» составляет 425,00 тыс. руб.

Результаты расчета капитальных затрат на строительство крышной котельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской сведем в таблицу 9.2.

Таблица 9.2 – Смета капитальных затрат на строительство крышной котельной

Наименование затрат	Стоимость, тыс. руб.
Затраты на проектно-изыскательские работы	400,000
Стоимость нового оборудования	5 421,31
Стоимость строительно-монтажных работ	1 626,39
Транспортные затраты	2714,07
Стоимость пусконаладочных работ	425,00
ИТОГО:	10 586,77

Для создания возможности подсоединения здания бизнес-центра по ул. Красноармейской к существующим городским тепловым сетям по требованию теплоснабжающей организации АО «УТСК» заказчику необходимо за свой счет произвести перекладку участка тепловых сетей с заменой условного диаметра на больший в связи с увеличением нагрузки на них и изношенным состоянием.

Кроме того, необходимо учесть затраты на сооружение индивидуального теплового пункта (ИТП) в здании бизнес-центра.

Определим капитальные затраты при варианте подсоединения здания бизнес-центра по ул. Красноармейской города Челябинска.

Капитальные затраты для тепловой сети рассчитываются по формуле (9.3):

$$К_{тс} = Ц_{тр} \cdot (1+\alpha_{т-з})+К_{монт}+К_{проект}\ , \qquad (9.3)$$

где $Ц_{тр}$ – цена трубы с изоляцией и каналом, руб;

$\alpha_{т-з}$ – отчисления на транспортные затраты, $\alpha_{т-з}$=0,15;

$К_{монт}$ – стоимость монтажных работ, руб;

$К_{проект}$ – стоимость проектных работ.

Цена материала для прокладки теплосети в непроходном канале складывается из цены труб и цены изоляции, цены трубопроводной арматуры (9.4):

$$Ц_{тр} = \Sigma((2\cdot(Ц_{трубы}+Ц_{из})+ Ц_{кан}) \cdot L+Ц_{арм}) \qquad (9.4)$$

где $Ц_{трубы}$ – цена одного погонного метра трубы, руб/п. м;

$Ц_{из}$ – цена изоляции для одного погонного метра трубы, руб/п. м;

$Ц_{кан}$ – цена одного погонного метра непроходного канала, руб/п. м;

$Ц_{арм}$ – цена трубопроводной арматуры;

L – длина участка трубопровода.

Стоимость материалов для прокладки в непроходном канале приведены в таблице 9.3. Стоимость трубы указана в соответствие с прайс-листом завода изготовителя ОАО «ЧТПЗ» [61], стоимость изоляции – в соответствие с прайс-листами компании «Энергофлекс» [58], стоимость каналов - в соответствие с прайс-листами завода «ЖБИ-1» [62], стоимость арматуры – в соответствие с прайс-листами ООО «Росарматура» [63].

Таблица 9.3 – Стоимость материалов и длины участков для строительства тепловой сети в непроходном канале

Диаметр трубопровода	$Ц_{трубы}$, руб/п м	$Ц_{из}$, руб/п. м	$Ц_{кан}$, руб/п.м	$Ц_{арм}$, руб	L, м
Ø219х6,0	1521,4	723,80	11 194,5	52 000,00	150
Ø89х3,5	282,57	267,40	4 087,7	24 000,00	40

$Ц_{тр}$=((2·(1521,4+723,80)+11 194,5)·150+52 000)+((2·(282,57+267.4)+4 087,7)·40+ +24 000)=2 636,2 тыс. руб.

Монтажные работы включают в себя земляные, укладочные и изоляционные работы, испытания. Работы по монтажу одного погонного метра тепловой трассы $Ц_{монт}$ в непроходном канале зависят от стоимости материалов и составляют 30% этой стоимости:

– для труб Ø219х6,0 – 4 705,5 руб/п м;

– для труб Ø89х3,5 – 1 556,3 руб/п м.

Стоимость монтажных работ определяется по формуле (9.5):

$$З_{монт} = Ц_{монт} \cdot L \quad (9.5)$$

$$З_{монт} = 4705{,}5 \cdot 150 + 1556{,}3 \cdot 40 = 768{,}1 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость проектных работ $К_{проект}$ по данным проектно-конструкторского бюро составляет 220 тыс. руб

Капитальные затраты для тепловой сети, проложенной в непроходном канале равны:

$$К_{тс} = 2\,636{,}2 \cdot (1+0{,}15) + 768{,}1 + 220 = 4\,019{,}7 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на сооружение индивидуального теплового пункта $К_{итп}$ с учетом проектирования, стоимости оборудования и монтажа для зданий, тепловая нагрузка которых от 0,5 до 1 МВт по данным организации по проектированию и сборке ИТП ООО «Уралводоприбор» составляет 3 400 тыс. руб.

Капитальные затраты для второго рассматриваемого сопоставимого варианта при подсоединении здания бизнес-центра к существующим тепловым сетям определяются по формуле (9.6):

$$К_2 = К_{тс} + К_{итп} \quad (9.6)$$

$$К_2 = 4\,019{,}7 + 3\,400 = 7\,419{,}7 \text{ тыс. руб.}$$

9.1.2 Определение текущих затрат по двум сопоставимым вариантам

После строительства водогрейной крышной котельной начинается ее эксплуатация, которая требует ежегодных затрат материальных, энергетических и трудовых ресурсов.

Для определения некоторых статей текущих расходов необходимо знать стоимость оборудования, имеющегося в котельной. Суммарная стоимость всего оборудования котельной 5 421,31 тыс. руб.

Работа котельной предусматривается в автоматизированном режиме без постоянного обслуживающего персонала.

Расчет текущих затрат на энергетическое обслуживание крышной котельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской города Челябинска представлен в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Расчет текущих затрат на энергетическое обслуживание крышной котельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской города Челябинска

Показатели и статьи затрат	Единица измерения	Расчетная формула	Величина
1	2	3	4
1. Годовой расход газа	тыс.м³/год	$B_{год}$	224,1
2. Тариф на газ [55]	руб/тыс. м³	$Ц_т$	4 277
3. Годовые затраты на газ	тыс.руб./год	$И_т = B_{год} \cdot Ц_т$	224,1·4 277/10^3= =958,4
4. Расход воды	м³/год	$G_{год}$	750,7
5. Тариф на воду [55]	руб/м³	$Ц_в$	23,6
6. Годовые затраты на воду	тыс.руб./год	$И_в = Ц_в \cdot G_{год}$	750,7· 23,6= =17,7
7. Содержание и эксплуатация энергооборудования, включая содержание оборудования и его текущий ремонт (1% от стоимости оборудования), амортизацию оборудования (норма 10%), основную и дополнительную зарплату ремонтного персонала, а также отчисления на соц. нужды (26% от зарплаты ремонтников).	тыс.руб./год	–	0,01·5 421,31+ +0,1·5 421,31+ +242,66+ +0,26 · 242,66= =902,1
8. Итого затрат	тыс.руб./год	$И_{\sum} = \sum И_i$	1878,2
9. Годовой отпуск теплоты	МВт/год	Q'	1 702,2
10. Себестоимость 1 МВт теплоты	руб./МВт	$C = И_{\sum} / Q`$	1 878,2·10^3/ /1 702,2=1103,3

Текущие затраты на энергетическое обслуживание для варианта присоединения здания бизнес-центра к существующим тепловым сетям определяются по формуле (9.7):

$$И_2 = Q' \cdot Ц_{тепл} \quad (9.7)$$

где Q' – годовой отпуск тепла;

$Ц_{тепл}$ – тариф на тепловую энергию, отпускаемую теплоснабжающим предприятием АО «УТСК» [55].

$$И_2 = 1702,2 \cdot 1443,29 = 2456,8 \text{ тыс.руб/год}$$

9.1.3 Определение экономической эффективности строительства крышной котельной

Проведем сравнительный анализ единовременных (капитальных) и производственных (текущих эксплуатационных) затрат при двух сопоставляемых вариантах.

При строительстве крышной котельной для здания бизнес-центра по улице Красноармейской капитальные затраты составят $К_1$ = 10 586,77 тыс. руб., текущие затраты составят $И_1$=1 878,2 тыс. руб.

При варианте подсоединения здания бизнес-центра к существующим тепловым сетям капитальные затраты на перекладку участка тепловой сети за счет средств заказчика и сооружения индивидуального теплового пункта составят $К_2$ = 7 419,7 тыс. руб, текущие – $И_2$=2 456,8 тыс. руб.

Определим величину приведенных затрат по формуле (9.8):

$$З = E_н \cdot К + И \rightarrow min \quad (9.8)$$

где $E_н$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, для энергетики $E_н$ = 0,125

$$З_1 = 0{,}125 \cdot 10\,586{,}77 + 1\,878{,}2 = 3\,201{,}5 \text{ тыс. руб/год;}$$

$$З_2 = 0{,}125 \cdot 7\,419{,}7 + 2456{,}8 = 3384{,}3 \text{ тыс. руб/год.}$$

Годовой экономический эффект определяется по формуле (9.9):

$$Э_г = \Delta И + E_н \cdot \Delta К. \quad (9.9)$$

$$Э_г = (2456{,}8 - 1878{,}2) + 0{,}125 \cdot (7419{,}7 - 10586{,}77) = 182{,}7 \text{ тыс.руб/ год}$$

Положительная величина Эг свидетельствует о том, что решение, предлагаемое в выпускной квалификационной работе о разработке крышной котельной для бизнес-центра является эффективным.

9.2 SWOT – анализ вариантов технических решений

Модель используется для качественного анализа вариантов технических решений, сравниваемых в экономической части ВКР. Кроме того, она необходима для углубления результатов предыдущего анализа и определения долгосрочного направления повышения энергетической эффективности объекта теплоэнергетики или теплотехники.

Сравнительный анализ вариантов осуществляется методом SWOT. Для этого составляются матрицы, в квадрантах которых приводятся сильные (S), слабые (W)

стороны каждого варианта, а также возможности (О) и угрозы (Т) внешней среды при их реализации [25].

Выше был выбран альтернативный вариант строительству котельной – подсоединение здания бизнес-центра к существующим тепловым сетям и произведено сравнение этих вариантов по стоимостным показателям. А сейчас произведем SWOT-анализ для двух рассматриваемых вариантов, анализируя различные факторы, и их влияние на предлагаемые решения: «Мир с проектом» (разработка крышной котельной), и «Мир без проекта» (альтернативный вариант подсоединения бизнес-центра к тепловым сетям). SWOT-анализ для первого варианта представлен в таблице 9.5.

Таблица 9.5 – SWOT-анализ варианта разработки крышной котельной

S: – Высокий экономический эффект; – Уменьшение потерь в 1,5-2 раза при транспортировке тепла от котельной до потребителя за счет ликвидации наружных сетей; – Высокий уровень автоматизации; – Уменьшения себестоимости 1 МВт тепловой энергии в сравнении с подключением здания к существующим тепловым сетям; – Бесперебойная работа оборудования; – Полная автономность отопления; – Безопасность работы без постоянного присутствия обслуживающего персонала;	W: – Значительные капитальные затраты; – Дорогостоящий монтаж оборудования; .
O: – Спрос на тепловую энергию; – Поддержка со стороны местных властей; – Существование новых технологий и энергооборудования на рынке.	T: – Возможные задержки с поставкой оборудования и материалов; – Рост цен на топливо.

SWOT-анализ для второго варианта – подсоединения здания к тепловым сетям, представлен в таблице 9.6.

Таблица 9.6 – SWOT-анализ варианта подсоединения бизнес-центра к тепловым сетям

S: – Традиционная доставка тепловой энергии от источника к потребителю; – Накоплаенный опыт в эксплуатации тепловых сетей; – Большой межремонтный период.	W: – Затраты на перекладку участка тепловых сетей; – Высокие тарифы на покупку тепловой энергии по сравнению с собственной выработкой; – Потери в тепловых сетях; – Необходимость раскопки грунта и нарушение целостности земельного участка в случае аварии; – Увеличение потребителей тепла, а следовательно, и нагрузки на тепловые сети.
O: – Устойчивый спрос на тепловую энергию; – Появление современных материалов для изоляции трубопроводов с целью снижения тепловых потерь.	T: – Увеличение стоимости энергоресурсов.

Проведя SWOT-анализ, можно сделать вывод о том, что разработка крышной котельной для здания бизнес-центра по улице Красноармейскоой в городе Челябинске является наиболее выгодным вариантом по сравнению с подсоединению здания к существующим тепловым сетям и позволит более эффективно использовать имеющиеся ресурсы. Предлагаемый вариант имеет больше преимуществ (сильных сторон) и возможностей.

9.3 Оценка движущих и сдерживающих сил и ресурсов крышной котельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской

На схеме поля сил изменений системы представлено соотношений влияний движущих сил реализации целей и сдерживающих сил, этому препятствующих. Данное поле характеризует организационную надежность состояния предприятия, устойчивость и направленность его развития.

Приступая, к реализации проекта, оценим влияние различных факторов на достижение цели проекта модернизации. Курт Левин предложил существование двух групп факторов противоположного типа, сохраняющих стабильность предприятия. Интегрированная схема и модель анализа устойчивости системы управления может быть построена на основе, объединения способа оценки степени влияния внешних и внутренних факторов, толщина стрелок означает степень значимости сил на данное промышленное предприятие [41].

Главной движущей силой (сильное влияние) для реализации проекта строительства крышной котельной является невозможность функционирования здания бизнес-центра без тепловой энергии на нужды отопления в отопительный период, поэтому к началу отопительного периода 2019-2020 г.г. необходимо запустить данный источник теплоснабжения.

Наличие современного котельного и насосного оборудования также является движущей силой и оказывает среднее влияние, потому что способствует экономичной работе оборудования, уменьшению расхода и снижению вредных выбросов в атмосферу.

Кроме того, следует обратить внимание на высокий уровень автоматизации вновь устанавливаемого оборудования, который уменьшит вероятность аварийных ситуаций и позволяет крышной котельной работать в автоматизированном режиме без присутствия обслуживающего персонала.

Сдерживающими силами для достижения цели проекта является высокая стоимость требуемых капиталовложений (влияние сильное), и большой объем по проектированию и строительству, который займет много времени и сил (влияние среднее).

По данному полю сил можно сделать вывод о том, что движущие силы в совокупности с потенциалом изменений преобладают над сдерживающими. Это значит, что проект может быть реализован, а после строительства крышной котельной будет обеспечено надежное теплоснабжение здания бизнес-центра, что, в конечном итоге, и является достижением основной долгосрочной цели.

Соотношение влияния движущих сил и сдерживающих сил представлено на рисунке 9.2.

9.4 Модель дерева целей проекта разработки крышной котельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской в г. Челябинске

Дерево целей проекта представляет структурную модель, показывающую соподчиненность и связь целей подразделений в иерархии управления. Для его построения цель предприятия делится на проектные цели.

Формулировки целей должны соответствовать принципам SMART, то есть отражать специфику темы проекта, измеримость по величине, достижимость в реализации по конкретному предприятию, измеримость по времени [41].

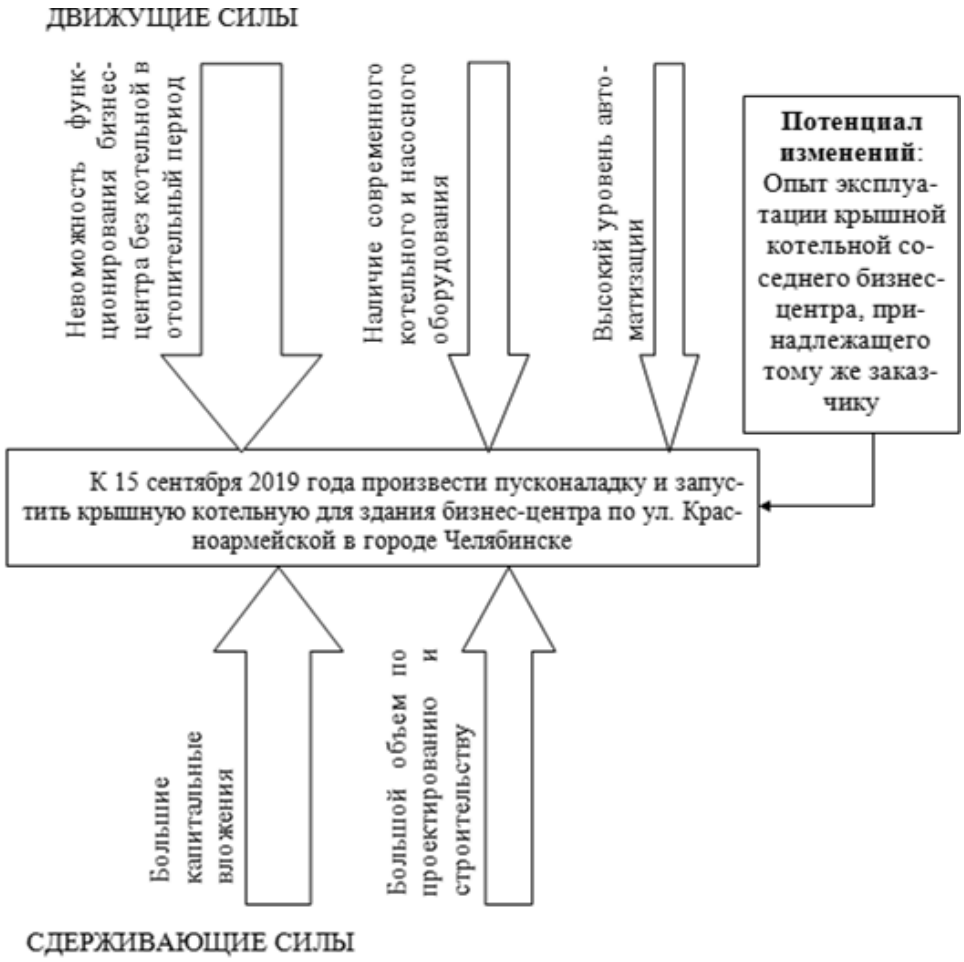


Рисунок 9.2 – Поле сил К. Левина

Построение дерева целей начинается с формирования главной цели. Каждую цель более высокого уровня можно представить как самостоятельную систему, включающую в себя цели более низкого уровня (подцели) как ее элементы. При этом необходимо установить полный состав подцелей. Цель второго уровня может быть расчленена на цели третьего и последующих уровней.

Признаком завершения построения дерева целей является формулировка таких целей, которые дальше не расчленяются и дают конечные результаты, определенные главной целью [41].

На рисунке 9.3 представлена модель дерева целей проекта разработки крышной котельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской в г. Челябинске.

9.5 Планирование мероприятий по реализации проекта (График Ганта)

Небольшой комплекс работ может быть показан в виде ленточного графика по этапам проектных работ. График отражает примерное распределение процессов во времени и их логическую последовательность, должен быть скорректирован и дополнен при детальной проработке проекта изменений. По этапам назначаются исполнители и ориентировочная продолжительность работ.

Рисунок 9.3 – Модель дерева целей проекта разработки крышной котельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской в г. Челябинске

График Ганта позволяет:

– визуально оценить последовательность задач, их относительную длительность и протяженность проекта в целом;

– сравнить планируемый и реальный ход выполнения задач;

– детально проанализировать реальный ход выполнения задач. На графике отображаются интервалы времени, в течение которых задача: выполнялась, была приостановлена, возвращалась на доработку и т.д.

График Ганта по строительству крышной котельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской в городе Челябинске представлен в приложении А (рисунок А.1.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения ВКР была предложена разработка крышной котельной для здания бизнес-центра по ул. Красноармейской в г. Челябинске.

Для вновь сооружаемого здания встал вопрос о выборе источника теплоснабжения. Район строительства имеет плотную застройку. Резервы тепловых мощностей для возможности подключения проектируемого здания к существующим тепловым сетям минимальны. Тепловые сети находятся в изношенном состоянии и имеют место колоссальные теплопотери в них. Решение выбрать для здания бизнес-центра такой автономный источник теплоснабжения, как крышная котельная, стало наиболее эффективным и целесообразным.

Было проведено сравнение отечественных и зарубежных передовых технологий и решений в области котельного оборудования, в результате которого было выявлено, что рынок котельного оборудования очень богат. Водогрейных трехходовых котлов имеется большое количество. Существуют такие российские аналоги предлагаемым в работе котлам Vitoplex 200, как котлы ТЕРМОТЕХНИК компании «Энтророс» и котлы КВ-ГМ Дорогобужского котельной завода. В данном разделе были описаны преимущества и недостатки котлов различных заводов-изготовителей, рассмотрен их принцип. Котельное оборудование различных производителей имеет свои особенности, однако компания Viessmann хорошо зарекомендовала себя на этом рынке как производитель надежного, простого в эксплуатации и экологичного оборудования, а выбор в рассматриваемой котельной именно этих котлов обусловлен желанием заказчика и его предыдущим удачным опытом по эксплуатации оборудования фирмы Viessmann.

В спецчасти работы были произведены следующие расчеты: вычислена мощность котельной путем определения тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжения здания бизнес-центра, а также рассчитан годовой отпуск теплоты; определены температуры и расходы сетевой воды с учетом качественного регулирования по совмещенной нагрузке, построены соответствующие графики, рассчитана тепловая схема котельной для пяти расчетных режимов: максимально зимнего, при температуре наиболее холодного месяца $t_{НХМ}$, при температуре излома температурного графика $t_{НИ}$, при температуре начала отопительного периода t=+8 ˚С и летнего режимов. По результатам этого расчета выбраны типы и производительность котельных агрегатов – два низкотемпературных водогрейных котла, работающих на газообразном топливе Vitoplex 200, мощностью 440 кВт каждый, и атмосферный низкотемпературный газовый водогрейный котел Vitogas 100-F мощностью 84 кВт, который самостоятельно будет покрывать тепловые нагрузки на нужды горячего водоснабжения в летний период. В работе были приведены технические характеристики и выполнен тепловой расчет водогрейного котла Vitoplex 200.

По итогам раздела энергосбережении можно сказать, что крышная котельная является энергоэффективным источником теплоснабжения, за счет отсутствия тепловых сетей, погодозависимого регулирования и полной автоматизации, благодаря которой котельная работает без обслуживающего персонала. В крышной ко-

тельной для бизнес-центра по ул. Красноармейской в г. Челябинске реализуются такие энергосберегающие мероприятия, как использование современного теплоизоляционного материала «Энергофлекс», снижение потерь теплоты с уходящими газами за счет своевременной очистки внутренних и наружных поверхностей нагрева от загрязнений, применение проверенного и качественного насосного оборудования «Grundfoss».

В экологическом разделе была определена максимальная приземистая концентрация выбросов из дымовой трубы, рассчитано количество выбросов оксидов азота, и произведен расчет минимальной высоты дымовой трубы, которая удовлетворяет условию $С_м \leq$ ПДК.

В разделе автоматизации были рассмотрены основные принципы автоматизации котлов, виды систем автоматического регулирования (САР), системы защиты, сигнализации и автоматического регулирования водогрейных котлов, описана простейшая принципиальная функциональная схема автоматического регулирования и комплектация автоматики котла Vitoplex 200.

В разделе БЖД было оценено влияние потенциально опасных и вредных производственных факторов, рассмотрены общие требования техники безопасности при работе в котельной, требования электро- и пожаровзрывоопасности, устройство заземления и молниезащиты, а также мероприятия по снижению шума и вибрации.

Необходимость экономико-управленческого раздела была обусловлена определением экономической целесообразности предлагаемой в ВКР разработки крышной котельной. Для экономического обоснования были сопоставлены предлагаемый вариант с запиткой здания бизнес-центра от существующих городских тепловых сетей, определены величины капитальных затрат, текущих затрат и общего годового экономического эффекта, оценены движущие и сдерживающие силы, составлен график Ганта. Положительная величина годового экономического эффекта свидетельствует о том, что решение, предлагаемое в выпускной квалификационной работе о разработке крышной котельной для бизнес-центра является эффективным

Таким образом, цель работы достигнута, задачи – решены.

Результаты работы рекомендованы к использованию для разработки и внедрения проекта строительства крышной котельной для здания бизнес-центра по ул. Красноармейской в городе Челябинске.

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. Введён в действие 27.11.2009 // Российская газета № 5050 27 ноября 2009 г. – 2009.

2 ГОСТ 10704-91 ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 99 с.

3 ГОСТ 12.0.003-80. Опасные и вредные производственные факторы. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1980.

4 ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования к безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1983.

5 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2006.

6 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Изд-во стандартов, 1988.

7 ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ И – 01.12.81; 02.06.90. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2007.

8 ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1990.

9 ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ И – 1.01.86. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защит. – М.:ИПК Изд-во стандартов, 2001.

10 ГОСТ 21.404-85. СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – Введ. 1986-01-01. – М.: Стандартинформ, 2007.

11 ОСТ 36.13-90. Щиты и пульты автоматизации технологических процессов. Общие технические условия. – Введ. 1991-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1991.

12 ПБ 10-574-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. – Утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2008.

13 Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более 0,07 МПа (0,7 кГс/см2), водогрейных котлов и водоподогревателей с температурой нагрева воды не выше 388 К. – Утв. Минстроем России, 1993.

14 ПУЭ. Правила устройства электроустановок. – Утв. Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 №204.

15 РД 24.031.120-91. Методические указания. Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов. Организация водно-химического режима и химического контроля. Руководящий документ по стандартизации. – Введ. 1991-07-01.

16 РД.34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. – М.: ГОСЭНЕРГОНАДЗОР 1995 г.

17 СНиП 3.05.06-85. Электротехнические устройства. – Введ. 1988. М.: Госстрой СССР.

18 СНиП 23-01-99*. Строительная климатология. – Введ. 2000-01-01. – М.:

ГУП ЦПП, 2005.

19 СНиП 23-05-95*. Естественное и искуственное освещение. – Введ. 2095-08-02. – М.: Минстрой России, 1995.

20 СП 30.13330.2016. Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*. — Введ. 2017-06-17. – М.: Минрегион России, 2012. – 35 с.

21 СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – Введ. 2013-01-01. – М.: Минрегион России, 2012. – 35 с.

22 СП 89.13330.1012. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76. – Введ. 2013-01-01. – М.: Минрегион России, 2012.

23 СТО ЮУрГУ 04–2008. Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008;

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

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

26 Бадагуев, Б. Экологическая безопасность предприятия. Приказы, акты, инструкции, журналы, положения / Б. Бадагуев // Издательство: Альфа-Пресс; 2012 г;

27 Быстрицкий, Г.Ф. Основы энергетики / Г.Ф. Быстрицкий, – М.: КноРус, 2011. – 357 с.

28 Гаряев, А.Б. Энергосбережение при производстве и распределении тепловой энергии (в примерах и задачах) : учеб. пособие / А.Б. Гаряев, И.В. Яковлев, Г.П. Шаповалова, В.С. Агабабов. – М.: МЭИ, 2012. - 64 с.

29 Григорьев, В.И. Справочник энергетика / В.И. Григорьев. – М.: Колосс, 2006. – 205 с.

30 Данилов, Н.И. Энциклопедия энергосбережения / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков. – Екатеринбург: ИД «Сократ», 2002. – 352 с.

31 Девисилов, В.А. Охрана труда: учебник / В.А. Девисилов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ФОРУМ, 2009. -496 с.

32 Ижорин, М.Н. Дымовые трубы. Справочник / М.Н. Ижорин. – М.:. Теплотехник, 2004.

33 Карауш, С. А. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения / С.А.Карауш, А.Н. Хуторной. – Томск, 2003.

34 Кириллов, В. В. Расчет тепловых схем источников теплоснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / В. В. Кириллов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010.

35 Клименко, А.В. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. Справочник. (Теплоэнергетика и теплотехника; Кн.4) / А.В. Клименко, В.М. Зорина. – М.: Издательство МЭИ, 2004.

36 Липов, Ю.М. Котельные установки и парогенераторы: учебник для вузов / Ю.М. Липов, Ю.М. Третьяков. – М.: 2006.

37 Лумми, А.П. Расчет жаротрубно-дымогарного котла/ Лумми А.П., Мунц В.А. – Екатеринбург: Издательство ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2009. – 31 с.

38 Методика расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе от выбросов предприятий (утв. приказом Министра охраны ООС РК от 18 апреля 2008 года № 100-П.).

39 Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для вузов / Г. П. Плетнев. – М.: Издательский дом МЭИ,2009,352 с.

40 Росляков, П.В. Методы защиты окружающей среды: учебник для вузов / П В. Росляков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.- 336 с.: ил.

41 Самсонов, В. С. Экономика предприятий энергетического комплекса: учебник для студентов вузов/ В. С.Самсонов, М. А. Вяткин.– М.: Высшая школа, 2007.

42 Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е.Я. Соколов. – 7-е изд., стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2009.

43 Схема теплоснабжения трехгорного городского округа челябинской области на период 2014-2028 годы. Обосновывающие материалы. Книга 1. Существующее положение в сфере производства, передачи и потребления тепловой энергии для целей теплоснабжения / Консалтинговая компания «Корпус». – Новосибирск, 2014. – 176 с.

44 Тепловой расчет котлов: нормативный метод – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Издательство НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.

45 Фокин, В.М. Расчет и эксплуатация теплоэнергетического оборудования котельных: учеб. пособие с грифом УМО «Теплоэнергетика» / В.М. Фокин. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2004.

46 VIESSMANN: официальный сайт. – URL.: https://www.viessmann.ru.

47 Жаротрубный котел. Конструкция и применение. – URL.: http://kotlomaniya.ru/kotly/zharotrubnye-parovye-kotly.html.

48 Инструкция по охране труда при работе в котельной ИОТ - 061- 2001. – URL.: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/instructions/168/2655/

49 Крышная котельная в многоквартирном доме: СНиП, требования, отзывы. Автономная крышная котельная. – URL.: http://fb.ru/article/320907/kryishnaya-kotelnaya-v-mnogokvartirnom-dome-snip-trebovaniya-otzyivyi-avtonomnaya-kryishnaya-kotelnaya.

50 Крышные котельные – эксплуатация, достоинства и требования. URL.: http://kotlomaniya.ru/kotelnye/kryshnaya-gazovaya-kotelnaya.html.

51 Крышные котельные. – URL.: http://energo.kcnti.ru/stati/kryshnye-kotelnye.php.

52 Мероприятия по энергосбережению в котельных основы энергосбережения и энергоаудита. – URL.: http://msd.com.ua/osnovy-energosberezheniya-i-energoaudita/meropriyatiya-po-energosberezheniyu-v-kotelnyx/.

53 Проект схемы теплоснабжения города Челябинска до 2029 года. Книга 2 Существующее положение в сфере производства, передачи и потребления тепловой энергии для целей теплоснабжения. – URL.: http://dokipedia.ru/document/5320557.

54 Промышленная отопительная техника энтророс / официальный сайт. – URL.: http://entroros.ru/.

55 Тарифы на газ, электроэнергию и воду за 2018 г для предприятий. – URL.: http://www.forexcity.ru/information/zhkh/%D1%81helyabinsk.html.

56 Требования пожарной безопасности в газовой котельной. – URL.: http://pozhar.info/trebovaniya/trebovaniya-pozharnoj-bezopasnosti-v-gazovoj-kotelnoj.

57 Энергосбережение. – URL.: http://www.mosenergosbyt.ru/portal/page/portal/site/energy_saving.

58 Энергофлекс, теплоизоляция для труб. – URL.: http://www.elit-teplo.ru/energoflex.html.

59 Эффективное решение вопросов автономного теплоснабжения. Опубликовано в журнале СОК №12 / 2004. – URL.: https://www.c-o-k.ru/articles/effektivnoe-reshenie-voprosov-avtonomnogo-teplosnabzheniya.

60 Насосы Grundfoss: официальный сайт. – URL.: https://ru.grundfos.com/.

61 ЧТПЗ: официальный сайт. – URL.:http://www.chelpipe.ru/.

62 Челябинский завод железобетонных изделий ЖБИ-1: официальный сайт. – URL.: http://chelgbi1.ru/.

63 Росарматура: официальный сайт. – URL.: http://www.rosarmatura.ru/.