Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования

«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ТЕПЛОТЕХНИКИ И ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ _____
Подпись инициалы, фамилия
« ____» _____ 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Повышение эффективности работы котельных малой мощности

13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

13.04.01.01 Энергетика теплотехнологий

Научный руководитель _____ к.ф.-м.н., доцент Е. Б. Истягина
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Студент _____ А. В. Курсов
подпись, дата инициалы, фамилия

Красноярск 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
1. Состояние вопроса 6
1.1 Перспективы развития котельных 6
1.2 Перевод котельных с твердого топлива на газовое 7
1.3 Оборудование газовых котельных 9
1.4 Особенности котлов малой мощности на газовом топливе. 15
1.5 Экологическая составляющая 18
2. Методы и методология проведения расчетов 21
2.1 Расчетные методы 21
3. Выбор основного и вспомогательного оборудования котельной на газообразном топливе 24
3.1 Описание существующих котельных 24
3.2 Замена котельного оборудование, проведение расчетов 35
3.3 Контрольно-измерительные приборы,защита и автоматика котельной 44
3.4 Основные технико-экономические затраты 49
3.5 Снижение вредных выбросов в окружающую среду 50
3.5.1 Расчет концентрации вредных выбросов 51
3.5.2 Расчет максимальной приземной концентрации выбросов из дымовой трубы 54
3.5.3 Расчет минимальной высоты трубы 55
3.5.4 Компоновка технологической схемы котельной 60
Заключение 64
Список используемых источников 65

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время примерно половина потребляемых топливно-энергетических ресурсов расходуется на выработку электрической и тепловой энергии. Значительная часть этой выработки приходится на долю пылеугольных котельных, построенных в 50…79 годах. Установленное на них оборудование уступает современному по причине значительного физического износа и морального старения. Отсутствие в настоящее время достаточной материальной базы и финансовых средств не позволяет осуществить полную замену устаревшего оборудования на современное, а поэтому особую актуальность приобретают вопросы модернизации действующего основного оборудования котельных. Затраты на строительство котельной, ее проектирования весьма значительны. Самым простым и экономичным вариантом решения данной задачи может стать реконструкция или просто модернизация котельной.

Существует несколько путей для угольных электростанций: полная замена на новую ПГУ (парогазовая установка); демонтаж угольного котла и установка вместо него газовой турбины с котлом-утилизатором; перевод угольного котла на сжигание природного газа. Преимуществом последнего способа является очень низкие капитальные затратами по сравнению с двумя другими вариантами, минимальное воздействие на существующей цикл, быстрота реализации, и топливное резервирование, потому что вариант сжигания угля часто можно сохранить, а также снижение избытка воздуха в топке и уменьшение наружного загрязнения теплопередающих поверхностей и снижение затрат энергии на подготовку топлива.

В связи вопросы, связанные с экологическим и экономическим совершенствованием работы котельных, при сохранении их производительности, являются весьма актуальными.

Цель данной работы:

Повышение эффективности работы котельных малой мощности.

Объектом исследования являются (котельные расположенные п. Удачный, г. Красноярск. Это 4 котельные, котельная №7 «Ласточка», котельная №6 «Рыбзавод», котельная УК «Сосны», котельная п. Удачный.)

В работе решаются **следующие задачи**:

1. Обоснование перевода существующего комплекса котельных на газовое топливо.
2. Выбор основного и вспомогательного котельного оборудования, на базе данных, полученных при проведении соответствующих расчетов.
3. Расчет концентрации вредных выбросов в окружающую среду для реконструированного варианта.

Актуальность

В ходе развития мировая экономика пережила несколько энергетических переходов, переходя от древесного угля к каменному углю, затем доминировала нефть, а сейчас стремительно развивается потребление природного газа. Если ранее при энергопереходах руководствовались удобством и конкурентоспособностью затрат, то ныне важными становятся экологические аспекты выбора энергоносителей. В связи с декарбонизацией мировой экономики предполагается отказаться от использования угля в качестве энергоресурса из-за превышения допустимого уровня выбросов в атмосферу твердых углеродных частиц, окислов азота.

Актуальность выбранной темы определяется рядом преимуществ котельных, работающих на газовом топливе.

Благодаря автоматизации такая котельная работает без постоянного привлечения штата специалистов. Как правило, компании, занимающиеся производством и монтажом котельных, могут предоставить специалистов

при необходимости (ремонта, модернизации, замены деталей или ТО), но потребность в таком обслуживании возникает достаточно редко. Газовая котельная экономична и экологична, поскольку газ на сегодняшний день является одним из самых дешёвых видов топлива. Кроме того, в отличие от жидких или твёрдых видов топлива, он наносит минимальный вред атмосфере [3].

Правильно смонтированная и регулярно подвергающаяся ТО газовая котельная достаточно безопасна, хоть и относится к потенциально опасным видам оборудования [1].

Природный газ – выгодное топливо для котельных. Стоит отметить его практически повсеместную доступность в промышленных зонах Российской Федерации.

Тепловые газовые котельные, использующие в качестве топлива природный газ, имеют больший КПД (55-60%; для сравнения ,у угольной котельной – 32-34%) и существенно более низкие капитальные затраты 1 Гкал/час установленной мощности.

Неоспорима экономическая эффективность природного газа в сравнении с другими видами топлива и альтернативными источниками энергии. Газовые котельные возводят в 3-4 раза быстрее, чем современные угольные котельные.

Природный газ – наиболее экономически оправданное и доступное решение для потребителей и производителей тепловой энергии, умеющих считать свои деньги.

В связи с вышеизложенным можно сделать вывод, что решение проблем, возникающих при переводе котлов, работающих на твердом топливе, на природный газ, является весьма актуальным.

1 Состояние вопроса

1.1 Перспективы развития котельных

В экономике России энергосбережение и энергосберегающие технологии являются приоритетными при внедрении их в производство. В связи с этим важное место занимает всестороннее комплексное обследование теплоэнергетических систем и ресурсов (или энергоаудит). Знания принципов работы, расчета и эксплуатации теплоэнергетического оборудования котельных, по большому счету, позволяют определить, где, что, в каких количествах, куда и почему теряется. Альтернативы энергосбережению, безусловно, нет.

Эффективность, безопасность, надежность и экономичность работы теплоэнергетического оборудования котельных во многом определяются методом сжигания топлива, совершенством и правильностью выбора оборудования и приборов, своевременностью и качеством проведения пусконаладочных работ, квалификацией и степенью подготовки обслуживающего персонала. Повышение надежности и экономичности систем теплоснабжения зависит от работы котельных агрегатов, рационально спроектированной тепловой схемы котельной, широкого внедрения энергосберегающих технологий, экономии топлива, тепловой и электрической энергии.

Перевод предприятий на хозяйственный расчет и самофинансирование, повышение цен на топливо, воду требуют пересмотра подходов к проектированию и эксплуатации теплоэнергетического оборудования котельных [2].

Развитие теплогенерирующих установок определяется тенденциями развития общества в целом. Применительно к теплоэнергетическим установкам сравнительно не большой мощности особое внимание будут уделять использованию в качестве топлива местных ресурсов, промышленных и городских горючих отходов, продуктов переработки сельскохозяйственных отходов, а также экономному и рациональному использованию энергетических ресурсов, развитию энергосберегающих технологий, созданию систем с мак-

симальной автоматизацией производства с целью экономии трудовых ресурсов [5].

Следует отметить, что при производстве тепловой энергии из органического топлива с продуктами сгорания в атмосферу выбрасывается значительное количество вредных веществ в виде пыли, окислов серы, азота углерода и других соединений, влияющих на окружающую среду и как следствие на человека. Концентрация теплоэнергетических мощностей может привести к повышению уровня локальных вредных выбросов, что потребует значительных затрат на их улавливание и обезвреживание [4].

Для отопления жилых помещений и производственных цехов, а также в целях горячего водоснабжения конечного потребителя используют сегодня котельные установки. Самым важным элементом таких установок являются котлы, работа которых может осуществляться на разных видах топлива. Таких как газ, электричество, жидкое и твердое топливо.

1.2 Перевод котельных с твердого топлива на газовое

Большие запасы природного газа по сравнительно низким ценам и увеличение давления по поводу снижения вредных выбросов на угольных электростанциях, заставляет все больше задуматься об использовании газа. Что делать с существующими угольными котлами? Предпочтительным решением является перевод их на газ.

Котельные ,работающие на газовом топливе, имеют преимущества перед котельными, использующими уголь.

Так, при переводе котлов на газ повышается КПД на 5-8%, а следовательно, повышается и производительность котлов; при полном сгорании газа не загрязняется поверхность нагрева и дымохода, улучшаются условия труда обслуживающего персонала, становится возможной полная автоматизация работы котельной.

Для примера можно обратиться к опыту Подмосковья, власти которого отдают приоритет газовым котельным, потому что они позволяют снизить траты потребителей на горячее водоснабжение на 30%.«В Московской области активно ведется работа по переводу котельных на газ. Это более экологичный вид топлива по сравнению с мазутом или углем. Более того котельные, использующие газ, более экономичны. Положительный эффект заключается в том, что потребитель платит за воду намного меньше – в среднем на 30%. Если поставщиком услуг является котельная на мазуте, то стоимость воды для потребителя может составлять, к примеру, 3,5 тысячи рублей в месяц, а если котельная на газу, то 2,5 тысячи рублей» [6]. Перспективы развития региональных программ по использованию газа приведены в таблице 1.2.1

Таблица 1.2.1 - Потенциал перехода на примере отдельных субъектов [7].

	Наличие региональной программы	Проекты по газу
Республика Саха (Якутия)	1. Схема комплексного развития производительных сил, транспорта и энергетики Республики Саха (Якутия) до 2020 года 2. Государственная программа «Газификация населенных пунктов и обеспечение надежности объектов газового хозяйства Республики Саха (Якутия) на 2012–2024 годы»	Программой газификации запланировано строительство и реконструкция 52 (при интенсивном варианте — 74) котельных
Камчатский край		Реализуются 4 проекта по переводу существующих котельных с мазута на природный газ
Республика Карелия	Реконструкция, техническое	В рамках программы до

	перевооружение и строительство объектов теплоэнергетики на территории Северного Приладожья Республики Карелия на период до 2027 года	2027 года — строительство и реконструкция 63 котельных с параллельным закрытием 78 действующих

1.3 Оборудование газовых котельных

Устройство и принцип действия промышленных газовых котлов

Принцип действия отопительного устройства основан на сжигании газа в топке с сопутствующим нагревом теплоносителя.

По этому признаку котлы делятся на две группы:

с циркуляцией горячего воздуха (жаротрубные);

с нагревом жидкости почти до температуры кипения (водотрубные).

Паровые котлы устанавливаются на предприятиях, использующих пар в промышленном производстве.

Рисунок 1 – Промышленные газовые котлы

Газовая горелка

Главной частью любого котла является горелка. По типу подачи газа они делятся:

на инжекторные, засасывающие газ вместе с воздушной струей;

на надувные, применяющие принудительное нагнетание воздуха мощным вентилятором (Рисунок 2);

на диффузные, подающие газ к месту горения через специальные диффузионные каналы.

Рисунок 2 – Промышленный котел на газе марки Энтророс. В устройстве установлена надувная газовая горелка

Распространенная конструкция горелки — набор из нескольких параллельных стержневых устройств, которые расположены равномерно по всему объему топки. Они снабжены отверстиями для выхода смеси газа с воздухом и обеспечивают равномерный нагрев. Для повышения эффективности между стержнями помещают трубопровод с теплоносителем. Такие установки способны достичь КПД в 98—99%.

Еще один популярный вариант горелки промышленного котла мощностью от 100 кВт и выше имеет факельное устройство. На одной из стенок агрегата устраивается специальное сопло, в которое нагнетается газовоздушная смесь. Факельное горение хорошо показало себя в двух и трехходовых кот-

лах, используется для получения теплоносителя с температурой 115—120 градусов или пара.

Топочная камера

Для топки (Рисунок 3) мощного котла важно длительное время выдерживать высокую температуру. Жаропрочность обеспечивает использование специальных сталей с добавлением марганца, хрома и других легирующих компонентов. Стенки укрепляют гофрированием и окружают теплоизоляционной оболочкой.

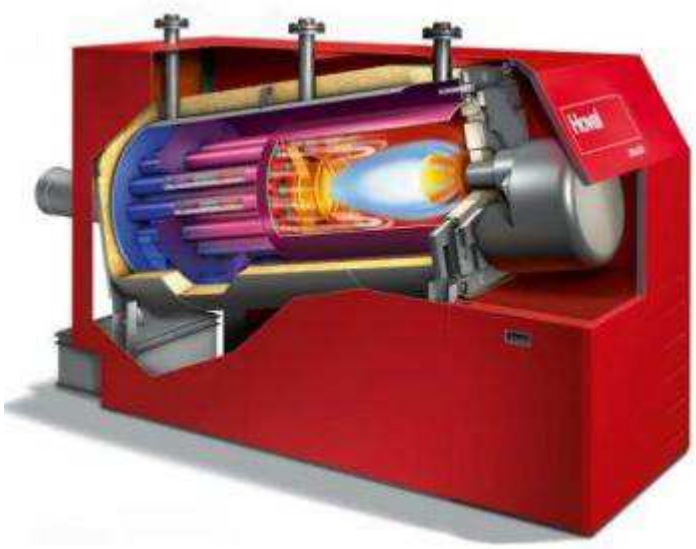

Рисунок 3 – Топочная камера

В водогрейных котлах в топке размещают один или два теплообменных контура, по которым циркулирует теплоноситель.

В паровых или котлах высокого давления применяются топочные экраны и теплообменник для получения тепла, а пар образуется в дымоходе, где температура дымовых газов снижается до 600—800 °С. В топочной камере парового котла размещают сепаратор и пароперегреватель. Безопасность эксплуатации обеспечивает взрывной клапан, который обязательно устанавливают на одной (чаще задней) стенке котла. Механизм срабатывает в случае превышения давления в топке.

Рисунок 4 – Промышленный газовый котёл водогрейного типа. Подобные устройства применяют для обогрева помещений.

На Рисунке 4 изображено промышленное газовое котельное оборудование, продуцирующее пар, снабжается надувной топочной камерой. Осуществляется принудительное нагнетание воздуха, что делает возможным поддержание высокой температуры, в пределах 1900°С. Принцип работы имеет следующие отличия:

- продукты сгорания поступают в дымоходный канал при температуре 800°С и используются для изготовления пара.

- тепло аккумулируется особыми топочными экранами и теплообменником, окружающим горелку и дымоходные каналы.

После прохождения через сложную конструкцию каналов, продукты сгорания остывают до температуры 100°С и применяются для подогрева теплоносителя системы отопления.

Дополнительным устройством топочной камеры парового котла, является сепаратор, удаляющий капельки влаги и пароперегреватель.

Автоматика и система управления

Сложность управления промышленным котлом связана с постоянно изменяющимися температурой и давлением воды, мгновенным расходом га-

за, забором воздуха для горелки и другими факторами. Чтобы исключить человеческий фактор, все управление осуществляется с помощью специальных контроллеров. Данные для их работы поступают с датчиков температуры, давления, расхода воздуха и газа. Для большей надежности в современных котлах автоматику разделяют на две части:

Автоматика подачи топлива, которая отвечает за работу модуляционной горелки и поддержание стабильной работы всей системы.

Автоматика для подачи газа – работает в двух базовых режимах на сжигание магистрального и сжиженного газа, что очень удобно и позволяет попеременно использовать каждый вид топлива. Автоматика отслеживает, параметры давления газа и выключает работу котла при достижении максимально допустимых значений и показателей.

Автоматика безопасности – представляет целую многоуровневую систему, контролирующую подачу и давление газа, наличие пламени на горелочном устройстве, электророзжиг, параметры тяги, температуру нагрева теплоносителя и многое другое. В некоторых котлах, помимо прочего, предусмотрена система самодиагностики, проверяющая работоспособность оборудования и сохраняющая результаты проверок в базе данных контролирующего процессора.

Водогрейные котлы

Такие котлы отличаются симметричным расположением теплообменников и работают по многоходовому принципу движения продуктов сгорания. Применяются для нагрева теплоносителя и отопления помещения. Максимальное давление воды в циркуляционном контуре — 16 бар. Мощность серийных котлов варьируется от 0,7 до 35 МВт. Этого достаточно для обогрева крупных цехов и промышленных зданий. Для ГВС к котлу подключают бойлер с подогревом от дымохода.

Паровые котлы

Паровой котел рассчитан на работу с высокой температурой теплоносителя. Получение пара происходит в два этапа. Первый — нагрев воды до

100 градусов и образование первичного пара, который пропускают через сепаратор для осушения. Второй этап заключается в повторном подогреве уже сухого пара до требуемой температуры. После этого пар готов к использованию. Парогенераторы выполняют сразу две задачи: нагревают теплоноситель для отопления зданий и производят пар. Чтобы увеличить эффективность такой установки, применяют дополнительные дымообороты, которые подогревают циркулирующую в трубах воду.

Теплогенераторы средней и большой мощности

Средняя мощность газовых котлов доходит до 2 МВт. Этого достаточно для отопления небольшого производства или поселка. Отоплением и водоснабжением отдельных городских микрорайонов и крупных промышленных предприятий заняты водогрейные котлы большой мощности (от 2 до 30 МВт). Такие установки имеют несколько отопительных контуров и рассчитаны на максимально эффективное использование тепловой энергии, получаемой от сгорания газа.

Когенерационные

Установки данного типа способны последовательно высвобождать тепловую энергию для отопления и водоснабжения, а затем и электрическую для обеспечения производства или микрорайона электроэнергией.

Преимущество когенерации (производства разной энергии из одного топлива) состоит в высоком КПД, который достигает 90%. Для получения электроэнергии используется газовый поршневой двигатель, излишки тепла от которого применяются для подогрева теплоносителя. Основной нагрев воды происходит в водогрейных котлах. Такая технология применяется в мини-ТЭЦ для работы в удаленных районах. На Рисунке 5 изображены два когенерационных котла, используемых для отопления и горячего водоснабжения.

Большое внимание при эксплуатации котельного оборудования на сжиженном или природном газе уделяется его безопасности.

Угрозу представляет взрывоопасность газа, поэтому помещение котельной имеет соответствующий класс опасности. Ввод прибора в эксплуата-

-цию и контроль за ней осуществляют органы Госнадзора. Для промышленных котлов разработаны обязательные требования по эксплуатации:

Обслуживание 2 раза в год.

Обязательна водоподготовка, фильтрация и умягчение.

Рисунок 5 – Два когенерационных газовых котла. Оборудование применяется для отопления и горячего водоснабжения.

Оборудование помещения котельной датчиками газа, пожарной сигнализацией и первичными средствами пожаротушения.

Все допущенные к управлению котлом лица проходят специальную подготовку [8].

1.4 Особенности котлов малой мощности на газовом топливе

Ключевым оборудованием любой котельной является сам котел. Развитие конструкций водогрейных котельных установок в начале своего пути шло двумя направлениями: водотрубным или газотурбинным. В первом случае вода циркулирует в трубах, омываемых продуктами сгорания с наружи. Во втором наоборот, газы заключены в дымогарные или жаровые трубы, а вода циркулирует в межтрубном пространстве, омывая поверхность нагрева. Водотрубные котлы более металлоёмки, обладают большим гидравлическим

сопротивлением и более чувствительны к гидравлическому режиму. В связи с этим в настоящее время среди водогрейных котельных установок малой и средней мощности широкое распространение получили жаротрубно-дымогарные водогрейные котельные установки.

В данных установках водяное пространство пронизывают топочная камера и ряд дымогарных труб. За счет большого водяного объема эти котлы имеют плавный режим работы. Горение газа в данных установках происходит в жаровой трубе (топке). Продукты сгорания топлива, дойдя до дна топки, разворачиваются и двигаются по периферийной части к передней части котла (двери). Далее дымовые газы вновь разворачиваются от двери и попадают в дымогарные трубы второго хода, в которых, в ряде установок, предусмотрены турбулизаторы, обеспечивающие завихрение и снижение скорости потока газа, в результате обеспечивается более эффективное использование тепла продуктов сгорания. Вокруг топки находятся водяной объем котла, он значительно больше водотрубных, что обеспечивает более равномерный режим работы. Пройдя дымогарные трубы уходящие газы попадают в сборный дымовой короб и оттуда в газоход [9].

В настоящее время производство жаротрубно-дымогарных котлов налажено как в России, так и в Европе. Рассмотрим отечественные и зарубежные котельные установки. [11]

Среди российских производителей наибольшее распространение получили котельные агрегаты от производителя Дорогобуж. Данное предприятие специализируется на выпуске водогрейных и паровых котельных установок. Рассмотрим на примере котельного агрегата КВ-ГМ-7,56-115Н [9].

Среди зарубежных производителей наибольшее распространение получили водогрейные котельные установки фирмы Buderus (Германия). Линейка котельных агрегатов данного производителя очень широка, и включает, в себя ряд как паровых, так и водогрейных котлов различных мощностей. Проведем сравнение с котельным оборудование серии Buderus Logano S825L [10].

Сравнение указанных выше котельных установок показано в таблице 1.4.1, в которой представлены технические характеристики котлов указанных выше производителей.

Таблица 1.4.1– Сравнение КВ-ГМ-7,56-115Н и Buderus Logano S825L

Параметр	КВ-ГМ-7,56-115Н	Buderus Logano S825L
Топливо	природный газ, дизельное топливо	Природный газ, легкое жидкое топливо
Номинальная тепловая мощность, кВт	7560	7600
Максимальная температура воды на входе в котел, °С	115	115
Минимальная температура воды на входе в котел, °С	70	70
КПД, %	94,5	93
Температура уходящих газов, °С	не менее 118	161-167
Масса, кг	1570	1240
Габариты, Д×Ш×В, м	9,232×3,182×3,125	5×2,274×2,260
Система автоматики	ЩКА-1-8	Logamatic 4212

Из таблицы видно,что котел от производителя Дорогобуж КВ-ГМ-7,56-115Н имеет более низкую температуру уходящих газов. При этом производительность данного котла не сильно отличается от производительности зарубежного котла. Оба котла поставляются с комплектом автоматики.

Подведя итог, можно сделать вывод о том, что в настоящее время могут эффективно применяться как зарубежные, так и отечественные аналоги, данные котлы обладают одинаковым КПД.

1.5 Экологическая составляющая

С ростом промышленного производства увеличивается загрязнение атмосферы Земли и ее водоемов вредными химическими соединениями, содержащимися в выбрасываемых продуктах сгорания и различных жидких стоках. Дальнейшее развитие промышленности и рост городов также требуют развитие энергетики, причем основная роль в этом принадлежит источникам энергии, сжигающим органическое топливо. При производстве тепловой энергии в виде пара или воды расходуются два основных рабочих вещества – топливо и вода. На данный момент в мире сжигается приблизительно 10 млрд т у. т.; если принять ориентировочно, что при сжигании 1 кг топлива образуется около 10 $м^3$ продуктов сгорания, то можно оценить общий выброс через дымовые трубы электро- и теплостанций и промышленных печей в атмосферу Земли. Выброс составит около 10^{14} $м^3$ продуктов сгорания.

На нужды теплоэнергетики ежегодно расходуется около 250 $км^3$/год воды, причем безвозвратные потери составляют около 15 $км^3$/год, а остальная вода сбрасывается и несет в себе различные химические вредные для окружающей природы соединения. В настоящее время на каждого жителя промышленно развитых стран приходится ежегодно как минимум 2,25 кг различных загрязнителей, выбрасываемых через дымовые трубы, в том числе 1,5 кг/чел газообразных и 0,75 кг/чел твердых. В следствии сбросов в реках и озерах увеличивается концентрация различных химически активных веществ, которые в свою очередь очень пагубно влияют на флору и фауну водоемов.

Во всем мире при сжигании различных видов органического топлива трубы промышленных предприятий выбрасывают огромное количество продуктов сгорания (дымовых газов). За каждые 12 – 14 лет происходит удвоение выбрасываемых токсичных веществ и уже на данный момент Земля не в состоянии переработать и полностью восстановиться от загрязняющих её выбросов. В продуктах сгорания, выбрасываемых в атмосферу, содержится

вредные компоненты, основными из которых являются: 1) твердые частицы при сжигании твердого и жидкого топлива; 2) газообразные оксиды серы SO_2, SO_3; 3) оксиды азота NO_x; 4) оксид углерода CO; 5) диоксид углерода CO_2; 6) углеводороды; 7) бензапирен. Обычно зола топлива не содержит токсичных веществ. Однако в золе донецких антрацитов содержится незначительное количество мышьяка, в золе кузнецких углей – диоксид кремния, в золе Канско-Ачинского угля – свободный оксид кальция.

Одним из основных видом топлива за Уралом является уголь. В нем содержатся различные минеральные негорючие примеси, которые, балластируя уголь, уменьшают его теплоту сгорания, снижают интенсивность и полноту сгорания и обуславливают высокую концентрацию летучей золы в продуктах сгорания.

Наиболее опасное влияние на организм человека оказывают вещества выбрасываемые вместе с продуктами сгорания к ним относятся: 1) оксид углерода CO; 2) оксид серы SO_2 и SO_3; 3) оксид азота NO_x. При вдыхании воздуха с содержанием в нем 0,04 % оксида углерода в крови человека в соединении с ним вступает до 30% гемоглобина крови, а при содержании 0,1% CO в соединение с ним вступает до 50 % гемоглобина, что очень вредно сказывается на здоровье человека. При содержании в воздухе CO да 0,4 – 0,5 % вдыхание воздуха уже в течении нескольких минут опасно для жизни. Опасность усугубляется тем, что оксид углерода не обладает ни запахом, ни цветом. Очень вредно воздействует оксид углерода уже при небольших содержаниях на физиологические центры человека, что сказывается на способности человека управлять автомашиной.

В результате медико-биологических исследований установлено, что при кратковременном воздействии на человека диоксида серы с концентрацией 130 – 650 мг/м^3 наступает сильное раздражение голосовых связок и последующее удушье. При концентрациях, превышающих 26 мг/м^3, наблюдается раздражение глаз и дыхательных путей. Меньшая концентрация SO_2 для людей, по-видимому, безвредна. Это подтверждается состоянием здоровья

людей, работающих на производстве, где концентрация SO_2 составляет 6,5 мг/м^3. Характерно, что диоксид серы наиболее опасен в тех случаях, когда он действует совместно с другими соединениями. Роль последних сводится к тому, что они способствуют более глубокому проникновению SO_2 в дыхательные органы человека. Особенно чувствительны к диоксиду серы растения. Даже при концентрации SO_2, раной 1,3 – 1,6 мг/м^3, в них нарушаются процессы фотосинтеза. При длительном воздействии SO_2 растения гибнут. В сочетании с большой запыленностью и влажностью воздуха вредное воздействие диоксида серы резко возростате. В этих случаях опасность для здоровья людей появляется даже при обычно безвредных концентрациях диоксида серы 0,584 мг/м^3, и поэтому принята норма предельно допустимой концентрации 0,5 мг/м^3.

В продуктах горения любых топлив, содержащих углеродистые соединения, в случае недостатка воздуха для полного сгорания и нарушениях условий сжигания появляется оксид углерода. Оксид углерода – чрезвычайно сильный отравляющий газ, его соединение с гемоглобином крови человека в 200 раз активнее, чем кислорода. При сжигании углеводородных топлив при температуре свыше 1500 °С образуются весьма вредные для человека оксиды азота. Из-за того, что он очень ядовит его содержание в воздухе должно быть ограничено [12].

Нынешний уровень технологий не позволяет отказаться от использования традиционных энергоносителей: угля, нефти, природного газа. Однако повысить эффективность их использования с целью снижения выбросов возможно уже сейчас.

2. Методы и методология проведения расчетов

В данной главе описываются методы проведения расчетов.

2.1 Расчетные методы

Основная задача отопительных котельных – это устойчивое бесперебойное снабжение потребителей теплом и горячей водой.

Цель отопления – поддержание температуры внутреннего воздуха в помещении на заданном уровне. Температура воздуха в помещении зависит от назначения помещения, а в промышленных зданиях от характера выполняемых работ. В частности,

для жилых зданий - от 18 до 20 ℃;

для промышленных зданий - от 16 до 20 ℃;

для общественных зданий - от 14 до 25 ℃.

Расчет отпуска тепла на отопление

Для поддержания температуры воздуха в помещении постоянной необходимо обеспечить равенство теплопотерь и теплопритоков. Потери тепла обусловлены теплопередачей через ограждения, на которых перепад температур более 5 ℃ - , а также инфильтрацией, $Q_{\text{инф}}$ - затрат тепла на нагрев воздуха, поступающего извне через неплотности ограждений.

$$Q_T + Q_{\text{инф}} = Q_T\left(1 + \frac{Q_{\text{инф}}}{Q_T}\right) = Q_T(1 + \mu) \tag{2.1}$$

$\mu = \frac{Q_{\text{инф}}}{Q_T}$ – коэффициент инфильтрации.

В производственных помещениях тепло расходуется также на нагрев материалов и транспортных средств, поступающих извне - $Q_{\text{мт}}$.

Приток тепла в помещения осуществляется через отопительные установки - $Q_{\text{о}}$ и от внутреннего тепловыделения - $Q_{\text{вт}}$.

В общем случае баланс тепла можно записать в виде:

$$Q_T + Q_{\text{инф}} + Q_{\text{мт}} = Q_0 + Q_{\text{вт}} \tag{2.2}$$

Для жилых и общественных зданий:

$Q_{\text{мт}} = Q_{\text{инф}} = Q_{\text{вт}} = 0$, тогда $Q_0 = Q_T$

Для производственных помещений:

$$Q_{\text{о}} = Q_T(1 + \mu) + Q_{\text{мт}} - Q_{\text{вт}} \tag{2.3}$$

$Q_{\text{инф}}$ в производственных помещениях может составлять 25…35 % от $Q_{\text{о}}$

$$\mu = b\sqrt{2gL\left(1 - \frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{в}}}\right) + W^2} \tag{2.4}$$

Здесь:

b – постоянная инфильтрации, b=(35…40)10^{-2};

g – ускорение свободного падения;

L – высота проема в который поступает воздух;

$T_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, К;

$T_{\text{в}}$ – температура воздуха в помещении, К;

W – скорость ветра, м/с.

Определение расхода тепла на отопление по объему здания

$$Q = q_0 V(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \tag{2.5}$$

где: q_0 – отопительная характеристика здания, зависящая от объема и назначения здания. Приводится в СНиП;

V- объем здания по наружному замеру.

Максимальные потери тепла и, соответственно, максимальный отпуск тепла на отопление определяется по расчетной температуре для отопления - $t_{но}$. Это средняя температура наиболее холодной пятидневки из восьми зим за последние 50 лет.

При расчете по укрупненным показателям при отсутствии перечня зданий с указанием их назначения $t_в$ принимают равной 18 ℃, если $t_{но} \geq$ -31 ℃ и равной 20 ℃, если $t_{но} \leq$ -31 ℃.

Для жилых и общественных зданий расчетное количество тепла на отопление определяется по формуле:

$$Q_о^` = Q_в^` = q_0 V(t_в - t_{но}) \quad (2.6)$$

При $t_н > t_{но}$

$$Q_о = Q_о^` \frac{t_в - t_н}{t_в - t_{но}} \quad (2.6)$$

Для экономного использования топлива большое значение имеет правильный выбор начала и конца отопительного периода. По СНиПу начало и конец отопительного периода принимается при значении среднесуточной температуры равной +8 ℃. Для производственных помещений с внутренними тепловыделениями отопительный период начинается при той температуре наружного воздуха, при которой $Q_T = Q_{вт}$.

Для промышленных зданий:

При $t_н \leq t_{но}$:

$$Q_о^` = q_0 V(t_в - t_{но})(1 + \mu) + Q_{мт} - Q_{вт} \quad (2.7)$$

При $t_н > t_{но}$

$$Q_{\text{о}} = q_0 V \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{но}}}(1 + \mu) + Q_{\text{мт}} - Q_{\text{вт}} \quad (2.8)$$

Длительность отопительного периода определяется числом суток с устойчивой среднесуточной температурой меньшей и равной +8 ℃.

Определение расхода тепла на отопление по площади застройки

Такой способ определения расхода тепла применяется только для жилых районов. При $t_{\text{н}} \leq t_{\text{но}}$

$$Q_{\text{о}}^{`} = q_F F(1 + k_1) \quad (2.9)$$

где:

q_F – отпуск тепла на 1 м^2 площади застройки, Вт/ м^2;

F- площадь застройки, м^2.

$F = f_{\text{уд}} z$,

где: z – число жителей;

$f_{\text{уд}}$ = 12,5 м^2 / чел – для зданий построенных до 1980 года;

$f_{\text{уд}}$= 18 м^2 / чел – для зданий, построенных после 1980 года;

k_1=0.25 – коэффициент, учитывающий отпуск тепла на отопление общественных зданий.

Расчет тепловой нагрузки позволяет однозначно определить необходимую тепловую мощность котельной.

3. Выбор основного и вспомогательного оборудования котельной на газообразном топливе

3.1 Описание существующих котельных

В качестве объекта исследования в данной работе были приняты котельные расположенные п. Удачный, г. Красноярск на рисунке 6 показано

расположение их на карте города. Это 4 котельные, котельная №7 «Ласточка», котельная №6 «Рыбзавод», котельная УК «Сосны», котельная п. Удачный. Они обеспечивают теплом, жилые дома, школа, Красноярский краевой клинический центр охраны материнства и детства, Свято-Успенский мужской монастырь [17].

Рисунок 6 – Расположение действующих котельных п. Удачный

Котельная №7 «Ласточка»

Данная котельная относится к классу твердотопливных и работает на буром угле марки 2Б добывающемся в Бородинском разрезе, который в свою очередь входит в состав Канско-Ачинского угольного бассейна. Основой всех котельных являются теплогенерирующие установки. Установленная тепловая мощность 0,99 Гкал/час. В нашем случае это 3 котла с ручным забросом. Теплогенерирующие установки расположены ниже нулевой отметки, 2 котла марки Универсал-6,год изготовления 1988г. Один котел марки ВВХДБ 24-52-001, год изготовления 1989г. В таблице 3.1.1 представлены параметры котлов.

Таблица 3.1.1 Параметры котлов

Параметр	Универсал-6	ВВХДБ 24-52-001
Теплопроизводительность котла Гкал/час	0,3	0,7
Площадь поверхности нагрева $м^2$	33	60
Максимальная температура воды на выходе в котел, °С	95	95
Минимальная температура воды на входе в котел, °С	70	70
КПД, %	67	70
Масса, кг	2680	3200
Габариты, Д×Ш×В, м	2,122×2,060×3,200	2,750×1,850×3,7

Котел «Универсал-6», с ручной топкой для антрацита и каменного угля, предназначается для теплоснабжения жилых, общественных и промышленных зданий.

Водогрейный котел может работать с абсолютным давлением воды до 0,7 МПа (7,кгс/см2) и температурой нагрева воды до 115С.

Водогрейный котел Универсал-6 (Рисунок 7) собирается из двух видов секций: крайних и средних. Секции собираются в два пакета при помощи конических ниппелей и стяжных болтов, проходящих через отверстия этих ниппелей. Пакеты устанавливаются на кирпичные стенки топки и соединяются между собой при помощи отводов и тройников, к передним секциям котла крепится фронтовая плита, которая оборудована загрузочной и зольниковой дверками. Во фронтовой плите предусмотрены отверстия для крепления дутьевого отвода, служащего для подачи воздуха в топку. Топка котла оборудована колосниками, которые устанавливаются на колосниковые балки, заделанные в кирпичные стенки топки. С обеих сторон котла, вдоль его оси, выполнены из кирпича боковые газоходы, в которых (за котлом) установле-

ны шиберы. Далее боковые газоходы котла соединяются с боровом, снаружи боковые, передние и задние стенки пакетов котла футерованы теплоизоляционной мастикой. Верхняя часть котла обмурована кирпичом.

Принцип работы водогрейного котла «Универсал-6» Питание котла водой осуществляется через нижний тройник, откуда вода направляется в секции правого и левого пакетов котла, нагревается и через верхний передний тройник поступает в отопительную систему.

Рисунок 7 - Водогрейный котел Универсал-6

Топливо сжигается на колосниковой решетке, а образовавшиеся продукты сгорания поднимаются вверх, омывая поверхности секций и, повернув вокруг разделительных (стыкующихся) ребер секции каждого пакета котла, опускаются по газовым каналам, образованным ребрами секций, в боковые газоходы котла и далее направляются в боров. Регулирование тяги котла осуществляется шиберами, управляемыми при помощи троса с противовесом, выведенным через систему блоков на фронт котла. Очистка поверхностей секций от сажи и уноса производится через верхние проемы, образованные секциями котла, закладываемые кирпичом.

Аналогично устроен котёл ВВХДБ 24-52-001 (Рисунок 8).

Рисунок 8- Котёл ВВХДБ 24-52-001

На все 3 котла установлен дымосос ДН-9-1500 об/минуту (Рисунок 9), также есть резервный дымосос ДН-9-1500 об/минуту.

Рисунок 9 - Дымосос ДН-9-1500

К потребителям подают воду с помощью сетевого насоса КМ 80-50-160 в резерве стоят два насоса: 1) КМ 80-50-160 .2) КМ-100-65-200 В случаи отключения холодной воды, есть резервный бак . 2 котла работают на систему отопления,1 котел Универсал-6 работает на систему ГВС. Стоит бак ГВС где

нагретая вода смешивается с холодной, и на насосом К 20/30,подается потребителям.

Котельная №6 Рыбзавод.

Данная котельная относится к классу твердотопливных и работает на буром угле марки 2Б добывающемся в Бородинском разрезе, который в свою очередь входит в состав Канско-Ачинского угольного бассейна. Основой всех котельных являются теплогенерирующие установки. Установленная тепловая мощность 6 Гкал/час В нашем случае это 4 котла, расположенных на разных уровнях. Первый и второй котлы расположены на 0, а третий и четвертый ниже нулевой отметки. Теплогенерирующие установки расположенный на 0 это котлы марки КВ-1-ФС, а два других КВр-2.0. Параметры котлов представлены в Таблице 3.1.2.

Таблица 3.1.2 Параметры котлов.

Параметр	КВ-1-ФС	КВр-2
Теплопроизводительность котла Гкал/час	1,0	1,72
Площадь поверхности нагрева $м^2$	42	50
Максимальная температура воды на выходе в котел, °С	95	95
Минимальная температура воды на входе в котел, °С	70	75
КПД, %	84,5	Не менее 83
Температура уходящих газов, °С	200	200
Масса, кг	1870	1832
Габариты, Д×Ш×В, м	3,282×2,244×3,250	2,750×1,850×2,9
Стоимость, тыс. руб.	600000	850000

Водогрейный котел КВр-2 используется в промышленности для получения горячей воды с температурой на выходе равной 115 °С и рабочим дав-

лением до 0,6 (6,0) МПа (кгс/см). Котел используется в системах централизованного теплоснабжения для нужд отопления и горячего водоснабжения.

Водогрейный котел 2 МВт (Рисунок 10) выполняется двухблочным - блок котла и ручная колосниковая топка. Блок котла представляет собой сварную конструкцию, состоящую из трубной системы (радиационной и конвективной поверхности нагрева), опорной рамы и каркаса с теплоизоляционными материалами, обшитого листовой сталью. Котел 2 МВт имеет башенную компоновку. Топочная камера котла состоит из труб диаметром 57х3,5 мм. Конвективная поверхность нагрева состоит из пакетов, выполненных из труб диаметром 57х3,5 мм змеевиковой формы, для интенсификации теплообмена трубы пакетов расположены в шахматном порядке, между ребрами змеевиков вварены пластины. Газы в конвективной части проходят один ход и выходят через газоход в верхней части задней стенки котла. Топочная камера водогрейного котла выполнена газоплотной путем плавникового оребрения. В газоплотной части котельного блока изоляция выполнена облегченной из плит ПТЭ. В негазоплотной части котельного блока теплоизоляция выполнена из муллитокремнеземистого картона и войлока. Обшивка водогрейного котла выполнена из стальных листов. Для очистки конвективных поверхностей нагрева от сажистых и золовых отложений предусмотрен люк.

Рисунок 10 – Котел марки КВр-2.0

Под решеткой котельный блок имеет воздушный короб с лючком для очистки короба от золы и шлака. Короб служит для распределения воздуш-

ного потока, поданного вентилятором. В нижней части конвективной поверхности находится зольный бункер с лючком для очистки его от золы. Топливо забрасывают равномерным слоем на колосники через загрузочное окно, закрывающееся топочной дверцей. Зола проваливается через отверстия в колосниках в воздушный короб-зольник. Аналогично устроен котёл КВ-1-ФС (Рисунок 11).

Рисунок 11 – Котел марки КВ-1-ФС

На каждую пару котлов установлен свой дымосос. Для котлов КВр-2 стоит дымосос ДН-12.5-1500 (Рисунок 12), а для котлов КВ-1-ФС установлен ДН-8-1500 также есть резервный дымосос ДН-12.5-1500.

Рисунок 12 - Дымосос ДН-12.5-1500 и ДН-8-1500

К потребителям подают воду с помощью сетевого насоса д320/50 в резерве стоят два насоса: 1) Д320/50 2) Д200/36. В случае отключения холодной воды, есть резервный бак к нему подключен подпиточный насос, благодаря которому поддерживается необходимое давление холодной воды.

Верхние котлы работают на ручной подаче угля для нижних установлены ПМЗ (пневмо-механический забрасыватель). НА ПМЗ сверху установлены бункера. Загрузку топлива осуществляют с помощью нории, после чего уголь попадает на транспортерную ленту, а по ней при помощи рассекателей, он попадает в бункера.

Котельная «Санаторий Енисей»

Установленная тепловая мощность 6,09 Гкал/час В нашем случае это 4 котла. 3 котла марки КВР 1,1, 1 котел КВР 1,6 (Рисунок 13). Подача угля в топку осуществляется вручную.

Водогрейный котел КВр-1,1-95ОУР-К (Рисунок 14) предназначен для получения горячей воды номинальной температурой на выходе из котла 95°С рабочим давлением до 0,6 (6,0) МПа (кгс/см²), используемой в системах централизованного теплоснабжения на нужды отопления, горячего водоснабжения. Котел предназначен для работы по одноконтурной или двухконтурной

схемам теплоснабжения с принудительной циркуляцией воды. Вид сжигаемого топлива: каменный и бурый уголь.

Котел КВр-1,1-95ОУР-К состоит из двух частей: топочной и конвективной. Образующиеся в топочной камере дымовые газы поднимаются вверх, омывают трубы конвективной поверхности, нагревая циркулирующую в них воду, и выводятся через окно над котлом посредством дымососа в дымовую трубу. У котла под решеткой ручной топки ОУР находится воздушный короб с лючком для очистки короба от золы и шлака. Топливоподача и шлакозолоудаление осуществляются вручную. Короб служит для распределения воздушного потока, поданного вентилятором поддува. Перед котлом устанавливается вентилятор ВЦ14-46 (3кВт/3000), за котлом - дымосос ДН-6,3-1500. Регулирование расхода воздуха производится при помощи шиберной заслонки. Возможна работа котла за счет естественной тяги, создаваемой дымовой трубой.

Для обеспечения циркуляции воды через котел применяется циркуляционный насос. Давление, создаваемое насосом, контролируется манометром, установленным на напорном трубопроводе насоса. На выходном коллекторе предусмотрена установка двух предохранительных клапанов.

Рисунок 13 - Котел марки КВР 1,1

Рисунок 14 - Котел марки КВР 1,6

В связи с тем, что теплоснабжение осуществляется от угольных котельных. Необходим найти замену угольному топливу, для того чтобы уменьшить выбросы, производимые котельной. Так как район считается экологически чистым, выбираем газ в качестве топлива, что в свою очередь значительно улучшит экологическую обстановку района и г. Красноярска в целом. Для этого произведем замену существующим котлам, из-за износа, их реальный КПД существенно уменьшился, относительно паспортного значения. Высокий износ оборудования, а также частые поломки не позволяют обеспечить потребителя качественной тепловой энергией.

Проведенный в главе анализ теплотехнического оборудования работающих котельных позволяет сделать вывод о необходимости реконструкции существующих котельных, предполагающей перевод котельных на газообразное топливо с заменой существующих 4 котельных на 1, более современную.

3.2 Замена котельного оборудование, проведение расчетов

Определим теплопроизводительность и количество котлов, необходимых для замены существующих.

Необходимые климатологические характеристики для расчета.

Город – Красноярск

Температура внутреннего воздуха $t_{в} = 20℃$

Продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха меньше 8 ℃ - 234 сут.

Температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневке $t_{н,о} = -40℃$

Определение расхода теплоты на отопление по площади застройки [24].

$$Q_0^{`} = q_f \cdot F \cdot (1 + k_1) \quad (3.1)$$

$q_f = 80\ \frac{Вт}{м^2}$ – отопительная характеристика или отпуск теплоты на 1 $м^2$ площади застройки

$F =$ – общая площадь отапливаемых домов

k_1 – коэффициент учитывающий отпуск теплоты на отопление

$$Q_0^{`} = 80 \cdot 116370 \cdot (1 + 0{,}25) = 11{,}63\ МВт$$

Расчетное значение нагрузки на систему отопления для температуры+8 $С^0$

$$Q_0^{+8} = 11{,}63 \cdot \frac{20 - 8}{20 + 34} = 2{,}58\ МВт$$

Годовой расход воды на отопление

$$Q_{\text{о}}^{\text{год}} = Q_{\text{о}}^{`} \cdot n_0 \quad (3.2)$$

$n_0 = 86400 \cdot 234$ – продолжительность работы системы отопления

$$Q_{\text{о}}^{\text{год}} = 11{,}63 \cdot 86400 \cdot 234 = 235{,}13 \cdot 10^6 \text{ МВт}$$

Значения температур сетевой воды в зависимости от температур наружного воздуха определяются методом регулирования тепловых нагрузок и температурным графиком тепловой сети. В данном случае – качественное регулирование по отопительной нагрузке в закрытой системе теплоснабжения при температурном графике теплосети 95/70 ℃ [25].

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 $t_{\text{г}} = 65℃$. Поэтому при определенной температуре наружного воздуха происходит смена метода регулирования с качественного на количественное [26].

Температуры воды в подающем и обратном трубопроводах:

$$t_{01} = t_{\text{в}} + \Delta t_0^{`} \cdot Q_0^{``0,8} \cdot (\delta t_0^{`} - 0{,}5 \cdot \theta_0^{`}), \quad (3.3)$$

$$t_{02} = t_{\text{в}} + \Delta t_0^{`} \cdot Q_0^{``0,8} \cdot (\delta t_0^{`} - 0{,}5 \cdot Q_0^{``} \cdot \theta_0^{`}), \quad (3.4)$$

где: $\Delta t_0^{`}$- температурный напор отопительного прибора при расчетном режиме, ℃;

$Q_0^{``}$- относительная величина нагрузки отопления, ℃;

$\theta_0^{`}$- перепад температур в узле смешения при расчетном режиме, ℃;

$t_{01}^{`}$- расчетная температура воды в подающем трубопроводе, 95 ℃;

$t_{02}^{`}$- расчетная температура воды в обратном трубопроводе, 70 ℃;

$t_{03}^{`}$- температура воды в стояке местной системы после смешения на вводе, 90℃;

$$\Delta t_0^{`} = \frac{t_{03}^{`} + t_{02}^{`}}{2} - t_в \quad (3.5)$$

$$\Delta t_0^{`} = \frac{90+70}{2} - 20 = 60℃$$

$$Q_0^{``} = \frac{t_в + t_н}{t_в - t_{но}} \quad (3.6)$$

$$\delta t_0^{`} = t_{01}^{`} - t_{02}^{`} \quad (3.7)$$

$$\delta t_0^{`} = 95 - 70 = 25℃$$

$$\theta_0^{`} = t_{03}^{`} - t_{02}^{`} \quad (3.8)$$

$$\delta t_0^{`} = 90 - 70 = 20$$

Таблица 3.2.1 – Температура сетевой воды

$t_н$℃	+8	-9	-10	-13	-16	-19	-22	-25	-28	-31	-34	-37
t_{01}℃	50	51,7	53,4	58,3	63,2	67,9	72,6	77,2	81,7	86,2	90,6	95
t_{02}℃	44,3	41,3	42,4	45,8	49,1	52,3	55,4	58,4	61,4	64,3	67,2	70

t_{01} – температура воды в подающем трубопроводе, ℃;

t_{02} – температура воды в обратном трубопроводе, ℃.

Максимальная тепловая нагрузка (с учетом потерь в тепловых сетях) при расчётной температуре наружного воздуха $t_{но} = -40$ ℃

$$Q_0^{`} = 11{,}63 \text{ МВт}$$

Расход тепла на собственные нужды отопительной котельной 3%, таким образом, суммарная мощность котельных агрегатов должна составлять [13].

$$11{,}63\ \text{МВт} \cdot 1{,}03 = 11{,}97\ \text{МВт}$$

Температурный график котлового контура 115/70 ℃

Температурный график тепловой сети 95/70 ℃

Топливо для работы котельной – комбинированное: газ или дизельное топливо.

В соответствии с исходными данными и результатами расчета нагрузок на отопление, и ГВС, а также учётом параметров теплоносителя принимаю к установке 3 котла КВ-ГМ -7,56-115Н, произведенные на ОАО «Дорогобуж-котломаш» [10], его характеристика представлена в таблице 3.2.2, при этом общая мощность котельной составит 22,68МВт. Котельные агрегаты КВ-ГМ зарекомендовали себя как надежное, легкоремонтируемое и эффективное оборудование с КПД около 94%. Для котлов КВ-ГМ-7,56-115Н применяются горелки фирмы Cib Unigas P1030.

Таблица 3.2.2 – Техническая характеристика котла КВ-ГМ-7,56-115Н [10].

Наименование	Ед.изм.	КВ-ГМ-7,56-115Н
Теплопроизводительность	МВт (Гкал/ч)	7,56(6,5)
Рабочее давление теплоносителя	МПа	0,43
Номинальная температура воды: - на входе - на выходе	℃	 70 115
Температура уходящих газов	℃	118
Водяной объем котла	$м^3$	1,3

Водогрейные котлы КВ-ГМ-7,56-150Н, КВ-ГМ-7,56-115Н предназначены для получения горячей воды давлением до 1,6(16,3) МПа(кгс/см2) и номинальной температурой 150°С и давлением до 0,9(9,1)МПа(кгс/см2) при номинальной температуре 115°С, используемой в системах отопления и горячего водоснабжения промышленного и бытового назначения, а также для технологических целей. Котлы выполнены в газоплотном исполнении, имеют горизонтальную компоновку, состоят из топочной камеры и конвективного газохода.Топочная камера, состоящая из потолочного, подового и двух боковых экранов, экранирована трубами Ø60х3мм с шагом 80мм, входящими в коллекторы Ø159х7 мм. Между трубами завариваются пластины шириной 20мм, обеспечивающие газоплотность панелей топки котла. Трубы боковых экранов, расположены горизонтально. Конвективная поверхность нагрева, находящаяся следом за топочной камерой, состоит из U-образных ширм из труб Ø32х3 с шагом S_1=80мм и S_2=33мм. Боковые стены конвективного газохода закрыты горизонтально расположенными трубами Ø60х3мм и завариваются в вертикальные коллектора Ø159х7мм. Между потолочными и подовыми трубами конвективного газохода завариваются пластины шириной 20мм, обеспечивая газоплотность панелей котла. Газоплотность боковых стенок обеспечивается путем приварки уголка 32х32х4. Доступ к конвективным поверхностям обеспечивается за счёт расположенного над конвективной камерой прямоугольного лаза 400х450мм и лаза в коробе газовом коробе. Циркуляция воды в котле принудительная. Подвод воды осуществляется в коллектор конвективной части, отвод воды – из коллектора топочного блока. С фронта котла расположена неохлаждаемая фронтовая поворотная камера, на которую устанавливается горелочное устройство. Данная поворотная камера устроена таким образом, что имеет возможность открытия на любую сторону котла, не снимая горелочного устройства, тем самым, обеспечивая доступ в топочную камеру котла и секциям конвективной части. Котлы самонесущие, имеют 8 опор, приваренных к вертикально расположенным коллекторам блоков. Опоры расположенные на стыке конвективного газохода и топочной ка-

меры, неподвижны. При поставке единым блоком опорами котел опирается на раму, изготовленную из швеллера №20. При поставке двумя блоками – топочным и конвективным – на бетонные стойки. Устройство приямка необходимо при монтаже блоков котла. Котлы состоят из двух основных элементов: топочного и конвективного блоков. Каждый имеет облегченную обмуровку и металлическую обшивку. Толщина обмуровки 60мм. Блоки топочный и конвективный стыкуются непосредственно между собой с помощью фланцевого соединения и уплотнительного шнура (входящего в комплект поставки в случае раздельной поставки котла). На правой боковой стенке котла находятся сливные воронки, в которые выводятся воздушные линии. Дренажные линии и штуцера для отвода конденсата из топочного и конвективного блоков находятся по обеим сторонам котла. На боковых стенках котла имеются смотровые гляделки, отборное устройство разрежения располагается на потолочном экране топочной камеры. На потолочном экране топочной камеры и на газовом коробе находятся два взрывных предохранительных клапана.

Для комплектации котлов могут быть использованы газовые, легкожидкотопливные и комбинированные автоматизированные горелочные устройства различных отечественных и зарубежных производителей, имеющие соответствующие технические характеристики и сертификат соответствия России. Для обслуживания и ремонта котла предусмотрена лестница (трап). Газовый короб крепится к котлу при помощи фланцевого соединения и имеет в комплекте ответный фланец для присоединения к дымоходу котла [10].

После выбора основного оборудования определимся с вспомогательным тепломеханическим оборудованием.

Выбор сетевых насосов

Сетевые насосы водогрейных котлов являются основными элементами тепловых схем котельных. Согласно правилам, в котельных с водогрейными котлами и подогревателями сетевой воды должно быть установлено не менее трех сетевых насосов. Количество устанавливаемых насосов и их единичная

подача определяются исходя из условий обеспечения наиболее экономичной их работы в течение года. Суммарная подача сетевых насосов в котельной должна быть такой, чтобы при выходе из строя любого насоса оставшиеся обеспечивали подачу максимального расхода сетевой воды. В системах, имеющих летнюю нагрузку на горячее водоснабжение, выбор сетевых насосов производят с учетом летнего режима работы тепловых сетей.

В качестве насоса сетевой воды выбирается насос 1Д 630-125 [16], (Рисунок 15).

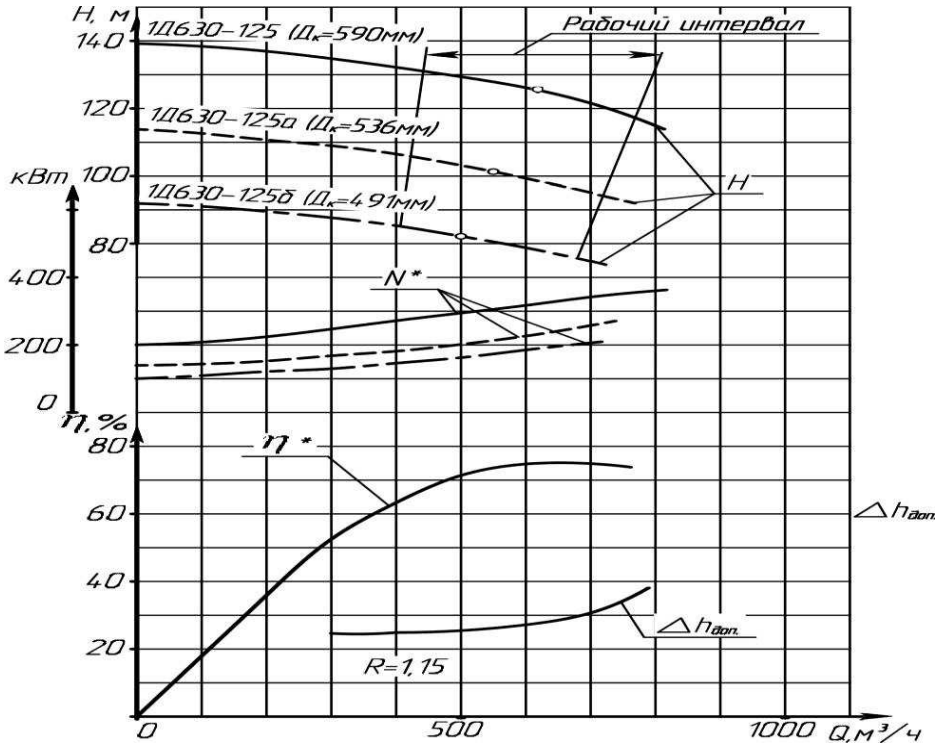

Рисунок 15 – Характеристики насоса 1Д 630-125

Предназначенный для перекачивания воды в системах водоснабжения промышленных и коммунальных объектов.

Насос центробежный, горизонтальный, одноступенчатый, с рабочими колесами двухстороннего входа, с сальниковыми уплотнениями с подшипниками качения, с приводом от электродвигателя или дизельного двигателя.

Выбор циркуляционных насосов

Для обеспечения циркуляция через котлы устанавливается 2 индивидуальных одноступенчатых низконапорных центробежных насоса **WILO-VeroLine IPL100/165-2,2/4** (Германия), имеющих следующие [18], особенности и преимущества Wilo-VeroLine IPL:

Серийные моторы с более высоким коэффициентом полезного действия; начиная с номинальной мощности 0,75 кВт, моторы выполнены по технологии IE2. Они характеризуются следующими параметрами:

- Высокая степень защиты от коррозии благодаря катафорезному покрытию.
- Серийные отверстия для удаления конденсата в кожухе мотора и соединительных элементах (в зависимости от серии)
- Серийное исполнение: мотор с неразъемным валом
- Исполнение N: стандартный мотор B5 или V1 со вставным валом из нержавеющей стали
- Скользящее торцевое уплотнение, принудительно омываемое и независимое от направления вращения.
- Удобный монтаж благодаря ножкам с резьбовыми отверстиями в корпусе насоса [18].

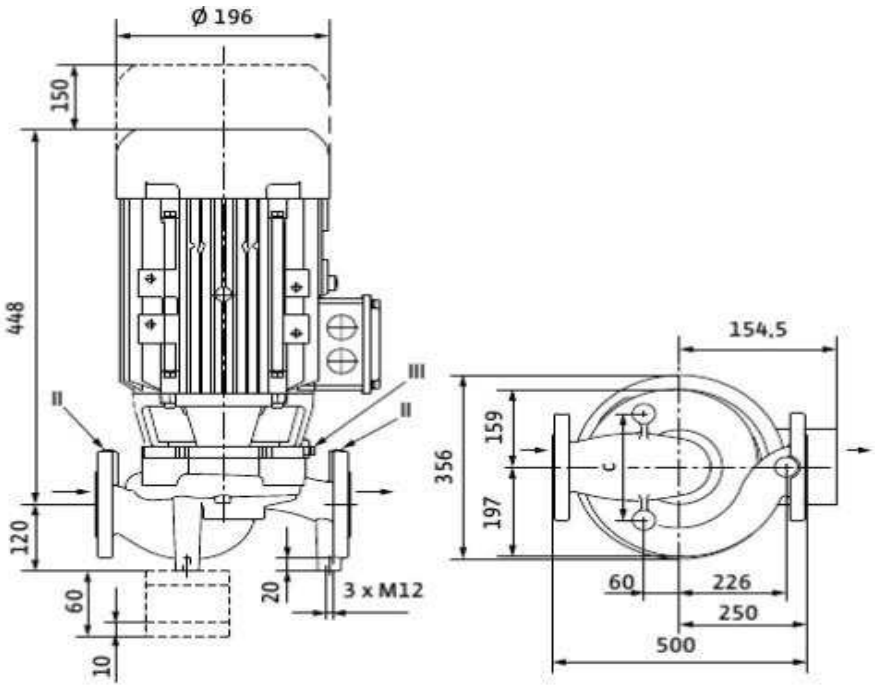

Рисунок 16 – Насос WILO-VeroLine IPL100/165-2,2/4

Выбор подпиточного насоса

Используется закрытая система отопления, для прямой подпитки системы стоит регулятор давления Ду 50.

Для перекачки воды с бака запаса холодной воды используется насос Wilo-Jet FWJ-204-EM/2

Выбор горелочных устройств

При эксплуатации энергосбережению способствует рациональное распределение нагрузки между несколькими одновременно работающими котлами. Неправильно выбранные горелки могут увеличить потери с уходящими газами. Промышленные образцы газовых напорных горелок должны быть испытаны в заводских условиях. Кроме того, необходимо соблюдать требования к газотопочным установкам, а также действующие для них директивы и указания. Для комбинирования котла с горелкой необходимо проверить, выполняются ли требования производителя выбранной горелки, предъявляемые к геометрии топочного пространства выбранного котла. Горелка должна надёжно преодолевать сопротивление топочного газа теплофикационного водогрейного котла [9]. Выбираются горелки фирмы Cib Unigas R1030. го-

релки оснащаются системой электронного управления, что гарантирует высокую точность настройки и регулирования.

Промышленные горелки Cib Unigas R1030 относятся к серии Mille и работают в диапазоне мощности от 2550 кВт до 10600 кВт. Горелки данной серии могут использоваться в котлах большой мощности и промышленных теплогенераторах технологического назначения. Работают они на природном и сжиженном газе. За строением, это моноблочные горелки, корпус которых отлит из алюминия. Большим преимуществом горелок серии Mille есть наличие центробежного вентилятора с отрицательным углом установки лопаток, он способен обеспечить стабильную работу горелки в камерах сгорания с высокими тепловыми нагрузками. Cib Unigas R1030 могут иметь прогрессивное и модулирующее исполнение. Управляется горелка при помощи пульта управления смонтированного на корпусе. Конструкция пламенной головы горелки, а также смесительное исполнение смесительного устройства, при условии правильной настройки, позволяют получить низкие значения содержания вредных веществ в отходящих дымовых газах. Большой модельный ряд горелок серии Mille делает возможным подбор горелки для любого котла или технологической установки, а использования современных технологий и соответствие самим строгим европейским требованиям делают горелку Cib Unigas очень простой и безопасной в обслуживание [19].

3.3 Контрольно-измерительные приборы, защита и автоматика котельной

Надежная, экономичная и безопасная работа котельной с минимальным числом обслуживающего персонала возможна только при наличии теплового контроля, автоматического регулирования и управления технологическими процессами, сигнализации и защиты оборудования.

Общими задачами контроля и управления работой котельного агрегата является обеспечение:

- выработки в каждый данный момент необходимого количества тепла и горячей воды при определенных ее параметрах

- давлении и температуры,

- экономичности сжигания топлива, рационального использования электроэнергии для собственных нужд установки и сведение потерь теплоты к минимуму,

- экономичности сжигания топлива, рационального использования электроэнергии для собственных нужд установки и сведение потерь теплоты к минимуму,

- надежности, т.е. установление и сохранение нормальных условий работы котла, исключающих возможность неполадок и аварий как собственно агрегата, так и вспомогательного оборудования [18].

Персонал, обслуживающий данный агрегат постоянно должен иметь ясное представление о режиме работы на основании показаний контрольно-измерительных приборов, которыми должен быть оснащен котел. Эти приборы делятся на пять групп:

- расхода горячей воды, топлива, воздуха, дымовых газов,

- давлений воды, газа, воздуха и для измерений разряжения в элементах и газоходах котла и вспомогательного оборудования,

- температур воды, топлива, воздуха и дымовых газов,

- уровня воды в баках, уровня топлива в емкостях,

- качественного состава дымовых газов и воды.

С помощью регулирования решаются следующие основные задачи:

- регулирование в определенных пределах заранее заданных значений величин, характеризующих процесс,

- управление, т.е. осуществление обычно дистанционно периодических операций, - защита оборудования от повреждений из-за нестабильности процессов

- блокировка, которая обеспечивает автоматическое включение и выключение оборудования, вспомогательных механизмов и органов управления

с определенной последовательностью, обусловленной технологическим процессом [19].

Перечисленные задачи решаются одновременно и в объеме, зависящем от мощности и стоимости оборудования: чем крупнее и дороже агрегат или установка, тем больше количество процессов автоматизируется. В данной котельной объем средств автоматизации соответствует требованиям "Правил устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов", "Правил безопасности в газовом хозяйстве", СНиП П-35-76.

Котел КВ-ГМ-7,56-115Н подключен к системе теплопотребления через теплообменники и образуют независимый «котловой контур». Котлы установлены в котельном зале. Аппаратура управления и регулирования котлами размещена в щите КИПиА, разработанных на базе регуляторов ОВЕН ТРМ 12. Предусмотрено 2 режима управления котлом: автоматический и ручной. В автоматическом режиме пуск котла происходит по команде котроллера общекотельного ОВЕН ПЛК100, регулирование температуры на выходе из котла регулятором ОВЕН ТРМ12. При ручном режиме управления включение котла производится кнопкой со щита управления ЩитКИПиА, регулирование температуры воды на выходе из котла кнопками «Больше»/«Меньше».

Включение рециркуляционного насоса котла в автоматическом режиме производится по команде прибора температуры воды в котле ОВЕН 2ТРМ1 (датчик температуры устанавливается в патрубке предохранительного клапана).

Котел оснащен автоматизированными газовыми горелками Р1030 в количестве одной штуки фирмы CIB UNIGAS. Автоматизация горелок предусматривает:

Автоматический розжиг горелки;

Поддержание заданной температуры;

Регулирование соотношения «газ-воздух»;

Автоматическую отсечку подачи газа к горелке при:

повышении давления газа к горелке;

повышении давления воды на выходе из котла;

понижении давления воды на выходе из котла;

повышении температуры воды на выходе из котла;

отсутствии противотока;

исчезновении напряжения.

Защиты по понижению давления газа к горелке, понижению давления воздуха к горелке, погасанию пламени заложены в автоматике горелки [26].

Щит КИПиА установлены у фасадов котлов.

Аппаратура управления насосами котлового контура, подпиточными насосами, клапаном-отсекателем газа и вспомогательным оборудованием расположена в щите общекотельном ЩА, разработанном на базе контроллера ОВЕН ПЛК100. Контроллер выполняет следующие функции:

Каскадное включение котлов в зависимости от температуры наружного воздуха;

АВР и управление насосами котлового контура и подпиточными насосами;

Аварийная сигнализация (НА1)

Предусмотрено два режима управления насосами: автоматический и ручной. В автоматическом режиме управление насосами осуществляется от контроллера общекотельного ПЛК100. В ручном режиме управления пуск подпиточного насоса происходит по датчику давления на линии подпитки котлового контура, сигнализация аварии насосов по датчику давления в напорном трубопроводе насосов. Пуск насосов котлового контура производится кнопками по месту, сигнализация аварии насосов по датчику давления в напорном трубопроводе.

Для контроля загазованности по метану (CH4) и угарному газу (CO) применяется сигнализатор СТГ-1 с двумя выносными датчиками на метан и существующие сигнализаторы СОУ-1 и СГГ-6. Один выносной датчик на метан сигнализатора СТГ-1 установлен на стене на расстоянии 0,2 м от потолка в котельном зале возле операторской. Блок сигнализации и питания СТГ-1 со

встроенным датчиком на угарный газ установлен на стене операторской у фасадов проектируемых котлов. Существующий сигнализатор горючих газ СГГ-6 установлен в районе ГРУ, сигнализатор оксида углерода СОУ-1в котельном зале. При повышении концентраций контролируемых параметров выше предельно допустимых произойдет отсечка подачи газа в котельную быстродействующим запорным клапаном, установленном на вводе газопровода в котельную. Срабатывание быстродействующего запорного клапана сопровождается звуковой изоляцией (НА2) и высвечиванием сигнальной лампы «Загазованность» на щите ЩА.

На щит ЩА также выведены следующие сигналы:

Авария котла№1;

Авария котла №2;

Авария котла №3;

АНУ в баке подпиточной воды;

АНУ в баке сырой воды;

Авария насоса котлового контура;

Авария подпиточного насоса;

Давление воды в обратном трубопроводе низко.

Схема сигнализации выполнена с запоминанием первопричины аварии. Приборы и средства автоматизации должны быть заземлены согласно ПУЭ присоединены к общему контуру заземлителя.

Кроме приборов, выведенных на щит управления, применяется местная установка контрольно – измерительных приборов:

- термометров для измерения температур воды; манометров для измерения давления;
- различных тягометров и газоанализаторов;
- расходомеров;
- запально-сигнализирующих устройств.

На шкале манометра должна быть нанесена красная черта на уровне деления, соответствующего рабочему давлению для данного элемента с учетом добавочного давления от веса столба жидкости.

Манометр должен быть установлен так, чтобы его показания были отчетливо видны обслуживающему персоналу, при этом шкала его должна быть расположена вертикально или с наклоном вперед до 300 для улучшения видимости показаний.

Для водогрейных котлов приборы для измерения температуры воды должны быть установлены на входе и выходе воды.

Допустимая температура горячей воды должна быть отмечена на шкале термометра красной чертой.

Котельная работает с постоянным присутствием рабочего персонала [23].

3.4 Основные технико-экономические затраты

В настоящее время большинство установленного оборудования на котельных морально устарело. На котельных : №7 «Ласточка», котельная №6 «Рыбзавод», котельная УК «Сосны», котельная п. Удачный установлены котлоагрегаты с КПД около 70%. На данный момент существуют котельные агрегаты с КПД 90% и выше. Изношенное оборудование приводит к частым поломкам, что сильно влияет на текущие затраты. Современное оборудование оснащается полным комплексом средств КИПиА, что позволяет экономить расход топлива. В ходе работы планируется заменить 4 существующие котельные на 1,более современную. Стоимость оборудования и определяется по прейскуранту завода-изготовителя и сведена в таблицу 3.4.1.

Таблица 3.4.1 – Капитальные затраты на реконструкцию котельной

Наименование оборудования	Количество	Цена, тыс.руб.	Стоимость, тыс.руб.
Котел КВ-ГМ-7,56-115Н	3	2 900	8 700
Насос сетевой 1Д 630-125	4	1 300	3 900
Насос циркуляционный WILO-VeroLine IPL100/165-2,2/4	2	100	200
Насос подпитывающий Wilo-Jet FWJ-204-EM/2	2	30	60
Газовая горелка Cib Unigas R1030	3	2 300	6 900
КИПиА			500
ИТОГО:			20 260

Итоговые затраты окупаются снижением экологической нагрузки на окружающую среду.

Важнейшим преимуществом природного газа являются его высокие экологические характеристики по сравнению с другими видами топлива. Рассчитаем количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, при использовании газообразного топлива.

3.5 Снижение вредных выбросов в окружающую среду

После очистки дымовых газов от вредных примесей, в любом случае остаются вредные вещества, особенно газообразные, количество которых может значительно превосходить предельно допустимую концентрацию (ПДК) этих веществ в атмосфере [21]. Основным методом снижения концентрации выбросов на уровне земли является рассеивание их через высокие дымовые трубы [20]. Из дымовых труб поток газов выбрасывается в высокие слои атмосферы, перемешивается с воздухом, за счет чего концентрация вредных веществ на уровне дыхания снижается до норма-

тивного значения. К тому же окислы азота и серы, попавшие в атмосферу, там не накапливаются, т.к. под действием ультрафиолетового излучения сравнительно быстро происходит самоочищение. В котельной устанавливаются три водогрейных котла мощностью 22,68 МВт. Топливом будет природный газ. Природный газ - это самое распространенное топливо на сегодняшний день. Природный газ так и называется природным, потому что он добывается из самых недр Земли. Процесс горения газа является химической реакцией, при которой происходит взаимодействия природного газа с кислородом, который содержится в воздухе. Необходимо организовать отвод продуктов сгорания в атмосферу. Полное горение достигается в том случае, если в продуктах сгорания выходящих в атмосферу отсутствуют горючие вещества. При этом углерод и водород соединяются вместе и образуют углекислый газ и пары воды. Визуально при полном сгорании пламя светло-голубое или голубовато-фиолетовое. Кроме этих газов в атмосферу с горючими газами выходит азот и оставшийся кислород. Если сгорание газа происходит не полностью, то в атмосферу выбрасываются горючие вещества – угарный газ, водород, сажа. Неполное сгорание газа происходит вследствие недостаточного количества воздуха. При этом визуально в пламени появляются языки копоти. Содержание CO в воздухе 0,01-0,02% может вызвать легкое отравление. Более высокая концентрация может привести к тяжелому отравлению и смерти. Образующаяся сажа оседает на стенках котлов ухудшая тем самым передачу тепла теплоносителю снижает эффективность работы котельной. Сажа проводит тепло хуже метана в 200 раз.

3.5.1 Расчет концентрации вредных выбросов

Исходные данные для расчета:

- температура уходящих газов $t = 120$℃ ($T = 393$К);
- расчетная температура в зимний период -34℃;
- температура при нормальных условиях 0℃ (Т=273К)

Топливом служит природный газ.

- топливо – природный газ:

$$CH_4 = 94{,}2\ \%$$

$$C_2H_6 = 3\%$$

$$C_3H_8 = 0{,}89\%$$

$$C_4H_{10} = 0{,}39\%$$

$$C_5H_{12} = 0{,}17\%$$

$$C_6H_{14} = 0{,}13\%$$

$$N_2 = 3\%$$

$$CO_2 = 3\%$$

Низшая теплота сгорания газа$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 37{,}56$ МДж/кг

Определение состава и количества продуктов сгорания

Теоретически необходимый объем воздуха при $\alpha = 1\text{м}^3/\text{м}^3$ для газообразного топлива [22].

$$V^0 = 0{,}0476 \cdot [0{,}5 \cdot CO + 0{,}5 \cdot H_2 + 1{,}5 \cdot H_2S + \sum(m + 0{,}25 \cdot n) \cdot C_mH_n - O_2] \quad (3.9)$$

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

$$V^0 = 0{,}047[(1+1) \cdot 94{,}2 + (2+1{,}5) \cdot 3 + (3+2) \cdot 0{,}89 + (4+2{,}5) \cdot 0{,}39 + (5+3) \cdot 0{,}17 + (6+3{,}5) \cdot 0{,}13] = 9{,}904\ \text{м}^3/\text{м}^3$$

Теоретический объем продуктов сгорания при $\alpha = 1\text{м}^3/\text{м}^3$

- объем трехатомных газов:

$$V_{RO_2}^0 = 0{,}01[CO_2 + CO + \sum m \cdot C_mH_n \quad (3.10)$$

$$V_{RO_2}^0 = 0{,}01[0{,}4 + 1 \cdot 94 + 2 \cdot 3 + 3 \cdot 0{,}89 + 4 \cdot 0{,}39 + 5 \cdot 0{,}17 + 6 \cdot 0{,}13] = 1{,}0626 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

- объем двухатомных газов:

$$V_{N_2}^0 = 0{,}79 \cdot V^0 + 0{,}01 \cdot N_2 \quad (3.11)$$

$$V_{N_2}^0 = 0{,}79 \cdot 9{,}904 + 0{,}01 \cdot 0{,}9 = 7{,}833 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

- объем водяных паров:

$$V_{H_2O}^0 = 0{,}01 \cdot \left[H_2S + H_2 + \sum 0{,}5 \cdot n \cdot C_m H_n + 0{,}124 \cdot d_{\text{г.тл.}}\right] + 0{,}0161 \cdot V^0 \quad (3.12)$$

где $d_{\text{г.тл.}}$- влагосодержание топлива, относительно к 1 м^3 сухого газа.

$$V_{H_2O}^0 = 0{,}01[0{,}5 \cdot 4 \cdot 94 + 0{,}5 \cdot 6 \cdot 3 + 0{,}5 \cdot 8 \cdot 0{,}89 + 0{,}5 \cdot 10 \cdot 0{,}39 + 0{,}5 \cdot 12 \cdot 0{,}17 + 0{,}5 \cdot 14 \cdot 0{,}13 + 0{,}124 \cdot 10] + 0{,}0161 \cdot 9{,}904 = 2{,}215 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Объем дымовых газов при нормальных условиях:

$$V_{\text{г}} = V_{RO_2}^0 + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 + (\alpha - 1) \cdot V^0 \quad (3.13)$$

$$V_{\text{г}} = 1{,}0626 + 7{,}833 + 2{,}215 + (1{,}05 - 1) \cdot 9{,}904 = 11{,}605 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Расчетный объем продуктов сгорания, образующихся при сжигании топлива за одну секунду:

$$V_p = \frac{P_{\text{ну}} \cdot V_{\text{ну}} \cdot T_{\text{ух}}}{P \cdot T_{\text{ну}}} \quad (3.14)$$

где $T_{\text{ну}}$=120℃ =393 К – температура дымовых газов на выходе из котла.

$$V_p = \frac{101090 \cdot 11{,}605 \cdot 393}{97000 \cdot 273} = 18{,}83 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

3.5.2 Расчет максимальной приземной концентрации выбросов из дымовой трубы

Для зимнего периода:

В зимний период работают 2 котла мощностью 15,2 МВт каждый.

Расход топлива на 2 котла:

$$B_{\text{р}} = 2 \cdot \frac{Q}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta} \quad (3.15)$$

где: Q – тепловая мощность одного котла; η – КПД котла.

$$B_{\text{р}} = 2 \cdot \frac{7{,}56}{37{,}56 \cdot 0{,}945} = 0{,}42 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объем продуктов сгорания, образующихся при работе всех котлов:

$$V = V_p \cdot B_p \quad (3.16)$$

$$V = 18{,}83 \cdot 0{,}42 = 7{,}9 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расчет выбросов окислов азота:

Суммарное количество азота, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами:

$$M_{NO_2} = 0{,}001 \cdot B_p \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot K_{NO_2} \cdot (1 - \beta) \quad (3.17)$$

где β – коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов окислов азота в результате технических решений;

где: $K_{NO_2} = 0{,}09$ – параметр, характеризующий количество окислов азота, образующихся на 1 МДж теплоты, кг/МДж, зависит от мощности котельного агрегата;

$\beta = 0$ – применяемые технические решения для снижения выбросов

$$M_{NO_2} = 0{,}001 \cdot 0{,}42 \cdot 37560 \cdot 0{,}09 \cdot (1 - 0) = 1{,}4 \text{ г/с}$$

$$\text{ПДК} = 0{,}178 \text{ мг/ м}^3$$

Т.е. количество азота, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами находится в пределах допустимой концентрации.

3.5.3 Расчет минимальной высоты трубы

Расчет рассеивания выбросов ведется в соответствии с СН-369-74 [20], 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.

$$С_м \leq \text{ПДК} \quad (3.18)$$

В соответствии с этим уравнением минимально допустимая высота трубы Н, м, при которой обеспечивается значение $С_м$ равное ПДК, при нали-

чии Z труб одинаковой высоты и выброса при температуре выбрасываемых газов большей температуры атмосферного воздуха ($\Delta T > 0$), может быть рассчитана по формуле:

$$H = \sqrt{AFnm\frac{M}{\text{ПДК}}\sqrt[3]{\frac{Z}{V_1\Delta T}}} \tag{3.19}$$

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

ΔT – разность температур выбрасываемых газов и атмосферного воздуха;

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

$A = 200$ – коэффициент, учитывающий рассеивающие свойства атмосферы при неблагоприятных метеорологических условиях, определяет условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе, определяется климатической зоной;

F – коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе. Для газообразных примесей $F = 1{,}4$; m и n – коэффициенты, учитывающие подъем факела над трубой;

m, n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовоздушной смеси из устья источника выброса.

Для зимнего периода:

Задаемся скоростью газа на выходе из трубы:

$$\omega_г = 20 \text{ м/с}$$

Диаметр трубы:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\omega_г \cdot \pi}} \tag{3.20}$$

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot 7{,}9}{20 \cdot 3{,}14}} = 0.677 \text{ м}$$

Принимаем диаметр устья дымовой трубы $D_0 = 1$ м, тогда скорость дымовых газов на выходе из устья трубы:

$$\omega_г = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_0^2}, \tag{3.21}$$

$$\omega_г^з = \frac{4 \cdot 7{,}9}{3{,}14 \cdot 1^2} = 10 \text{м/с};$$

На территории Российской федерации, в Красноярском крае параметр $A = 200$, а параметр $F = 1{,}4$

Задаем высоту трубы $h_1 = 10$м и находим значения коэффициентов m и n.

$$f = \frac{10^3 \omega_г^2 D_0}{h_1^2 \Delta T} \tag{3.21}$$

где $\Delta T = 120 + 273 - (-37 + 273) = 157$ К

$$f = \frac{10^3 \cdot 10^2 \cdot 1}{10^2 \cdot 157} = 6{,}3$$

$$m = \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1 \cdot \sqrt{f} + 0{,}34 \cdot \sqrt[3]{f}} \quad (3.22)$$

$$m = \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1 \cdot \sqrt{6{,}3} + 0{,}34 \cdot \sqrt[3]{6{,}3}} = 0{,}657.$$

$$v_м = 0{,}65 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \frac{\Delta T}{h_1}} \quad (3.23)$$

$$v_м = 0{,}65 \cdot \sqrt[3]{7{,}9 \cdot \frac{157}{10}} = 3{,}2 \text{ м/с}$$

$v_м \geq 2$, следовательно: $n = 1$.

$$h_1^p = \sqrt{200 \cdot 1{,}4 \cdot 1 \cdot 0{,}657 \cdot \frac{1{,}4}{0{,}178} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{7{,}9 \cdot 157}}} = 11{,}59 \text{ м}$$

Получается, что минимальная допустимая высота трубы $h = 11{,}6$ м, следовательно, выбирается труба высотой 30 м и диаметром устья 1 м.

$$C_{NO_2} = \frac{A \cdot M_{NO_2} \cdot F \cdot m \cdot n}{h^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}} \quad (3.24)$$

$$f = \frac{10^3 \cdot 10^2 \cdot 1}{30^2 \cdot 157} = 0{,}70$$

$$m = \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1 \cdot \sqrt{0{,}70} + 0{,}34 \cdot \sqrt[3]{0{,}70}} = 1{,}04$$

$$v_м = 0{,}65 \cdot \sqrt[3]{7{,}9 \cdot \frac{157}{30}} = 2{,}24$$

$v_м \geq 2{,}24$, следовательно: $n = 1$.

Максимальная приземная концентрация оксидов азота:

$$C_{NO_2} = \frac{200 \cdot 1{,}4 \cdot 1{,}4 \cdot 0{,}9 \cdot 1}{30^2 \cdot \sqrt[3]{7{,}9 \cdot 157}} = 0{,}0365 \text{ мг/ м}^3$$

ПДК $\geq C_{NO_2} = 0{,}0365$ мг/ м^3 – расчет произведен верно.

$$\frac{C_{NO_2}}{\text{ПДК}} \leq 1 \qquad (3.25)$$

$$\frac{0{,}0365}{0{,}178} = 0{,}20 \leq 1$$

Расстояние по оси факела, на котором концентрация вредных веществ у земной поверхности будет максимальна:

$$x_м = d \cdot H \qquad (3.26)$$

где:

$$d = 7 \cdot \sqrt{v_м} \cdot \left(1 + 0{,}28 \cdot \sqrt[3]{f}\right), \qquad (3.27)$$

$$d = 7 \cdot \sqrt{2{,}24} \cdot \left(1 + 0{,}28 \cdot \sqrt[3]{0{,}7}\right) = 12{,}99 \text{ м.}$$

$$x_м = 12{,}99 \cdot 30 = 389{,}99 \text{ м.}$$

Проведенный расчет показал, что уровень эмиссий NO_X, SO_2 и прочих вредных веществ весьма низок. Кроме того, отсутствие CO_2 по сравнению с другими ископаемыми источниками энергии и служит ослаблению парникового эффекта.

3.5.4 Компоновка технологической схемы котельной

Новую современную котельную на газообразном топливе было решено установить в центре п. Удачный, г. Красноярск ,на месте котельной УК «Сосны». На рисунке 17 показано расположение ее на карте города.

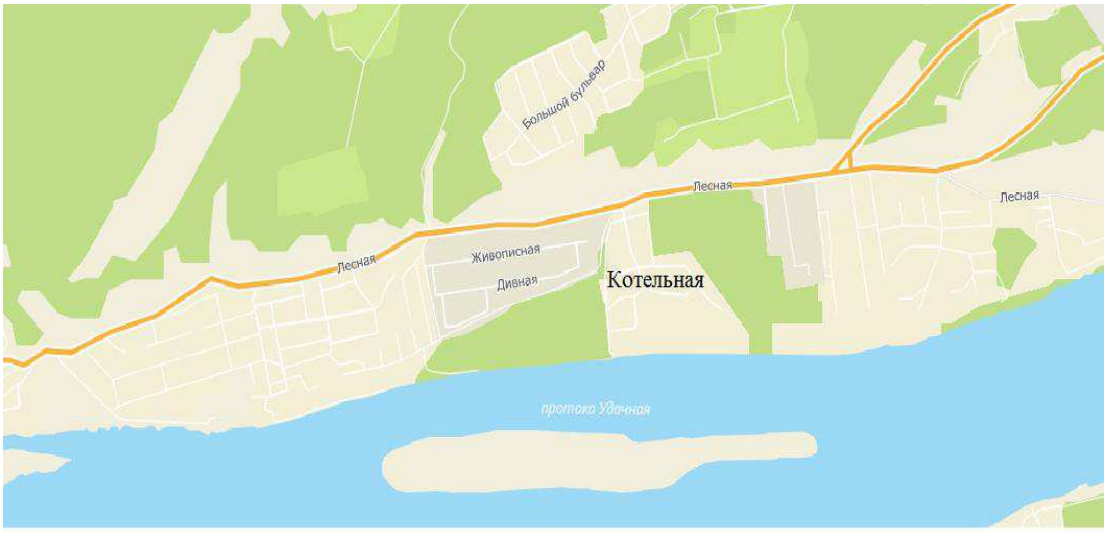

Рисунок 17– Расположение новой котельной

Котельная стала более компактной, в первую очередь из-за установки новых котлов, которые стали занимать меньшую площадь. На рисунке 18 изображена тепловая схема котельной.

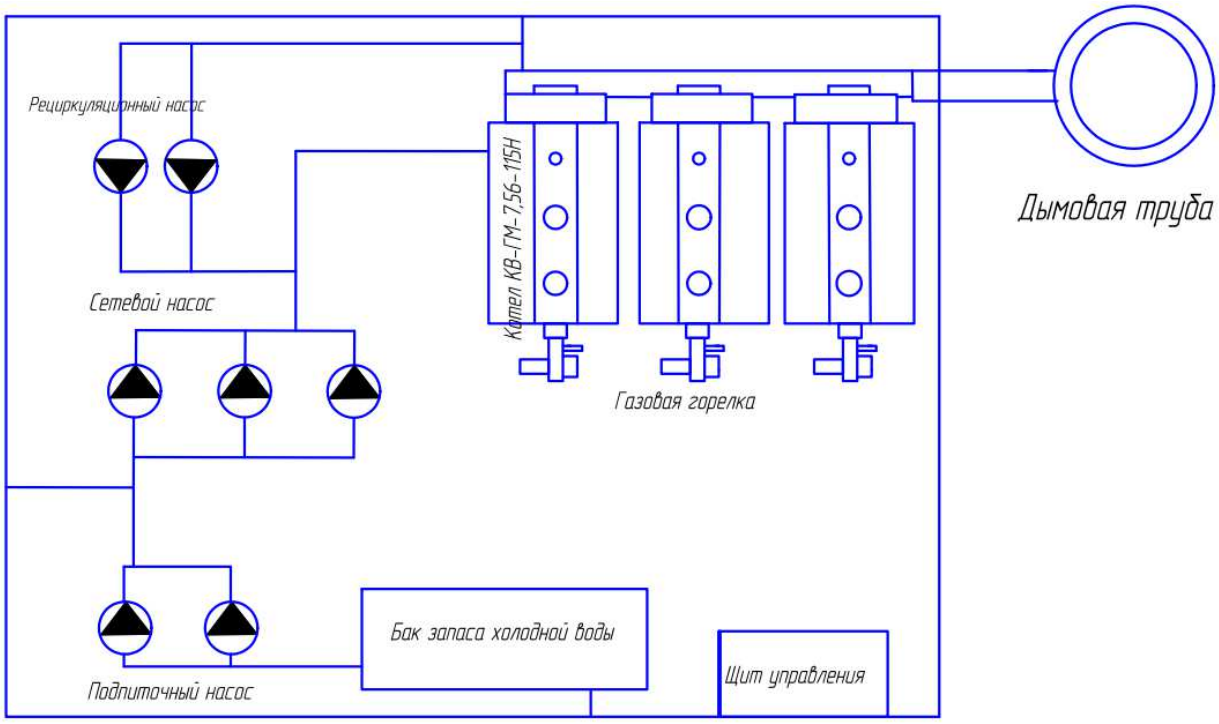

Рисунок 18– Тепловая схема котельной

Газовые промышленные котельные независимо от своей мощности, практически, имеют одинаковую схему управления и принцип действия. Котельные установки промышленных предприятий состоят из основного и вспомогательного оборудования. К основному относят сам котел и устройства, заключенные в его корпусе – трубные пакеты, сепараторы, коллекторы, барабаны. К вспомогательному оборудованию относятся газогорелочное устройство, насосы, вентиляторы, дымососы, арматура, система автоматики управления и безопасности.

Важным элементом котлоагрегата является горелочное устройство, где происходит процесс смешивания газа и воздуха и розжиг газовоздушной смеси с образованием факела. Сам процесс горения происходит в топочной камере. Система дымовентиляции котельной служит для создания разряжения в газовом тракте котлоагрегата и выводе дымовых газов из котла в атмосферу . Она состоит и дымососа, вентилятора, дымоходов и дымовой трубы.

В водогрейном котле вода движется принудительно, скорость движения определяют сетевые насосы, обеспечивающие необходимую производительность и напор. Вход и выход воды выполняется через котловой коллектор.

Подпиточный насос, предназначен для пополнения утечек воды из магистральной сети. Количество агрегатов должно быть не менее двух, равной производительности, один из которых должен быть резервным. Насосы устанавливаются на обратной магистрали, поэтому их рабочее давление должно превышать давление в ней не менее чем на 50%.

Рециркуляционный насос часть нагретой воды в котле подает снова на вход в котел, где она перемешивается с обратной водой из тепловой сети и увеличивает ее температуру до заданной величины. Повышается эффективность котла.

Контрольно-измерительные приборы и автоматика безопасности (КИПиА) предназначены для контроля за работой установки по режимным картам, регулировки нагрузки котла и обеспечения безопасной эксплуатации оборудования. Во всех современных котлоагрегатах установка КИПиА является обязательным требованием, в соответствии с нормами и правил по эксплуатации котельных установок. Защита котельного оборудования срабатывает с включением звуковой и световой сигнализации для оповещения оперативного персонала.

Параметры защиты КИПиА:

- отрыв факела в котле;
- высокое давление пара, газа, воды;
- низкое разряжение в топке котла;
- отключение электроэнергии;

- низкий уровень воды в котле;

- низкое давление воздуха, воды и газа.

При срабатывании сигнализации, через короткое время, если оперативный персонал не исправил сбой, котел останавливается системой КИПиА, через принудительное отключение подачи газа в топку.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Произведено обоснование перехода на газовое оборудование с заменой котельных, работающих на твердом топливе, буром угле марки 2Б, котельных: №6 «Рыбзавод, котельная №7 «Ласточка», котельная п. Удачный, котельная УК «Сосны».

2. Проведен анализ теплового оборудования существующих котельных расчетной мощностью 11,63 МВт. Предложено заменить 4 котельные на 1 более современную.

3. Выбрано основное и вспомогательное котельное оборудование для модернизированной газовой котельной на базе данных, полученных при проведении соответствующих расчетов: 3 котла марки КВ-ГМ-7,56-115Н, общей мощностью котлов 22,68 МВт, что в перспективе дает возможность подключения большего числа потребителей.

Определено вспомогательное оборудование: комбинированные горелки Cib Unigas R1030, сетевой насос 1Д 630-125, циркуляционный насос WILO-VeroLine IPL100/165-2,2/4, подпиточный насос Wilo-Jet FWJ-204-EM/2, для автоматизации котлов предлагается использовать систему ОВЕН ТРМ12.

4. Проведен расчет концентрации вредных выбросов в окружающую среду для реконструированного варианта, свидетельствующий о снижении вредных выбросов в окружающую среду за счет применения котлов, работающих на газовом топливе.

Выбрана высота трубы 30м и диаметром устья 1м.

Рассчитана, исходя из высоты трубы, максимальная приземная концентрация оксидов азота, которая значительно меньше предельно допустимой концентрации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Крауш С.А. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения: Учебное пособие для студентов вузов/ А.Н. Хуторной. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2003. – 161 с.
2. 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. – М.: Российская газета – Федеральный выпуск № 5050 (226), 2009. – 45 с.
3. Интернет ресурс: https://infourok.ru/ekologiya-vliyanie-deyatelnosti-kotelnih-na-okruzhayuschuyu-sredu-1725157.html «Влияние деятельности котельных на окружающую среду» 2018. – 20 с.
4. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов / О.Л. Данилов, А.Б. Гаряев, А.В. Клименко и др. / под ред. А.В. Клименко. – 2-е изд., стер.– М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 424 с.
5. Интернет ресурс: https://riamo.ru/article/244537/perevod-kotelnyh-na-gaz-pozvolit-snizit-platu-za-goryachuyu-vodu-na-30-.xl Опыт использования газовых котельных
6. Интернет ресурс: https://ac.gov.ru/files/attachment/8084.pdf Оценка перспектив и целесообразности, перехода на газообразное топливо.
7. Интернет ресурс: Промышленные газовые котлы https://ogon.guru/-otoplenie/kotli/gazovie/promishlennie.html
8. СП 89.13330.2012. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76. - М.: Минрегион России, 2012. – 68 с.
9. Интернет ресурс: Водогрейный котел КВ-ГМ-7,56-115Н http://www.dkm.ru/catalog/malyekotly/21.html. 2017. – 59 с.

10. Интернет ресурс : Водогрейный котел Buderus Logano S825L http://www.cogeneration.ru/buderus-whb/logano-s825l.html
11. Теплогенерирующие установки: Учеб. для вузов. Г. Н. Делягин, В. И. Лебедев, Б. А. Пермяков. М.: Стройиздат, 1986. − 559 с.
12. Владимиров А.И., Щелкунов В.А., Круглов С.А. Основные процессы и аппараты нефтегазопереработки. − М.: Недра, 2002. − 205 с.
13. Соколов,Б.А.Котельные установки и их эксплуатация/ Б.А. Соколов – М.,Издат.центр «Академия»,2007. − 432 с.
14. СП 31.13330.2012.Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84. – М.: Минрегион России 2013. − 139 с.
15. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 2006. − 67 с.
16. Интернет ресурс : Горизонтальные насосы Д http://vmz-nasos.ru/-nasos/nasos_d.html?yclid=3017600265752709986
17. Интернет ресурс: Схема теплоснабжения города Красноярска. http://www.admkrsk.ru/citytoday/municipal/energy/Pages/SHEMA2033Krasn.aspx
18. Интернет ресурс : Каталог насосов Wilo – http://вило.рф/index.php?-categoryID=682
19. Интернет ресурс: Каталог газовых горелок Cib-unigas https://climatik.su/burn/gorelki-cib-unigas.html/nid/226977
20. Булкин, А.Е. Автоматическое регулирование энергоустановок: учебное пособие для вузов. Гриф МО РФ / А.Е. Булкин. – М.: Изд-во МЭИ, 2009. − 508 с.
21. Липатников, Г.А. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики / Липатников Г.А., Гузеев М.С. – 2007. − 136 с.
22. Росляков, П.В. Методы защиты окружающей среды / П.В. Росляков – М.: Издво МЭИ, 2007. − 336 с.

23. Ривкин, А.С. Тепловой расчет котлоагрегата: учеб. пособие / А.С. Ривкин - Иваново: ИГЭУ, 2011. - 144 с.
24. Грибанов, А.И. Очистка дымовых газов. Часть I. Методическое пособие / А.И. Грибанов – Челябинск: Изд-во ЮУргУ, 2006. - 94 с.
25. Богачева Т. М.; Московский гос. технический ун-т им. Н. Э. Баумана, Фак. "Энергомашиностроение", Каф. "Экология и промышленная безопасность",-2011
26. Липатников, Г.А. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики / Липатников Г.А., Гузеев М.С. – 2007. - 136 с.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования

«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ТЕПЛОТЕХНИКИ И ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____
Подпись инициалы, фамилия
«30» июня 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Повышение эффективности работы котельных малой мощности

13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

13.04.01.01 Энергетика теплотехнологий

Научный руководитель	_____ подпись, дата	к.ф.-м.н., доцент должность, ученая степень	Е. Б. Истягина инициалы, фамилия
Студент	_____ подпись, дата		А. В. Курсов инициалы, фамилия
Рецензент	_____ подпись, дата	нач.кот№4,6,7,10 должность, ученая степень	В.Н. Чайкин инициалы, фамилия

Красноярск 2020