

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Политехнический институт

Энергетический факультет

Кафедра промышленной теплоэнергетики

Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Рецензент,
Главный инженер ООО «Газпром трансгаз
Екатеринбург» филиал Шадринское ЛПУ МГ
_____ П.В.Журбенко
« ____ » _____ 2018 г.

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

**РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЛПУ МГ Г.ШАДРИНСКА
КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ–13.03.01.2018.263.04.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 П-479
_____ А.А. Бушманов
« ____ » _____ 2018 г.

Челябинск 2018

АННОТАЦИЯ

Бушманов А.А. Разработка источника теплоснабжения ЛПУ МГ г.Шадринска Курганской области. – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, Э; 2018, 92 с., 2 ил., библиогр. список – 49 наим., 1 прил., 6 листов чертежей ф.А1, 1 лист плаката ф.А1

В выпускной квалификационной работе предложен вариант разработки источника теплоснабжения ЛПУ МГ г.Шадринска Курганской области, применением четырех котлов: три котла КВ-ГМ-2,5-115 и один котел малой мощности КВ-ГМ-0,5-115 суммарной мощностью 8 МВт.

Целью работы является расчет и выбор основного и вспомогательного оборудования разрабатываемого источника теплоснабжения, экономический анализ эффективности проекта.

Работа состоит из введения, 8 глав, заключения и библиографического списка. Во введении поставлена цель и задачи работы. Первая глава посвящена рассмотрению обоснования и актуальности разработки источника теплоснабжения. Вторая глава представляет сравнение отечественного и зарубежного котельного оборудования. В третьей главе рассмотрены вопросы энергосбережения. В четвертой главе определяем тепловые нагрузки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, произведен расчет тепловой схемы котельной, сделан тепловой расчет котла, гидравлический расчет трубопровода, расчет пластинчатого теплообменника, подобрано основное и вспомогательное оборудование. Пятая глава описывает КИП и автоматику котельного агрегата. В шестой главе по вопросам экологии произведены расчеты количества токсичных веществ, содержащихся в дымовых газах и определена высота дымовой трубы. В седьмой главе раскрыты вопросы безопасности жизнедеятельности. В восьмой главе производятся технико-экономические расчеты по теме работы.

Графическая часть работы содержит 6 листов формата А1, выполненных с помощью системы автоматического проектирования и черчения AutoCAD.

					<i>13.03.01.2018.263.04 ПЗ</i>					
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Разработка источника теплоснабжения ЛПУ МГ г.Шадринска Курганской области</i>	<i>Лит.</i>			<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Выполнил</i>	<i>Бушманов А.А.</i>					<i>В</i>	<i>К</i>	<i>Р</i>	<i>3</i>	<i>92</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Пашнин С.В.</i>					<i>ЮУрГУ</i>				
<i>Н.контр.</i>	<i>Алабугина Р.А.</i>					<i>Кафедра промышленной теплоэнергетики</i>				
<i>Зав.каф.</i>	<i>Осинцев К.В.</i>									

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЛПУ МГ Г.ШАДРИНСКА КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ .	6
2 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	7
3 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	10
4 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	14
4.1 Определение тепловых нагрузок	14
4.1.1 Определение тепловой нагрузки на отопление	14
4.1.2 Определение тепловой нагрузки на вентиляцию	17
4.1.3 Определение тепловой нагрузки горячее водоснабжение.....	20
4.1.4 Определение тепловой мощности источника энергоснабжения	24
4.2 Тепловой расчет схемы котельной.....	24
4.3 Тепловой расчет котла.....	31
4.3.1 Расчет теплосодержания продуктов сгорания	36
4.3.2 Тепловой баланс котла	37
4.3.3 Поверочный расчет топочной камеры	39
4.3.4 Поверочный расчет конвективной части котла	44
4.4 Гидравлический расчет трубопровода.....	50
4.5 Расчет пластинчатого теплообменника	53
4.6 подбор осовного и вспомогательного оборудования.....	59
5 КИП И АВТОМАТИКА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА КВ-ГМ-2,5-115.....	62
6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ	66
7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	70
7.1 Безопасность при эксплуатации теплоэнергетического оборудования	70
7.2 Электробезопасность	72
7.3 Освещение рабочей зоны	73
7.4 Нормирование шума и вибрации.....	75
7.5 Пожаровзрывобезопасность	78
8 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ	80
8.1 Капитальные затраты по двум вариантам	80
8.2 Текущие затраты по вариантам технических решений.....	81
8.3 Модель SWOT-анализа вариантов технических решений.....	84
8.4 Построение дерева целей	84
8.5 Модель ленточного графика мероприятия по разработке и реализации проекта (график Ганта).....	85
8.6 Основные показатели энергетической и экономической эффективности проекта.....	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	88
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	89
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Спецификация тепловой схемы.....	92

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сохраняется тенденция роста цен на энергоносители и стоимость энергоносителей составляет все большую долю в себестоимости продукции промышленных предприятий, снижая ее конкурентоспособность из-за роста цен.

Основополагающее назначение любой системы теплоснабжения заключается в качественном и бесперебойном обеспечении потребителей тепловой энергией требуемых параметров, требуемой для обеспечения нужд отопления, горячего водоснабжения и вентиляции (для промышленных и общественных зданий). В состав любой системы теплоснабжения входят три основных элемента: теплоисточник, система транспортировки теплоносителя и непосредственно потребитель тепловой энергии.

По характеру размещения источника теплоты и потребителей системы теплоснабжения подразделяют на:

– централизованные, когда источник теплоты и теплоиспользующие установки потребителей размещены отдельно, зачастую на значительном расстоянии друг от друга. В данной схеме передача тепловой энергии осуществляется по разветвленным тепловым сетям;

– децентрализованные, в данном случае источник теплоснабжения и теплоприемники потребителя расположены так близко, что отсутствуют магистральные тепловые сети.

На сегодняшний день производство тепловой энергии стабилизировалось на уровне 2000 млн. Гкал/год. Начиная с 90-х гг. XX века ТЭЦ постепенно теряли свою нишу на рынке тепловой энергии. Причинами этого явились падение промышленного производства в Российской Федерации и неверная тарифная политика, которая не давала преимуществ ТЭЦ перед котельными.

В связи с этим, в настоящее время происходит активный отказ от неэффективных источников теплоснабжения. Наибольшее распространение в данной отрасли получили котельные, основным оборудованием которых являются водогрейные котлы, использующие в качестве топлива природный газ, коэффициент полезного действия которых превышает 90%. Системы погодозависимой автоматики этих теплогенерирующих установок не требуют постоянного присутствия обслуживающего персонала, обеспечивают качественное теплоснабжение согласно температурному графику, позволяя экономить топливо, не допуская перерасхода.

В работе выполнена разработка источника теплоснабжения ЛПУ МГ г. Шадринска Курганской области, предусматривающего установку четырех котлов, три котла КВ-ГМ-2,5-115 и один котел КВ-ГМ-0,5-115 суммарной теплопроизводительностью 8 МВт, работающих на природном газе.

									лист
									5
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

13.03.01.2018.263.04 ПЗ

1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЛПУ МГ Г.ШАДРИНСКА КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящее время существует тенденция децентрализации систем теплоснабжения с применением автономных котельных, вызванная нехваткой мощности теплоисточников в районах городской застройки Шадринска и ограниченной пропускной способностью существующих тепловых сетей и большим потерями по сетям. В связи с этим было принято рассмотреть вариант разработки источника теплоснабжения для предприятия ЛПУ МГ г.Шадринска.

Применение котельных на природном газе целесообразно для котельных практически любой мощности. В настоящее время природный газ является наиболее экономичным видом топлива по соотношению калорийность - цена. Газовые котельные обладают 95% качеством теплоснабжения (КПД).

Согласно статистическим данным, сегодня три четверти паровых и водогрейных котельных в Российской Федерации работают на природном газе. Для таких крупных мегаполисов, как Москва и Московская область, этот показатель еще выше. Тут одним из важных факторов выступает экологичность газового топлива.

Газовый котел паровой водогрейный промышленного образца является одним из самых распространенных типов установок, иные виды энергоносителя используются в случаях проблематичности регулярного получения газообразного топлива.

Актуальность проектирования и строительства именно газовой котельной на предприятии ЛПУ МГ г. Шадринска связана еще с целым рядом технических и экономических плюсов:

- доступность топлива;
- дешевизна природного газа;
- широкие возможности выбора оборудования;
- высокая степень автоматизации газовых котельных.

Актуальность разработки источника теплоснабжения так же продиктована в первую очередь выполнением требований ФЗ №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1]. Основные мероприятия данного закона направлены на экономию топлива, вызванную постоянным ростом стоимости и ограниченностью запасов органического топлива. Максимальное сбережение топлива возможно только при комплексном подходе к выбору основного и вспомогательного оборудования, его правильной наладке и организации систем автоматизации, поэтому наиболее перспективным является направление нового строительства современных источников теплоснабжения.

2 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Водогрейный котел - это генератор тепла; устройство, в котором в результате сжигания топлива вырабатывают необходимое тепло, передающее жидкому теплоносителю. Конструктивно все современные водогрейные котлы устроены по одной схеме: металлический корпус более или менее современного дизайна с теплообменником внутри. Нагретый в теплообменнике теплоноситель поступает по трубам к отопительным приборам [33]. Независимо от фирмы-производителя водогрейный котел представляет собой самое сложное и, как следствие, самое дорогое устройство всей системы водяного отопления.

Сегодня на российском рынке представлены водогрейные котлы практически всех крупнейших зарубежных и отечественных производителей отопительной техники. При выборе отопительного котла обращают внимание на следующие моменты:

- 1 вид топлива;
- 2 номинальную мощность котла;
- 3 функциональное назначение котла - для обогрева, горячего водоснабжения или того и другого;
- 4 уровень автоматики котельного оборудования.

Котлы, работающие на газообразном топливе, не требуют дополнительных временных затрат по уходу за ними, так как работают они автоматически на протяжении всего отопительного сезона.

Корпус водогрейного котла может быть выполнен из чугуна или стали. Чугунные котлы практически не подвержены коррозии и прочим агрессивным воздействиям, но отличаются большим весом, что усложняет их транспортировку и монтаж. Слабое место чугунного котла - неустойчивость перед резкими перепадами температуры: иногда нагретый котел из чугуна, наполненный холодной водой, может треснуть. Стальные котлы не боятся температурных скачков, так как сталь более пластична, чем чугун [25].

Теплообменник водогрейного котла также делают из стали или чугуна, реже из меди.

Рассмотрим газовые котлы отечественного производства.

Котлы КВ-ГМ производства ООО «ПКЗ» водогрейные, по количеству ходов дымовых газов – одноходовые (пролетные) и трехходовые. Могут эксплуатироваться на природном газе, дизельном топливе, мазуте, на комбинированном топливе – газ/топливо, газ/мазут, а также на твердом топливе (уголь, брикеты торфа, древесные отходы). В настоящее время ПКЗ выпускает более 40 типоразмеров водогрейных котлов КВ-ГМ теплопроизводительностью от 0,25 до 68,9 МВт различных конструкций [42].

Температурные графики котлов КВ-ГМ: 70 °С – 95 °С; 70 °С – 115 °С; 70 °С – 150 °С.

Преимущества котлов КВ-ГМ:

- высокий КПД;
- низкие выбросы NOx;

- газоплотное исполнение для работы под наддувом;
- блочная поставка котлов;
- работа котлоагрегата в автоматическом режиме без обслуживающего персонала;
- применение котлов КВ-ГМ с горелками ведущих европейских производителей (Oilon Energy, Weishaupt, Cib Unigas и др.)
- высокая ремонтпригодность;
- возможность работы котла без дымососа;
- низкое аэродинамическое сопротивление уходящих газов.

Следует отдельно отметить, что конструкция котлов позволяет легко адаптировать размеры топочной камеры к требованиям горелочного устройства, что позволяет применять на котлах широкую гамму сертифицированных и имеющих разрешение на применение на территории Российской Федерации горелочных устройств.

Существенную роль в обеспечении длительной надежной и безаварийной работы водогрейных котлов КВ-ГМ играет применение в качестве основных типов горелочных устройств, автоматизированных газовых, дизельных или комбинированных горелок ведущих зарубежных фирм-изготовителей горелок.

Одним из современных энергоэффективных решений для районных источников теплоснабжения, способствующих надежной и эффективной работе котлов КВ-ГМ больших мощностей (23, 29, 35, 58 и 69 МВт), а также высокому КПД является их совместное использование с полностью автоматизированными горелочными устройствами Oilon Energy, оснащенными автоматикой на базе Wise Drive (микропроцессорная система управления и аварийной защиты горелок).

Рассмотрим газовый котел зарубежного производства.

Немецкая компания "Viessmann". На российском рынке отлично зарекомендовал себя, специально адаптированный к нашим условиям. В отличие от большинства западных работает бесперебойно, несмотря на периодические перепады давления газа. К другим достоинствам котла относятся:

- миниатюрные размеры, позволяющие поместить котел даже в небольших помещениях;
- принудительный отвод продуктов сгорания через специальный дымоход;
- широкий диапазон автоматического регулирования мощности (от 25 до 100 %), что позволяет значительно уменьшить расход газа и увеличить срок службы теплообменника;
- практически полное сгорание топлива;
- долговечность и высокая надежность.

Плюсы и минусы котлов зарубежного производства

Отечественные товары перестали казаться "самыми лучшими в мире", очевидно уступая импортным аналогам и в качестве, и в дизайне. Бесспорно, водогрейные котлы, выпускаемые именитыми зарубежными компаниями, в массе своей обладают рядом весомых достоинств, как:

- элегантный, соответствующий современным тенденциям дизайн;

- удобные габаритные размеры;
- простота эксплуатации, обусловленная высокой степенью автоматизации работы котла (данное достоинство импортных котлов одновременно является и их недостатком, так как вышедшую из строя автоматику сложнее и накладнее ремонтировать);
- полная готовность только что купленного котла к установке;
- высокий КПД работы;
- контроль температуры в контуре отопления посредством регулирующего термостата;
- высокая безопасность оборудования, обеспеченная несколькими степенями защиты.

Но есть у зарубежных котлов и недостатки, на которые не стоит закрывать глаза. И первый из них, достаточно весомый для среднего россиянина - дороговизна самого оборудования и его монтажа, которая становится тем более впечатляющей, если учитывать, что все комплектующие отопительной системы должны соответствовать качеству водогрейного котла. Использование в целях экономии дешевых комплектующих может существенно сократить срок службы.

Еще один недостаток импортных котлов обусловлен тем, что газовые и электрические генераторы тепла большинства западных фирм не приспособлены к российским особенностям подачи газа и электроэнергии.

13.03.01.2018.263.04 ПЗ

лист

9

<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>

3 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

В современных условиях одной из актуальных проблем, стоящих перед нашей страной, является Снижение количества потребляемой энергии и более разумное использование энергоресурсов. Достигнуть этого можно только с помощью применения передовых энергосберегающих технологий в комплексе, и внедрения мер организационного характера, направленных на энергосбережение. В последние годы за счет энергетики возросло благосостояния во многих странах. Этого удалось достигнуть благодаря увеличению производства энергоресурсов, а также внедрению и эффективному использованию энергосберегающих технологий и мероприятий. Увеличение энергетической эффективности экономики РФ является одной из основных.

Энергосбережение России, несмотря на активизацию работы в этом направлении в последнее десятилетие, находится еще на этапе внедрения в инфраструктуру. На Западе внедрение энергосберегающих технологий осуществляется с довоенного периода, а наиболее активное их развитие начинается с 1970-х годов, после масштабного энергетического кризиса. Тогда в большинстве развитых стран были разработаны соответствующие законодательные акты, начали внедряться меры нормативного, тарифного, технологического характера, направленные на энергосбережение. В Советском Союзе потребление количества энергоресурсов наоборот возрастало. Развитие промышленной отрасли и общественной сферы приводило лишь к необходимости увеличения количества электроэнергии. Тарифы искусственно занижались государством, что никак не стимулировало потребителей к экономии тепловой энергии, электроэнергии и других. В то время никаких мер по энергосбережению не принималось. Именно поэтому, к началу нового века мы попали в затруднительное положение в сфере энергосбережения в России. В настоящее время Российская Федерация обладает огромным запасом ресурсов, которые могут быть использованы при условии успешного повышения энергоэффективности в промышленности и общественной сфере. Большая часть энергоресурсов в стране расходуется на отопление зданий. Сокращение расходов ресурсов в этой сфере являются основными, так как без их уменьшения другие мероприятия будут не эффективны. Это является причиной того, что в строительной сфере используются технологии с применением экономичных систем обогрева зданий (современные котельные), применение систем рекуперации тепла отработанного воздуха, утепление фасадов, энергосберегающая кровля, а также установка современных стеклопакетов. Факторы, препятствующие развитию энергоэффективности в России:

Климат является одним из наиболее важных факторов. На территории нашей страны находятся крупнейшие залежи различных полезных ископаемых, которые экспортируются в большом количестве в Европу и Азию. Если РФ снизит поставки полезных ископаемых, то потеряет большое количество бюджетных денег, поэтому климатические условия влияют на внедрение энергоэффективных мероприятий в нашей стране. В настоящее время сохраняется тенденция роста цен на энергоносители и стоимость энергоносителей составляет все большую долю в се-

бестоимости продукции промышленных предприятий, снижая ее конкурентоспособность из-за роста цен. Основопологающее назначение любой системы теплоснабжения заключается в качественном и бесперебойном обеспечении потребителей тепловой энергией требуемых параметров, требуемой для обеспечения нужд отопления, горячего водоснабжения и вентиляции (для промышленных и общественных зданий). В связи с этим на Линейно-производственном управлении магистральных газопроводов города Шадринска, в настоящее время происходит активный отказ от неэффективных источников теплоснабжения. Наибольшее распространение в данной отрасли получили котельные, основным оборудованием которых являются водогрейные котлы, использующие в качестве топлива природный газ, коэффициент полезного действия которых превышает 90%.

Сейчас существует тенденция децентрализации систем теплоснабжения с применением автономных котельных, вызванная нехваткой мощности теплоисточников в Шадринской городской застройки и ограниченной пропускной способностью существующих тепловых сетей.

Применение собственной котельной на природном газе будет наиболее выгодней и безопасней, чем отапливания от ТЭЦ Шадринска, так как все потери и утечки по сети до предприятия ложатся непосредственно на потребителя по мимо самой стоимости теплоносителя. Строительство, например ТЭЦ лишь для предприятия ЛПУМГ это не эффективно. Газ для котельных практически любой мощности использовать выгоднее. В настоящее время природный газ является наиболее экономичным видом топлива по соотношению калорийность - цена. Газовые котельные обладают 95% качеством теплоснабжения (КПД).

За последние два-три года принято большое количество самых различных нормативных актов, напрямую или косвенно связанных с энергосбережением, накоплен определенный опыт, сложилось несколько конкретных направлений формирования энергосберегающей политики на региональном уровне и др.

Все это требует подготовки с регулярной периодичностью изданий по проблемам энергосбережения, в которых бы рассматривались законодательные и нормативные положения по рациональному использованию энергии, отражалась бы практика энергосбережения, предлагались конкретные рекомендации [22].

Зачастую системы электроснабжения эксплуатируются не в номинальных режимах, электрооборудование и распределительные сети оказываются недогруженными или перегруженными.

На всех предприятиях постоянно ведется учет расхода электроэнергии. Осуществляется входной коммерческий учет на линии разграничения с энергоснабжающей организацией, технический учет расхода тепловой энергии в крупных узловых точках системы теплосистемы, на наиболее мощных тепловых станциях.

Исходными данными для разработки мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности в системе обеспечения функционирования освещения являются степень использования естественного освещения и оснащенность эффективными источниками искусственного освещения, применение

4 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В специальной части необходимо определить требуемые тепловые нагрузки систем отопления и ГВС. На основе полученных тепловых нагрузок производится расчет тепловой схемы, на основании которого выбирается количество и единичная мощность котельных агрегатов. Производится тепловой расчет котла, а так же пластинчатого теплообменника и гидравлический расчет трубопровода. На основе расчета тепловой схемы и гидравлического расчета выбираются вспомогательное оборудование котельной – насосы и установки химводоочистки, выбор стандартного пластинчатого теплообменного аппарата производим по тепловому расчету.

4.1 Определение тепловых нагрузок

Расход тепловой энергии отопление жилых, общественных и производственных зданий следует принимать в соответствии с индивидуальным проектом здания или сооружения.

При отсутствии проектов в практике энергетиков часто возникает необходимость выявить ориентировочную тепловую мощность системы отопления проектируемых зданий и сооружений, чтобы определить тепловую мощность и источника теплоты при централизованном теплоснабжении, заказать основное оборудование и материалы, определить годовой расход топлива, рассчитать стоимость системы теплоснабжения, генератора теплоты и для решения других народнохозяйственных задач.

Для оценки теплотехнических показателей принятого конструктивно-планировочного решения расчет потерь теплоты ограждения здания сводится к определению удельной тепловой характеристики здания, $q_{уд}$, Вт/(м³·°С), численно равной теплопотерям 1 м³ здания в Вт при разности температур внутреннего и наружного воздуха ($t_{в} - t_{н}$), °С.

4.1.1 Определение тепловой нагрузки на отопление

Ориентировочное значение теплопотерь через ограждающие конструкции здания определяют при оценке нагрузок тепловых сетей и станций по формуле (4.1.1.1):

$$Q_0 = 1,07 \cdot a \cdot q_{уд} \cdot V_n \cdot (t_{в} - t_{н}), \quad (4.1.1.1)$$

где Q_0 – ориентировочное значение теплопотерь через ограждающие конструкции здания, Вт;

a – коэффициент учета района строительства здания определенный по формуле (4.1.1.2):

строительства здания (формула 4.1.1.2) Проведем расчет для здания вспомога-
тельных служб №1:

$$a = 0,54 + \frac{22}{19 + 36} = 0,94$$

$$Q_0 = 1,07 \cdot 0,94 \cdot 0,413 \cdot 3867 \cdot (19 + 36) = 88348,37 \text{ Вт}$$

Для всех типов зданий расчеты проводятся аналогичным образом, результа-
ты вычислений сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Нагрузка на отопление для одного здания каждого типа

Тип здания	$t_{в}, ^\circ\text{C}$	$t_{н}, ^\circ\text{C}$	a	$V, \text{м}^3$	$q_{уд}, \text{Вт}/(\text{м}^3\text{C})$	$Q_o^{зд}, \text{Вт}$
Здание вспомога- тельных служб №1	19	-36	0,94	3867	0,41	88348,370
Комплекс гаражный	5	-36	1,07	12857	0,58	351248,140
Здание вспомога- тельных служб	19	-36	0,94	3996	0,41	90632,436
Проходная Шадрин- ской промплощадки	16	-36	0,96	124	1,48	9802,610
РММ	18	-36	0,94	3530	0,58	111200,840
Котельная	18	-36	0,94	662	0,12	4314,640
Теплый склад	14	-36	0,98	7766	0,67	272804,820
Склад-модуль	10	-36	1,01	6828	0,67	227421,380
Теплая стоянка на 15 автомобилей	10	-36	1,01	21439	0,58	620283,870
Проходная УТТиСТ	16	-36	0,96	124	1,48	9802,610
Проходная	16	-36	0,96	124	1,48	9802,610
Склад кирпичный	10	-36	1,01	106	0,67	3543,883
Гараж со стоянкой	5	-36	1,07	27160	0,582	742000,430
Мастерская по ремонту	18	-36	0,94	18202	0,41	405334,080
Склад 1	10	-36	1,01	16747	0,67	557801,900
Административно- бытовое здание	19	-36	0,94	7139	0,36	142176,020
Склад ГСМ	10	-36	1,01	117	0,67	3916,92360

Общая нагрузка на отопление для зданий определена по таблице 4.2 и сведена
в таблицу 4.3

Таблица 4.3 – Общая нагрузка на отопление для зданий

Тип здания	$Q_o^{зд}$, Вт, на одно здание	Количество зданий	$Q_o^{общ}$ Вт, (на все здания)
Здание вспомогательных служб №1	88348,37	1	88348,37
Комплекс гаражный	351248,14	1	351248,14
Здание вспомогательных служб	90632,43	1	90632,43
Проходная Шадринской промплощадки	9802,61	1	9802,61
РММ	111200,84	1	111200,84
Котельная	4314,64	1	4314,64
Теплый склад	272804,82	1	272804,82
Склад-модуль	227421,38	1	227421,38
Теплая стоянка на 15 автомобилей	620283,87	1	620283,87
Проходная УТТиСТ	9802,61	1	9802,61
Проходная	9802,61	1	9802,61
Склад кирпичный	3543,88	1	3543,88
Гараж со стоянкой	742000,43	1	742000,43
Мастерская по ремонту	405334,08	1	405334,08
Склад 1	557801,90	1	557801,90
Административно-бытовое здание	142176,02	1	142176,02
Склад ГСМ	3916,92	1	3916,92

Полное количество теплоты необходимое для отопления находится как сумма требуемого количества теплоты для каждой группы зданий по формуле (4.1.1.3):

$$Q_o = \sum_{i=1}^n Q_o^{общ} \quad (4.1.1.3)$$

$$Q_o = 88348,370 + 351248,14 + 90632,436 + 9802,6106 + 111200,84 + 4314,6406 + 272804,82 + 227421,38 + 620283,87 + 9802,6106 + 9802,6106 + 3543,8833 + 742000,43 + 405334,08 + 557801,90 + 142176,02 + 3916,9236 = 3650435,622 \text{ Вт} = 3,65 \text{ МВт}$$

4.1.2 Определение тепловой нагрузки на вентиляцию

Потребность в тепловой энергии на вентиляцию зданий рассчитывается при наличии в них систем принудительной приточно-вытяжной вентиляции. При от-

сутствии проектных данных или несоответствии установленного оборудования проекту расчетный расход теплоты на вентиляцию здания может быть определен по методикам изложенным в справочниках.

При отсутствии проектов вентилируемых зданий расчетный расход теплоты допускается определять по формуле (4.1.2.1) укрупненных расчетов, Вт:

$$Q_v = q_{vd} * V_n * (t_v - t_n) \quad (4.1.2.1)$$

где q_{vd} – удельная вентиляционная характеристика зданий, Вт/м³*°С;

$(t_v - t_n)$ – расчетная разность температур внутреннего воздуха для основных помещений и наружного воздуха соответственно, °С;

V_n – объем вентилируемой части здания по внешнему обмеру, м³.

Значения удельных вентиляционных характеристик общественных зданий и учреждений, обслуживающих население, принимают при отсутствии типовых проектов по приложению [9].

Проведем расчет для здания вспомогательных служб №1 по формуле (4.1.2.1):

$$Q_v = 0,147 \cdot 3867 \cdot (19 + 36) = 30781,51 \text{ Вт}$$

Для всех типов зданий расчеты проводятся аналогичным образом по формуле 4.4, результаты вычислений сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Нагрузка на вентиляцию Q_v^i для одного здания каждого типа

Тип здания	q_{vd} , Вт/(м ³ *°С)	V_n , м ³	t_v , °С	t_n , °С	a	Q_v^i , Вт
1	2	3	4	5	6	7
Здание вспомогательных служб №1	0,147	3867,0	19	-36	0,95	30781,51
Комплекс гаражный	0,760	12857,0	5	-36	0,95	380592,91
Здание вспомогательных служб	0,145	3996,0	19	-36	0,95	31375,59
Проходная Шадринской пром-площадки	0,000	124,0	16	-36	0,95	0,00
РММ	0,580	3530,0	18	-36	0,95	105031,62
Котельная	0,580	662,0	18	-36	0,95	19697,14
Теплый склад	0,520	7766,0	14	-36	0,95	191820,2
Склад-модуль	0,520	6828,0	10	-36	0,95	155159,47
Теплая стоянка на 15 автомобилей	0,760	21439,0	10	-36	0,95	712032,06
Проходная УТТиСТ	0,000	124,0	16	-36	0,95	0,00
Проходная	0,000	124,0	16	-36	0,95	0,00
Склад кирпичный	0,000	106,4	10	-36	0,95	0,00

Окончание таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6	7
Гараж со стоянкой	0,760	27160,0	5	-36	0,95	803990,32
Мастерская по ремонту	0,290	18202,2	18	-36	0,95	270794,12
Склад 1	0,520	16747,2	10	-36	0,95	380563,37
Административно-бытовое здание	0,135	7139,2	19	-36	0,95	52189,33
Склад ГСМ	0,000	117,6	10	-36	0,95	0,00

Общая нагрузка на вентиляцию зданий определена по таблице 4.4 и сведена в таблицу 4.5

Таблица 4.5 – Общая нагрузка на вентиляцию зданий

Тип здания	Q_e^i , Вт, (на одно здание)	Количество зданий	Q_e , Вт, (на все здания)
Здание вспомогательных служб №1	30781,51	1	30781,51
Комплекс гаражный	380592,91	1	380592,91
Здание вспомогательных служб	31375,59	1	31375,59
Проходная Шадринской промплощадки	0,00	1	0,00
РММ	105031,62	1	105031,62
Котельная	19697,14	1	19697,14
Теплый склад	191820,2	1	191820,2
Склад-модуль	155159,47	1	155159,47
Теплая стоянка на 15 автомобилей	712032,06	1	712032,06
Проходная УТТиСТ	0,00	1	0,00
Проходная	0,00	1	0,00
Склад кирпичный	0,00	1	0,00
Гараж со стоянкой	803990,32	1	803990,32
Мастерская по ремонту	270794,12	1	270794,12
Склад 1	380563,37	1	380563,37
Административно-бытовое здание	52189,33	1	52189,33
Склад ГСМ	0,00	1	0,00
Расчетный расход теплоты на вентиляцию всех зданий района			3134027,60

Расчетный расход теплоты на вентиляцию всех зданий находится, как сумма требуемого количества теплоты для каждой группы зданий:

$$Q_{\text{в}} = 30781,51 + 380592,91 + 31375,59 + 0 + 105031,62 + 19697,14 + 191820,2 + 155159,47 + 712032,06 + 0 + 0 + 0 + 803990,32 + 270794,12 + 380563,37 + 52189,33 + 0 = 3134027,6 \text{ Вт} = 3,13 \text{ МВт}$$

4.1.3 Определение тепловой нагрузки горячее водоснабжение

Расход тепловой энергии на горячее водоснабжение жилых, общественных и производственных зданий следует принимать в соответствии с индивидуальным проектом здания или сооружения.

При отсутствии проектов расход тепловой энергии на горячее водоснабжение зданий может быть определён по укрупненным показателям.

Средний расход тепловой энергии на горячее водоснабжение потребителя, Вт определяют по формулам:

$$Q_{\text{гвз}}^{\text{ср}} = Q_{\text{гвз}'}^{\text{ср}} + Q_{\text{мн}}, \quad (4.1.3.1)$$

$$Q_{\text{гвз}'}^{\text{ср}} = \frac{0,28 \cdot a \cdot m \cdot c \cdot (55 - t_{\text{хз}})}{24} \quad (4.1.3.2)$$

$$Q_{\text{гвл}} = Q_{\text{гвл}'}^{\text{ср}} + Q_{\text{мн}}, \quad (4.1.3.3)$$

$$Q_{\text{гвл}'}^{\text{ср}} = \frac{0,28 \cdot a \cdot m \cdot c \cdot (55 - t_{\text{хл}})}{24} \quad (4.1.3.4)$$

где $Q_{\text{гвз}}^{\text{ср}}$, $Q_{\text{гвл}}^{\text{ср}}$ – расход тепла на горячее водоснабжение соответственно в зимний и летний периоды, Вт;

$Q_{\text{гвз}'}^{\text{ср}}$, $Q_{\text{гвл}'}^{\text{ср}}$ – средний расход тепла на непосредственно горячее водоснабжение потребителя без учёта тепловых потерь, соответственно в зимний и летний периоды, Вт;

a – норма расхода воды на горячее водоснабжение, л/сут·чел, утвержденная местными органами власти или управления. При отсутствии утвержденных норм принимается по приложению 10 [13] в по СНиП 2.04.01-85;

m – количество единиц измерения, отнесённое к суткам (число жителей, учащихся в учебных заведениях, мест в больницах);

$t_{\text{хл}}$, $t_{\text{хз}}$ – усреднённая температура холодной (водопроводной) воды соответственно зимой и летом, °С. При отсутствии данных принимают в отопительный период $t_{\text{хз}}=5^{\circ}\text{C}$, в летний период $t_{\text{хл}}=15^{\circ}\text{C}$;

c – удельная теплоёмкость воды, принимается в расчётах равной 4,187 кДж/(кг·°С);

0,28 – коэффициент перевода размерностей физических величин в Вт.

$Q_{тп}$ – мощность тепловых потерь системой горячего водоснабжения (стояками, подающими и циркуляционными трубопроводами, полотенцесушителями)

Рассчитаем расход тепла на непосредственно горячее водоснабжение потребителя без учёта тепловых потерь для здания вспомогательных служб №1: Подставим значения в формулы (4.1.3.2) и (4.1.3.4) получим:

$$Q_{звз'}^{cp} = \frac{0,28 \cdot 440 \cdot 40 \cdot 4,187 \cdot (55 - 5)}{24} = 42986,53 \text{ Вт}$$

$$Q_{звл'}^{cp} = \frac{0,28 \cdot 440 \cdot 40 \cdot 4,187 \cdot (55 - 15)}{24} = 34389,22 \text{ Вт}$$

Для остальных зданий вычисления осуществляются аналогичным образом по формуле (4.1.3.2). Результаты расчетов сведены в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Средний расход тепловой энергии на горячее водоснабжение потребителя без учёта тепловых потерь в зимний (отопительный период), $Q_{звз'}^{cp}$, Вт

Тип здания	a , л/сут·чел	m , чел/сут	c , кДж/(кг·°С)	$(55 - t_{зз})$, °С	$Q_{звз'}^{cp}$, Вт
Здание вспомогательных служб №1	440	40	4,187	50	42986,53
Комплекс гаражный	110	10	4,187	50	2686,65
Здание вспомогательных служб	330	30	4,187	50	24179,92
Проходная Шадринской промплощадки	33	3	4,187	50	241,79
РММ	165	15	4,187	50	6044,98
Котельная	44	4	4,187	50	429,86
Теплый склад	88	8	4,187	50	1719,46
Склад-модуль	110	10	4,187	50	2686,65
Теплая стоянка на 15 автомобилей	165	15	4,187	50	6044,98
Проходная УТТиСТ	22	2	4,187	50	107,46
Проходная	22	2	4,187	50	107,46
Склад кирпичный	11	1	4,187	50	26,86
Гараж со стоянкой	275	25	4,187	50	16791,61
Мастерская по ремонту	253	23	4,187	50	14212,42
Склад 1	99	9	4,187	50	2176,19
Административно-бытовое здание	539	49	4,187	50	64506,66
Склад ГСМ	11	1	4,187	50	26,86

Для остальных зданий вычисления осуществляются аналогичным образом по формуле (4.1.3.4). Результаты расчетов сведены в таблицу 4.7

Таблица 4.7 – Средний расход тепловой энергии на горячее водоснабжение потребителя без учёта тепловых потерь в летний период, $Q_{звг}'^{cp}$, Вт

Тип здания	a , л/сут·чел	m , чел/сут	c , кДж/(кг·°С)	$(55 - t_{хл})$, °С	$Q_{звг}'^{cp}$, Вт
Здание вспомогательных служб №1	440	40	4,187	40	34389,22
Комплекс гаражный	110	10	4,187	40	2149,32
Здание вспомогательных служб	330	30	4,187	40	19343,94
Проходная Шадринской промплощадки	33	3	4,187	40	193,43
РММ	165	15	4,187	40	4835,98
Котельная	44	4	4,187	40	343,89
Теплый склад	88	8	4,187	40	1375,56
Склад-модуль	110	10	4,187	40	2149,32
Теплая стоянка на 15 автомобилей	165	15	4,187	40	4835,98
Проходная УТТиСТ	22	2	4,187	40	85,97
Проходная	22	2	4,187	40	85,97
Склад кирпичный	11	1	4,187	40	21,49
Гараж со стоянкой	275	25	4,187	40	13433,29
Мастерская по ремонту	253	23	4,187	40	11369,93
Склад 1	99	9	4,187	40	1740,95
Административно-бытовое здание	539	49	4,187	40	51605,33
Склад ГСМ	11	1	4,187	40	21,49

Тепловые потери при отсутствии данных, необходимых для расчета, определяют с помощью коэффициента k_{mn} , учитывающего потери трубопроводами горячего водоснабжения, принимаемого по [13], по формуле (4.1.3.5):

$$Q_{зв}'^{cp} = Q_{звз}^{cp} \cdot (1 + k_{mn}), \quad (4.1.3.5)$$

$$Q_{зв}'^{cp} = Q_{звз}^{cp} + Q_{звг}'^{cp}$$

Проведем расчет для здания вспомогательных служб №1:

$$Q_{зв}'^{cp} = 42986,53 + 34389,22 = 77375,8 \text{ Вт}$$

$$Q_{26}^{cp} = 77375,8 \cdot (1 + 0,15) = 88982,11 \text{ Вт}$$

Средний расход тепловой энергии на горячее водоснабжение с учетом тепловых потерь трубопроводами горячего водоснабжения рассчитан для всех типов зданий. Результаты расчетов сведены в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение, $Q_{26з}$ и $Q_{26л}$.

Тип здания	$Q_{26з}^{cp}$, Вт	$Q_{26л}^{cp}$, Вт	$Q_{26г}^{cp}$, Вт	(1+k _{mn})	Q_{26}^{cp} , Вт	Количество зданий	$Q_{26с}^{cp}$, Вт
Здание вспомогательных служб №1	42986,53	34389,22	77375,8	1,15	88982,11	1	88982,11
Комплекс гаражный	2686,65	2149,32	4835,97	1,15	5561,36	1	5561,36
Здание вспомогательных служб	24179,92	19343,94	43523,9	1,15	50052,43	1	50052,43
Проходная Шадринской промплощадки	241,79	193,43	435,22	1,15	500,50	1	500,50
РММ	6044,98	4835,98	10881	1,15	12513,10	1	12513,10
Котельная	429,86	343,89	773,75	1,15	889,81	1	889,81
Теплый склад	1719,46	1375,56	3095,02	1,15	3559,27	1	3559,27
Склад-модуль	2686,65	2149,32	4835,97	1,15	5561,36	1	5561,36
Теплая стоянка на 15 автомобилей	6044,98	4835,98	10881	1,15	12513,10	1	12513,10
Проходная УТ-ТиСТ	107,46	85,97	193,43	1,15	222,44	1	222,44
Проходная	107,46	85,97	193,43	1,15	222,44	1	222,44
Склад кирпичный	26,86	21,49	48,35	1,15	55,60	1	55,60
Гараж со стоянкой	16791,61	13433,29	30224,9	1,15	34758,63	1	34758,63
Мастерская по ремонту	14212,42	11369,93	25582,4	1,15	29419,70	1	29419,70
Склад 1	2176,19	1740,95	3917,14	1,15	4504,71	1	4504,71
Административно-бытовое здание	64506,66	51605,33	116112	1,15	133528,79	1	133528,79
Склад ГСМ	26,86	21,49	48,35	1,15	55,60	1	55,60
Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение для всех зданий района, $Q_{26с}^{cp}$, Вт							382901

Расчетный расход теплоты на горячее водоснабжение всех зданий находится, как сумма требуемого количества теплоты для каждой группы зданий по формуле (4.1.1.3):

$$Q_{звс}^{ср} = \sum_{i=1}^n Q_o^{общ}$$

$$Q_{звс}^{ср} = 88982,11 + 5561,36 + 50052,43 + 500,50 + 12513,10 + 889,81 + 3559,27 + 5561,36 + 12513,10 + 222,44 + 222,44 + 55,60 + 34758,63 + 29419,70 + 4504,71 + 133528,79 + 55,60 = 382901 \text{ Вт} = 0,38 \text{ МВт}$$

4.1.4 Определение тепловой мощности источника энергоснабжения

При отсутствии проектных данных расчет тепловой мощности источника энергоснабжения и потребляемое количество теплоты от него за рассматриваемый период подсчитано по укрупненным показателям.

На основании расчётов в главах 4.1.1;4.1.2;4.1.3 и суммируя полученные результаты по формуле (4.1.4.1) , заполняется таблица 4.9

$$Q_{ист} = Q_o + Q_в + Q_{звс}, \text{ МВт} \quad (4.1.4.1)$$

$$Q_{ист} = 3,36 + 3,13 + 0,38 = 7,16 \text{ МВт}$$

Таблица 4.9 – Тепловая нагрузка источника теплоснабжения, $Q_{ист}$, Вт

Тепловая нагрузка источника теплоснабжения, Вт	Q_o , МВт	$Q_в$, МВт	$Q_{звс}$, МВт	$Q_{ист}$, МВт
	3,65	3,13	0,38	7,16

4.2 Тепловой расчет схемы котельной

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

Расчет тепловой схемы котельной выполняется в следующей последовательности:

- рассчитывается предварительный баланс котельной;
- производится полный расчет тепловой схемы котельной по всем позициям, в частности уточняется суммарная нагрузка котельной и намечаются варианты для выбора типоразмера и количества котлов.

В процессе расчета тепловой схемы методом последовательных приближений уточняется расход питательной воды. Результаты расчета являются исходными данными для расчета и выбора оборудования тепловой схемы и основных трубопроводов котельной. Выбор числа и единичной мощности котлов также производится на основании результатов расчета тепловой схемы [14].

$$Q_m^{-7,6} = 3,214 + 0,38 = 3,594 \text{ МВт / ч.}$$

Определим расход теплоты на собственные нужды котельной, МВт/ч (4.2.3):

$$Q_{сн} = 0,03 \cdot Q_m, \quad (4.2.3)$$

$$Q_{сн}^{-36} = 0,03 \cdot 7,16 = 0,214 \text{ МВт / ч.}$$

$$Q_{сн}^{-21} = 0,03 \cdot 5,27 = 0,158 \text{ МВт / ч.}$$

$$Q_{сн}^{-7,6} = 0,03 \cdot 3,594 = 0,107 \text{ МВт / ч.}$$

$$Q_{сн}^л = 0,03 \cdot 0,38 = 0,011 \text{ МВт / ч.}$$

Общая тепловая мощность котельной установки, МВт/ч определяется по формуле(4.2.4):

$$Q_{к.у} = Q_{о.в} + Q_{зг} + Q_{сн}, \quad (4.2.4)$$

$$Q_{к.у}^{-36} = 6,78 + 0,38 + 0,214 = 7,374 \text{ МВт / ч.}$$

$$Q_{к.у}^{-21} = 5,27 + 0,38 + 0,158 = 5,808 \text{ МВт / ч.}$$

$$Q_{к.у}^{-7,6} = 3,594 + 0,38 + 0,107 = 4,081 \text{ МВт / ч.}$$

$$Q_{к.у}^л = 0,38 + 0,011 = 0,391 \text{ МВт / ч.}$$

Определим коэффициент снижения расхода тепла на отопление и вентиляцию по формуле (4.2.5):

$$K_{о.в} = \frac{t_{в.н}^{расч} - t_{н.в}}{t_{в.н}^{расч} - t_3}, \quad (4.2.5)$$

где $t_{в.н}^{расч}$ – расчетная температура внутри отапливаемых помещениях, принимаем +18 °С;

$t_{н.в}^{расч}$ - наружного воздуха, °С;

t_3 – температура наружного воздуха в максимально зимнем режиме, °С.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

$$K_{o.в}^{-36} = \frac{18 - (-36)}{18 - (-36)} = 1$$

$$K_{o.в}^{-21} = \frac{18 - (-21)}{18 - (-36)} = 0,72$$

$$K_{o.в}^{-7,6} = \frac{18 - (-7,6)}{18 - (-36)} = 0,47$$

Текущая температура сетевой воды в подающем трубопроводе, °С (4.2.6);

$$t_1 = t_{в.н}^{расч} + (t_1^{расч} - t_{в.н}^{расч}) \cdot K_{o.в}, \quad (4.2.6)$$

где $t_1^{расч}$ – расчетная температура воды теплоносителя в подающем трубопроводе.

$$t_1^{-36} = 18 + (115 - 18) \cdot 1 = 115 \text{ °С.}$$

$$t_1^{-21} = 18 + (115 - 18) \cdot 0,72 = 87,84 \text{ °С.}$$

$$t_1^{-7,6} = 18 + (115 - 18) \cdot 0,47 = 63,59 \text{ °С.}$$

Текущая температура сетевой воды в обратном трубопроводе, °С (4.2.7):

$$t_2 = t_{в.н}^{расч} + (t_2^{расч} - t_{в.н}^{расч}) \cdot K_{o.в}, \text{ °С} \quad (4.2.7)$$

где $t_2^{расч}$ – расчетная температура воды теплоносителя в обратном трубопроводе.

$$t_2^{-36} = 18 + (70 - 18) \cdot 1 = 70 \text{ °С.}$$

$$t_2^{-21} = 18 + (70 - 18) \cdot 0,72 = 55,44 \text{ °С.}$$

$$t_2^{-7,6} = 18 + (70 - 18) \cdot 0,47 = 32,9 \text{ °С.}$$

Расход сетевой воды на отопление и вентиляцию, кг/с определяется по формуле (4.2.8):

$$G_{o.в} = \frac{Q_{o.в}}{C_в \cdot (t_1 - t_2)}, \quad (4.2.8)$$

где t_1, t_2 – температура воды в прямом и обратном трубопроводах, °С;
 $C_в$ – теплоемкость воды.

$$G_{o.г}^{-36} = \frac{6,78 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (115 - 70)} = 35,95 \text{ кг/с.}$$

$$G_{o.г}^{-21} = \frac{4,89 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (87,84 - 55,44)} = 36,02 \text{ кг/с.}$$

$$G_{o.г}^{-7,6} = \frac{3,214 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (63,59 - 32,9)} = 24,99 \text{ кг/с.}$$

Расход сетевой воды на горячее водоснабжение, кг/с (4.2.9):

$$G_{г.г} = \frac{Q_{г.г}^{расч}}{C_g \cdot (t_1 - t_2)}, \quad (4.2.9)$$

где t_1, t_2 – температура воды в прямом и обратном трубопроводах, °C;
 C_g – теплоемкость воды.

$$G_{г.г} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (115 - 70)} = 2,01 \text{ кг/с.}$$

Расход сетевой воды на вентиляцию, кг/с (4.2.10):

$$G_{г.г} = \frac{Q_{г.г}^{расч}}{C_g \cdot (t_1 - t_2)}, \quad (4.2.10)$$

где t_1, t_2 – температура воды в прямом и обратном трубопроводах, °C;
 C_g – теплоемкость воды.

$$G_{г.г} = \frac{3,13 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (115 - 70)} = 16 \text{ кг/с.}$$

Общий расход сетевой воды кг/с (4.2.12):

$$G_c = G_{o.г} + G_{г.г}, \quad (4.2.12)$$

$$G_c = 36,02 + 2,01 = 38,03 \text{ кг/с.}$$

Расход воды на подпитку кг/с (4.2.13):

$$G_{под} = (0,02 \div 0,025) \cdot G_c, \quad (4.2.13)$$

$$G_{\text{нод}} = 0,025 \cdot 38,03 = 0,95 \text{ кг / с.}$$

Расход исходной воды МВт/ч (4.2.14):

$$G_{\text{исх}} = (1,15 \div 1,2) \cdot G_{\text{нод}}, \quad (4.2.14)$$

$$G_{\text{исх}} = 1,2 \cdot 0,95 = 1,14 \text{ МВт / ч.}$$

Расход воды через котельные агрегаты кг/с (4.2.11):

$$G_k = \frac{Q_k}{C_{\theta} \cdot (t_1 - t_2)}, \quad (4.2.11)$$

$$G_k^{-36} = \frac{7,374 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (115 - 70)} = 39,1 \text{ кг / с.}$$

$$G_k^{-21} = \frac{5,808 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (87,84 - 55,44)} = 41,78 \text{ кг / с.}$$

$$G_k^{-7,6} = \frac{4,081 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (63,59 - 31,9)} = 30,73 \text{ кг / с.}$$

$$G_k^{\text{г}} = \frac{0,391 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (115 - 70)} = 2,07 \text{ кг / с.}$$

Температура воды на выходе из котельного агрегата, °С (4.2.12):

$$t_{\kappa 2} = t_{\kappa 1} + \frac{Q_k}{C_{\theta} \cdot G_k}, \quad (4.2.12)$$

где $t_{\kappa 1}$ — температура воды на входе в котельный агрегат, $t_{\kappa 1} = 70 \text{ °С} = \text{const.}$

$$t_{\kappa 2}^{-36} = 70 + \frac{7,374 \cdot 10^3}{4,19 \cdot 39,1} = 115 \text{ °С.}$$

$$t_{\kappa 2}^{-21} = 70 + \frac{5,808 \cdot 10^3}{4,19 \cdot 41,78} = 103 \text{ °С.}$$

$$t_{k2}^{-7,6} = 70 + \frac{4,081 \cdot 10^3}{4,19 \cdot 30,73} = 101 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Расход воды на линии рециркуляции при $t_{k1}=70 \text{ }^\circ\text{C} = \text{const}$, кг/с по формуле (4.2.13):

$$G_{pc} = \frac{G_k \cdot (t_{k1} - t_2)}{(t_{k2} - t_{k1})}, \quad (4.2.13)$$

$$G_{pc}^{-36} = \frac{39,1 \cdot (70 - 70)}{(115 - 70)} = 0,86 \text{ кг/с}.$$

$$G_{pc}^{-21} = \frac{41,78 \cdot (70 - 55,44)}{(103 - 70)} = 18,43 \text{ кг/с}.$$

$$G_{pc}^{-7,6} = \frac{30,73 \cdot (70 - 32,9)}{(101 - 70)} = 36,77 \text{ кг/с}.$$

Расход воды на собственные нужды, кг/с (4.2.14):

$$G_{c.n}^{расч} = \frac{Q_{c.n}}{c_{\theta} \cdot (t_{k2} - t_{k1})}, \quad (4.2.14)$$

$$G_{c.n}^{-36} = \frac{0,214 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (115 - 70)} = 1,13 \text{ кг/с}.$$

$$G_{c.n}^{-21} = \frac{0,158 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (103 - 70)} = 1,14 \text{ кг/с}.$$

$$G_{c.n}^{-7,6} = \frac{0,17 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (101 - 70)} = 1,3 \text{ кг/с}.$$

$$G_{c.n}^{\lambda} = \frac{0,011 \cdot 10^3}{4,19 \cdot (115 - 70)} = 0,058 \text{ кг/с}.$$

Расчетный расход воды через котельные агрегаты, кг/с определяется по формуле (4.2.15):

											лист
											30
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.01.2018.263.04 ПЗ						

псковского котельного завода. Рассмотрим его показатели и проведем поверочный расчет.

Краткое описание котлового агрегата марки КВ-ГМ-2,5-115

Котел водогрейный марки КВ-ГМ-2,5-115 предназначен для получения горячей воды температурой до 115 °С, используемой в системах отопления, горячего водоснабжения промышленного и бытового назначения [42].

Котел выполнен 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 \varnothing 60x3 мм с шагом 80 мм, входящими в коллекторы \varnothing 108x7 мм. Между трубами ввариваются пластины шириной 20 мм, обеспечивающие газоплотность панелей топки котла. Трубы боковых экранов, расположены горизонтально. 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. 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.

Конвективная поверхность нагрева, находящаяся следом за топочной камерой, состоит из U-образных ширм из труб \varnothing 28x3 с шагом $s_1=80$ мм и $s_2=40$ мм. Боковые стены конвективного газохода закрыты горизонтально расположенными трубами \varnothing 60x3 мм и ввариваются в вертикальный коллектор \varnothing 108x7мм. Между потолочными и подовыми трубами конвективного газохода ввариваются пластины шириной 20 мм, обеспечивая газоплотность панелей котла.

С фронта котла расположена неохлаждаемая фронтальная 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.

Для комплектации котлов могут быть использованы газовые, легкожидкотопливные и комбинированные автоматизированные горелочные устройства различных отечественных производителей [42].

В таблице 4.10 показаны технические характеристика котла КВ-ГМ-2,5-115

										лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						32

13.03.01.2018.263.04 ПЗ

Таблица 4.10 – Технические характеристики котла КВ-ГМ-2,5-115

Теплопроизводительность, МВт	2,5
Рабочее давление воды на входе в котел / на выходе из котла, МПа	0,7/0,9
Температура воды на входе/выходе, °С	70 / 115
Расход воды через котел, т/ч	68
Гидравлическое сопротивление, МПа, не более	0,12
Расход расчетного топлива для природного газа, м ³ /ч	266
Аэродинамическое сопротивление, Па, не более	230
Коэффициент избытка воздуха для природного газа по ГОСТ 5542, не более	1,15
Температура дымовых газов на выходе из котла для природного газа по ГОСТ 5542, °С	160
Диапазон регулирования теплопроизводительности по отношению к номинальной, %	30-100
КПД котла на природном газе, %, не менее	93,7
Габаритные размеры в облегченной изоляции с металлической обшивкой, мм: - длина по выступающим частям блока котла; - ширина по выступающим частям блока котла; - высота от уровня пола котельной до выступающих частей блока котла	4140 1190 1960
Масса котла без горелки, кг, не более	4500

Тепловой расчет котельной установки.

Природный газ различных месторождений сочетает высокую теплотворную способность с умеренной ценой и отсутствием золы. Его применение целесообразно в любых тепловых установках.

Основой теплового расчета горения топлива является его состав. В горении участвуют только часть топлива, которая называется горючей массой [38].

На предприятие ЛПУМГ Шадринск поступает природный газ по газопроводу Бухара-Урал: CH₄– 94,9%; C₂H₆– 3,2%; C₃H₈ – 0,4%; C₄H₁₀– 0,1%; C₅H₁₂– 0,1%; N₂–0,9%; CO₂– 0,4%.

Для газообразного топлива теплота сгорания определяется как сумма произведений тепловых эффектов компонентов горючих газов на их количество, кДж/м³(4.3.1):

$$Q_n^p = 358,2 \cdot \text{CH}_4 + 637,5 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 912,5 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 1186,5 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} + 1460,8 \cdot \text{C}_5\text{H}_{12} \quad (4.3.1)$$

$$Q_n^p = 358,2 \cdot 94,9 + 637,5 \cdot 3,2 + 912,5 \cdot 0,4 + 1186,5 \cdot 0,1 + 1460,8 \cdot 0,1 = 36662,91 \text{ кДж/м}^3$$

Теоретическое количество сухого воздуха, необходимого для полного сгорания 1 м³ газообразного топлива (коэффициент избытка воздуха $\alpha=1,15$), м³/м³ (4.3.2),

$$V^0 = 0,0476 \cdot (2 \cdot \text{CH}_4 + 3,5 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 5 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 6,5 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} + 8 \cdot \text{C}_5\text{H}_{12}) \quad (4.3.2)$$

$$V^0 = 0,0476 \cdot (2 \cdot 94,9 + 3,5 \cdot 3,2 + 5 \cdot 0,4 + 6,5 \cdot 0,1 + 8 \cdot 0,1) = 9,73 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Теоретический объем двухатомных газов в продуктах сгорания (N_2), $\text{м}^3/\text{м}^3$
(4.3.3):

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + \frac{\text{N}_2}{100} \quad (4.3.3)$$

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79 \cdot 9,73 + \frac{0,9}{100} = 7,7 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Объем сухих трехатомных газов в продуктах сгорания ($\text{CO}_2 + \text{SO}_2$), $\text{м}^3/\text{м}^3$
(4.3.4):

$$V_{\text{RO}_2} = 0,01 \cdot (\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{S} + \sum m \cdot \text{C}_m \text{H}_n), \quad (4.3.4)$$

где m – число атомов углерода.

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

Теоретический объем водяных паров в продуктах сгорания, $\text{м}^3/\text{м}^3$ (4.3.5),

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,01 \cdot \left(\text{H}_2\text{S} + \text{H}_4 + \sum \left(\frac{n}{2} \right) \text{C}_n \text{H}_m + 0,124 d_{\text{г.мл}} \right) + 0,0161 \cdot V^0, \quad (4.3.5)$$

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

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,01 \cdot (2 \cdot 94,9 + 3 \cdot 3,2 + 4 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,1 + 6 \cdot 0,1 + 0,124 \cdot 10) + 0,0161 \cdot 9,73 = 2,19$$

При коэффициенте избытка воздуха $\alpha > 1$ объем водяных паров в продуктах сгорания, $\text{м}^3/\text{м}^3$ (4.3.6):

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0 \quad (4.3.6)$$
$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 2,19 + 0,0161 \cdot (1,15 - 1) \cdot 9,73 = 2,21 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

При коэффициенте избытка воздуха $\alpha > 1$ суммарный объем дымовых газов, $\text{м}^3/\text{м}^3$ (4.3.7):

											лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.01.2018.263.04 ПЗ						34

$$V_2 = V_{H_2O}^0 + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha - 1)V^0 \quad (4.3.7)$$

$$V_2 = 2,19 + 7,7 + 2,21 + (1,15 - 1) \cdot 9,73 = 13,56 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Объемная доля сухих трехатомных газов определяется по формуле (4.3.8):

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_2} \quad (4.3.8)$$

$$r_{RO_2} = \frac{1,04}{13,56} = 0,077$$

Объемная доля водяных паров определяется по формуле (4.3.9):

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_2} \quad (4.3.9)$$

$$r_{H_2O} = \frac{2,21}{13,56} = 0,163$$

Суммарная объемная доля всех трехатомных газов определяется по формуле (4.3.10):

$$r_{II} = r_{R_2O} + r_{H_2O} \quad (4.3.10)$$

$$r_{II} = 0,77 + 0,163 = 0,24$$

Температура конденсации водяных паров, °C (4.3.11):

$$t_k = 19,48 \cdot \ln(r_{H_2O}) + 91,48^\circ C \quad (4.3.11)$$

$$t_k = 19,48 \cdot \ln(0,163) + 91,48 = 56^\circ C$$

Минимально допустимая температура на поверхности нагрева, °C (4.3.12):

$$t_{cm} = t_k + 10 \quad (4.3.12)$$

$$t_{cm} = 56 + 10 = 66$$

4.3.1 Расчет теплосодержания продуктов сгорания

Теплосодержание (энтальпия) продуктов сгорания, кДж/м³, определяется по формуле (4.3.1.1):

$$I = I_2^o + (\alpha - 1) \cdot I_6^o \quad (4.3.1.1)$$

где I_2^o – энтальпия продуктов сгорания (при $\alpha=1$), кДж/м³ (4.3.1.2);

I_6^o – энтальпия воздуха, ккал/м³ (4.3.1.3).

$$I_2^o = V_{RO_2} \cdot (c\vartheta)_{CO_2} + V_{N_2}^o \cdot (c\vartheta)_{N_2} + V_{H_2O}^o \cdot (c\vartheta)_{H_2O}, \quad (4.3.1.2)$$

$$I_6^o = V^o \cdot (c\vartheta)_6, \quad (4.3.1.3)$$

где $(c\vartheta)_{CO_2}, (c\vartheta)_{N_2}, (c\vartheta)_{H_2O}, (c\vartheta)_6$ – энтальпии 1 м³ CO₂, N₂, H₂O и воздуха, которые необходимо принимать по справочным данным.

Для каждого элемента котла задается диапазон значений температур дымовых газов, по которым производится расчет теплосодержания I .

Для топки 2000 °С, 1100 °С, 1000 °С:

$$I_2^o = (1,04 \cdot 4859 + 7,7 \cdot 2973 + 2,19 \cdot 3939) \cdot 0,2389 = 8737 \text{ кДж/м}^3$$

$$I_2^o = (1,04 \cdot 2465 + 7,7 \cdot 1550 + 2,19 \cdot 1932) \cdot 0,2389 = 4474,5 \text{ кДж/м}^3$$

$$I_2^o = (1,04 \cdot 2209 + 7,7 \cdot 1398 + 2,19 \cdot 1730) \cdot 0,2389 = 4025,62 \text{ кДж/м}^3$$

$$I_6^o = (9,73 \cdot 3074) \cdot 0,2389 = 7145,5 \text{ кДж/м}^3$$

$$I_6^o = (9,73 \cdot 1440) \cdot 0,2389 = 3347,28 \text{ кДж/м}^3$$

$$I_6^o = (9,73 \cdot 1285) \cdot 0,2389 = 2986,98 \text{ кДж/м}^3$$

$$I = 8737 + (1,15 - 1) \cdot 7145,5 = 9808,8 \text{ кДж/м}^3$$

$$I = 4474,5 + (1,15 - 1) \cdot 3347,28 = 4976,6 \text{ кДж/м}^3$$

$$I = 4025,62 + (1,15 - 1) \cdot 2986,98 = 4473,67 \text{ кДж/м}^3$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Для уходящих газов 300 °С и 100 °С:

$$I_2^o = (1,04 \cdot 561 + 7,7 \cdot 393 + 2,19 \cdot 464) \cdot 0,2389 = 1105,1 \text{ кДж/м}^3$$

$$I_2^o = (1,04 \cdot 170 + 7,7 \cdot 130 + 2,19 \cdot 151) \cdot 0,2389 = 360,4 \text{ кДж/м}^3$$

$$I_6^o = (9,73 \cdot 40) \cdot 0,2389 = 939,1 \text{ кДж/м}^3$$

$$I_6^o = (9,73 \cdot 133) \cdot 0,2389 = 309,2 \text{ кДж/м}^3$$

$$I = 1105,1 + (1,15 - 1) \cdot 939,1 = 1246 \text{ кДж/м}^3$$

$$I = 360,4 + (1,15 - 1) \cdot 309,2 = 406,8 \text{ кДж/м}^3$$

4.3.2 Тепловой баланс котла

Тепловой баланс котла – равенство располагаемой теплоты Q_p^p сумме полезно используемой теплоты Q_1 и потерь теплоты $Q_2 - Q_6$ при стационарном режиме работы котла [28].

Общее уравнение теплового баланса имеет вид (4.3.2.1)

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (4.3.2.1)$$

где Q_p^p – располагаемая теплота на 1 м³ газообразного топлива, кДж/м³;

Q_1 – полезно используемая теплота (нагрев, испарение воды и перегрев пара в паровом котле, нагрев воды в водогрейном котле), кДж/м³;

Q_2 – потери теплоты с уходящими газами, кДж/м³;

Q_3 – потери теплоты от химической неполноты сгорания, кДж/м³;

Q_4 – потери теплоты от механической неполноты сгорания, кДж/м³;

Q_5 – потеря теплоты от наружного охлаждения, кДж/м³.

При делении обеих частей уравнения на Q_p^p и умножении на 100% получаем
100% = $q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5$ или 100% = $n_{op} + q_2 + q_3 + q_4 + q_5$

Определяем располагаемую теплоту, кДж/м³ (4.3.2.2):

$$Q_p^p = Q_n^c \quad (4.3.2.2)$$

где Q_n^c – низшая теплота сгорания на сухую массу (для газообразных топлив).

$$Q_p^p = 36662,91 \text{ кДж/м}^3$$

Определяем потери теплоты от механической неполноты сгорания.

По справочным данным в литературе [25], учитывая вид используемого топлива и тип топочного устройства, определяем процентное значение механического недожога q_4 . При сжигании газа и жидкого топлива $q_4 = 0 \%$.

Выбор температуры уходящих газов.

Температура уходящих газов выбирается по виду топлива, природного газа $\vartheta_{yx} = 140 - 160 \text{ }^\circ\text{C}$. Так как котел малой мощности, $\vartheta_{yx} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$

Определяем потери теплоты с уходящими газами, % (4.3.2.3):

$$q_2 = \frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} I_{x.г}^o)(100 - q_4)}{Q_p^p}, \quad (4.3.2.3)$$

где I_{yx} – энтальпия уходящих газов, кДж/м³, определяется по принятой ϑ_{yx} .

Интерполяцией определяем I_{yx} при $\vartheta_{yx} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$, $I_{yx} = 910,32 \text{ кДж/м}^3$.

$$I_{x.г}^o = 39,8 \cdot V^o = 39,8 \cdot 9,37 = 372,93 \text{ кДж/м}^3$$

$$q_2 = \frac{(910,32 - 0,05 \cdot 372,93) \cdot (100 - 0)}{36662,91} = 2,4\%$$

Определяем потери теплоты от химической неполноты сгорания

По справочным данным в литературе [35] с учётом вида используемого топлива и типа топочного устройства определяется процентное значение химического недожога $q_3 = 0,5 \%$.

Потери теплоты от наружного охлаждения определяются по справочным данным [35]: $q_5 = 2,5 \%$.

Методом обратного баланса определяется КПД брутто $\eta_{бр}$, % (4.3.2.4):

$$\eta_{бр} = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5 = 100 - 2,4 - 0,5 - 0 - 2,5 = 94,6 \%$$

Определяем расчетный расход топлива, м³/с (4.3.2.4):

$$B = \frac{Q_k \cdot 1,163}{Q_n^p \eta_{бр}}, \quad (4.3.2.4)$$

где Q_k – мощность водогрейного котла, Гкал/ч.

$$B = \frac{2,15 \cdot 1,163 \cdot 10^3}{36662,91 \cdot 0,946} = 0,072 \text{ м}^3/\text{с}$$

Определяем коэффициент сохранения теплоты по формуле (4.3.2.5):

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{бр} - q_5} \quad (4.3.2.5)$$

$$\varphi = 1 - \frac{2,5}{94,6 - 2,5} = 0,972$$

4.3.3 Поверочный расчет топочной камеры

В топочной камере происходит передача тепла от продуктов сгорания, в основном излучением, к экранам. Целью поверочного расчета является определение теплового напряжения топки и температуры газов на выходе из топки [20], [38].

Задаемся предварительным значением температуры продуктов сгорания на выходе из топки \mathcal{G}_m'' .

При сжигании природного газа предварительно можно принять $T_m'' = 1050$ °С.

Найдем энтальпию для предварительной температуры, кДж/м³ (4.3.3.1):

$$I_x = I_m + (t_{изв} - t_m) \cdot \frac{I_б - I_m}{100}, \quad (4.3.3.1)$$

где $I_б, I_m$ - энтальпии, соответствующие большей и меньшей температурам искомого интервала температур;

$t_{изв}$ - температура, для которой вычисляется энтальпия, °С;

t_m - температура, соответствующая меньшей температуре искомого интервала, °С.

$$I_x = 4473,67 + (1050 - 1000) \cdot \frac{9808,8 - 4473,67}{100} = 7141,2 \text{ кДж/м}^3$$

По данным паспорта котла КВ-ГМ 2,5-115 принимаем площадь всех стенок топки $F_{ст} = 16,2$ м².

Определяем лучевоспринимающую поверхность топки, м² (4.3.3.2):

$$H_l = \Sigma F_{nl,i} \cdot x, \quad (4.3.3.2)$$

где $F_{nl,i}$ - площади всех стенок топки, м²; x - угловые коэффициенты экранов, определяемые по формуле (приближенно) (4.3.3.3):

$$x = -0,013 \cdot \left(\frac{s}{d}\right)^2 - 0,1412 \cdot \left(\frac{s}{d}\right) + 1,1597, \quad (4.3.3.3)$$

где d – наружный диаметр экранных труб, мм;
 s – шаг экранных труб, мм.

$$x = -0,013 \cdot \left(\frac{70}{51}\right)^2 - 0,1412 \cdot \left(\frac{70}{51}\right) + 1,1597 = 0,9457$$

$$H_{\lambda} = 16,2 \cdot 0,9457 = 15,3 \text{ м}^2$$

Определяем средний коэффициент тепловой эффективности экранов (4.3.3.4):

$$\psi_{cp} = x \cdot \xi, \quad (4.3.3.4)$$

где ξ – коэффициент, учитывающий загрязнение экрана, для открытых гладкотрубных экранов принимается, $\xi=0,65$.

$$\psi_{cp} = 0,9457 \cdot 0,65 = 0,612$$

Объем топки V_m по данным паспорта котла, $V_m = 3,7 \text{ м}^3$.

Определяем эффективную толщину излучающего слоя, м (4.3.3.5):

$$S = 3,6 \cdot \frac{V_m}{F_{cm}}, \quad (4.3.3.5)$$

$$S = 3,6 \cdot \frac{3,7}{16,2} = 0,82 \text{ м}$$

Определяем степень черноты факела по формуле (4.3.3.6).

При сжигании газообразного топлива степень черноты факела

$$a_{\phi} = m \cdot a_{cv} + (1 - m) \cdot a_2, \quad (4.3.3.6)$$

где a_{cv} – степень черноты светящегося пламени;

a_2 – степень черноты трех-атомных газов;

m – доля топочного объема, заполненного светящейся частью факела, $m=0,1$.

Степень черноты светящегося пламени по формуле (4.3.3.7):

									лист
									40
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

$$a_{ce} = 1 - e^{-(k_z r_n + k_c) p S} \quad (4.3.3.7)$$

$$a_{ce} = 1 - e^{-(1,38 \cdot 0,24 + 0,09) \cdot 1 \cdot 0,82} = 0,292$$

Степень черноты трехатомных газов по формуле (4.3.3.8):

$$a_z = 1 - e^{-k_z r_n p S} \quad (4.3.3.8)$$

где e – основание натуральных логарифмов ($e=2,718\dots$);

k_z – коэффициент ослабления лучей трехатомными газами;

r_n – суммарная доля трехатомных газов;

k_c – коэффициент ослабления лучей сажистыми частицами;

p – давление в топке, кгс/см² (для расчетов можно принять $p = 1$ кгс/см²);

S – эффективная толщина излучающего слоя, м.

$$a_z = 1 - e^{-1,38 \cdot 0,24 \cdot 1 \cdot 0,82} = 0,238$$

Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами по формуле (4.3.3.9):

$$k_z = \left(\frac{0,78 + 1,6 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{p \cdot r_n \cdot S}} - 0,1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T_m''}{1000} \right), \quad (4.3.3.9)$$

где r_{H_2O} – доля водяных паров в дымовых газах.

$$k_z = \left(\frac{0,78 + 1,6 \cdot 0,163}{\sqrt{1 \cdot 0,24 \cdot 0,82}} - 0,1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{1050}{1000} \right) = 1,38$$

Коэффициент ослабления лучей сажистыми частицами по формуле (4.3.3.10):

$$k_c = 0,03 \cdot (2 - \alpha_m) \cdot \left(1,6 \cdot \frac{T_m''}{1000} - 0,5 \right) \cdot \frac{C_p}{H_p}, \quad (4.3.3.10)$$

$$k_c = 0,03 \cdot (2 - 1,15) \cdot \left(1,6 \cdot \frac{1050}{1000} - 0,5 \right) \cdot 3 = 0,09$$

где α_m – коэффициент избытка воздуха за топкой (при $\alpha_m > 2$ $k_c = 0$);

											лист
											41
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.01.2018.263.04 ПЗ						

$$Q_g = \alpha_m \cdot I_{x.g}^o, \quad (4.3.3.15)$$

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

$$Q_m = 8758,77 \cdot \frac{(100 - 0,5)}{100} + 107,41 = 8822,39 \text{ кДж/м}^3$$

Определяем среднюю суммарную теплоемкость продуктов сгорания на 1 м^3 газа при нормальных условиях, $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ (4.3.316):

$$V_{cp} = \frac{Q_m - I_m''}{T_a - T_m''}, \quad (4.3.3.16)$$

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

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

I_m'' – энтальпия продуктов горения при принятой на выходе из топки температуре, кДж/м^3 ;

Q_m – полезное тепловыделение в топке, кДж/м^3 .

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

Определим действительную температуру на выходе из топки, $^{\circ}\text{C}$ (4.3.3.17):

$$g_m'' = \frac{T_a}{M \cdot \left(\frac{5,67 \cdot \Psi_{cp} \cdot F_{cm} \cdot a_m \cdot T_a^3}{10^{11} \cdot \varphi \cdot B_p \cdot V_{cp}} \right)^{0,6} + 1} - 273, \quad (4.3.3.17)$$

где B_p – расчетный расход топлива, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$g_m'' = \frac{1374}{0,5 \cdot \left(\frac{5,67 \cdot 0,612 \cdot 20,8 \cdot 0,483 \cdot 1374^3}{10^{11} \cdot 0,972 \cdot 0,072 \cdot 32,945} \right)^{0,6} + 1} - 273 = 1098 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

При различии между предварительно принятой и полученной температурами менее $\pm 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ расчет считают окончанным.

Полученное значение температуры на выходе из топки отличается от ранее принятого менее чем на $\pm 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Расчет окончен.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

13.03.01.2018.263.04 ПЗ

лист

43

4.3.4 Поверочный расчет конвективной части котла

Произведем поверочный расчет конвективной части водогрейного котла при сжигании природного газа [38], [31]. Определим геометрические характеристики конвективной части котла.

Размеры конвективной части: высота – 1,436 м; ширина – 0,920 м; глубина – 1,340 м. Стенки конвективной части котла экранирована трубами диаметром 60 мм с шагом 80 мм. При ширине стенок 920 мм получаем количество труб $(920/80)+1=12$ шт. Общее количество труб диаметром 60 мм $12 \cdot 4=48$ шт. Площадь стенок составит $3,14 \cdot 0,06 \cdot 1,340 \cdot 48=12 \text{ м}^2$.

В котле применяется три пакет с шахматным расположением труб диаметром 28 мм с шагом $s_1=80$ мм, $s_2=40$ мм. Размеры пакета: высота 1360 мм, ширина 920 мм, глубина 400 мм. Средняя длина труб в пакете составит $\approx 2,2$ м. Из каждого коллектора выходит по две трубы (в шахматном порядке) диаметром 28 мм. Таким образом, количество труб в одном ряду z_1 составит: $400/80=5$ шт. Количество рядов z_2 : $(1360/40+1)=34$ шт. Количество труб n в пучке: $5 \cdot 34=170$ шт.

Площадь пучка, образуемого трубами $d=28$ мм: $3,14 \cdot 0,028 \cdot 2,3 \cdot 170=34,4 \text{ м}^2$. А так как в котле установлено три конвективных пакета получим $34,4 \cdot 3=103,1 \text{ м}^2$. Общая площадь конвективной части $H=12+103,1=110,6 \text{ м}^2$.

Определим площадь живого сечения для прохода продуктов сгорания при поперечном омывании гладких труб, м^2 (4.3.4.1):

$$F = a \cdot b - z_1 \cdot l \cdot d, \quad (4.3.4.1)$$

где a и b – размеры газохода в расчетном сечении, м;

z_1 – число труб в одном ряду, шт;

l – длина труб, м;

d – диаметр трубы, м.

$$F = 1,360 \cdot 0,92 - 5 \cdot 2,3 \cdot 0,028 = 0,93 \text{ м}^2$$

Принимаем два значения температуры продуктов сгорания после рассчитываемого газохода. Дальнейшие вычисления производим для принятых двух значений. На выходе из конвективного газохода принимают, как правило, значения $\vartheta_1''=300$ °С и $\vartheta_2''=100$ °С.

Определяем количества теплоты, отданной продуктами по формуле (4.3.4.2):

$$Q_{\sigma} = \varphi(I' - I'' + \Delta\alpha \cdot I_{\text{прс}}^0), \quad (4.3.4.2)$$

где φ – коэффициент сохранения теплоты;

I' – энтальпия продуктов сгорания на входе в газоход (это энтальпия газов на выходе из топки), кДж/м³;

I'' – энтальпия продуктов сгорания на выходе из газохода при двух значениях

температур, кДж/м³;

$\Delta\alpha$ – разность коэффициентов избытка воздуха на входе и выходе из газохода;

$I_{пр}^0$ – энтальпия воздуха при температуре +30 °С.

$$g_1'' = 300 \text{ °С}$$

$$Q_{\sigma} = 0,972(5838,5 - 1246 + 0,1 \cdot 93,4) = 4473 \text{ кДж/м}^3$$

$$g_2'' = 100 \text{ °С}$$

$$Q_{\sigma} = 0,972(5838,5 - 406,8 + 0,1 \cdot 93,4) = 5288,7 \text{ кДж/м}^3$$

Средняя температура потока продуктов сгорания в газоходе, °С (4.3.4.3):

$$g = \frac{g' + g''}{2}, \quad (4.3.4.3)$$

$$g = \frac{1098 + 300}{2} = 699 \text{ °С}$$

$$g = \frac{1098 + 100}{2} = 599 \text{ °С}$$

Температурный напор (разность) между продуктами сгорания и нагреваемой средой, °С (4.3.4.4):

$$\Delta t = \frac{g' + g''}{2,3 \cdot \lg \frac{g' - t_{\kappa}}{g'' - \Delta t_{\kappa}}}, \quad (4.3.4.4)$$

где t_{κ} – температура нагреваемой среды, °С.

$$\Delta t = \frac{1098 + 300}{2,3 \cdot \lg \frac{1098 - 92,5}{100 - 92,5}} = 498,8 \text{ °С}$$

$$\Delta t = \frac{1098 + 100}{2,3 \cdot \lg \frac{1098 - 92,5}{100 - 92,5}} = 203,6 \text{ °С}$$

Средняя скорость продуктов сгорания в газоходе, м/с (4.3.4.5):

									лист	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.01.2018.263.04 ПЗ					45

$$\omega_2 = \frac{B_p \cdot V_2}{3600 \cdot F} \cdot \frac{(\vartheta + 273)}{273}, \quad (4.3.4.5)$$

где B_p – расчетный расход топлива, м³/ч по данным теплового баланса котла;
 V_2 – объем продуктов сгорания на 1 м³ топлива, м³; ϑ – средняя температура потока.

$$\omega_2 = \frac{315,4 \cdot 13,56}{3600 \cdot 0,93} \cdot \frac{(699 + 273)}{273} = 4,5 \text{ м/с}$$

$$\omega_2 = \frac{315,4 \cdot 13,56}{3600 \cdot 0,93} \cdot \frac{(599 + 273)}{273} = 4,2 \text{ м/с}$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией от продуктов сгорания к поверхности нагрева, кДж/(м²·ч·°С) (4.3.4.6):

$$\alpha_k = 0,34 \cdot C_z \cdot C_s \cdot \frac{\lambda}{d} \left(\frac{\omega_2 \cdot d}{\nu} \right)^{0,6} \cdot \text{Pr}^{0,33}, \quad (4.3.4.6)$$

где C_z – поправка на число рядов труб z_2 по ходу продуктов сгорания: при $z_2 \geq 10$, $C_z = 1$;

C_s – поправка на геометрическую компоновку пучка: при $0,1 < \varphi_\sigma \leq 1,7$, $C_s = \varphi_\sigma^{0,1}$

При поперечном омывании шахматных пучков труб (4.3.4.7):

$$\varphi_\sigma = \frac{\sigma_1 - 1}{\left(\sqrt{\frac{1}{4} \sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right) - 1}, \quad (4.3.4.7)$$

$$\varphi_\sigma = \frac{2,9 - 1}{\left(\sqrt{\frac{1}{4} 2,9^2 + 1,4^2} \right) - 1} = 1,6$$

$$\alpha_k = 0,34 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{0,0345}{0,028} \cdot \left(\frac{4,5 \cdot 0,028}{0,0000316} \right)^{0,6} \cdot 0,67^{0,33} = 51,7$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

$$\alpha_{\kappa} = 0,34 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{0,0345}{0,028} \cdot \left(\frac{4,2 \cdot 0,028}{0,0000316} \right)^{0,6} \cdot 0,67^{0,33} = 49,9$$

Степень черноты газового потока определяется по формуле (4.3.4.8):

$$a = 1 - e^{-kpS}, \quad (4.3.4.8)$$

где S – эффективная толщина излучающего слоя для гладкотрубных пучков, м (4.3.4.9):

$$S = 0,9d \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{s_1 \cdot s_2}{d^2} - 1 \right) \quad (4.3.4.9)$$

$$S = 0,9d \left(\frac{4}{3,14} \cdot \frac{0,08 \cdot 0,04}{0,028^2} - 1 \right) = 0,1 \text{ м}$$

Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами (4.3.4.10):

$$k_z = \left(\frac{(0,78 + 1,6 \cdot r_{H_2O})}{\sqrt{p \cdot r_n \cdot S}} - 0,1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{T}{1000} \right), \quad (4.3.4.10)$$

где T – абсолютная температура газового потока ($T = \vartheta + 273$), К.

$$k_z = \left(\frac{(0,78 + 1,6 \cdot 0,163)}{\sqrt{1 \cdot 0,24 \cdot 0,1}} - 0,1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{972}{1000} \right) = 4,4$$

$$k_z = \left(\frac{(0,78 + 1,6 \cdot 0,163)}{\sqrt{1 \cdot 0,24 \cdot 0,1}} - 0,1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{872}{1000} \right) = 4,6$$

$$k = k_z \cdot r_n \quad (4.3.4.11)$$

$$k = 4,4 \cdot 0,24 = 1,056$$

$$k = 4,6 \cdot 0,24 = 1,104$$

Подставим полученные коэффициенты в формулу (4.3.4.8):

$$a = 1 - e^{-0,0561 \cdot 0,1} = 0,1$$

$$a = 1 - e^{-1,104 \cdot 0,1} = 0,104$$

Коэффициент теплоотдачи α_n , учитывающий передачу теплоты излучением в конвективных поверхностях нагрева (4.3.4.12):

$$\alpha_n = 4,9 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_3 + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{T_3}{T}\right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{T_3}{T}\right)}, \quad (4.3.4.12)$$

где a – степень черноты дымовых газов;

a_3 – степень черноты загрязненных стенок поверхности нагрева (принимается $a_3 = 0,8$);

T_3 – абсолютная температура загрязненной стенки, К (4.3.4.13):

$$T_3 = t_k + 273 + \delta_t, \quad (4.3.4.13)$$

где δ_t – перепад температур, принимаемый при сжигании газа 25 °С.

$$T_3 = 92,5 + 273 + 25 = 390,5$$

$$\alpha_n = 4,9 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,104 \cdot 872^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{390,5}{872}\right)^{3,6}}{1 - \left(\frac{390,5}{872}\right)} = 5,1$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания к поверхности нагрева, кДж/(м²·ч·°С) (4.3.4.14):

$$\alpha_1 = \xi \cdot (\alpha_k + \alpha_n), \quad (4.3.4.14)$$

где ξ – коэффициент использования поверхности нагрева, при сложном омывании $\xi = 0,95$ (котлы ДКВР, КВ-ТС, КВ-ГМ).

$$\alpha_1 = 0,95 \cdot (51,7 + 6,4) = 55,2 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С})$$

$$\alpha_1 = 0,95 \cdot (49,9 + 5,1) = 52,3 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С})$$

Коэффициент теплопередачи, кДж/(м²·ч·°С) определяем по формуле (4.3.4.15):

$$k = \Psi \cdot a_1, \quad (4.3.4.15)$$

где ψ – коэффициент тепловой эффективности природного газа равен 0,85.

$$k = 0,85 \cdot 55,2 = 46,92 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C})$$

$$k = 0,85 \cdot 52,3 = 44,5 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C})$$

Количество теплоты, воспринятое поверхностью нагрева, на м^3 сжигаемого топлива, $\text{кДж}/\text{м}^3$ (4.3.4.16):

$$Q_m = \frac{k \cdot H \cdot \Delta t}{B_p}, \quad (4.3.4.16)$$

$$Q_m = \frac{46,92 \cdot 110,6 \cdot 498,8}{315,4} = 8206,9 \text{ кДж}/\text{м}^3$$

$$Q_m = \frac{44,5 \cdot 110,6 \cdot 203,6}{315,4} = 3147,1 \text{ кДж}/\text{м}^3$$

По принятым двум значениям ϑ'' и полученным парам значений Q_b , Q_m производится построение линейных зависимостей на рисунке 1. По пересечению двух линий определяется расчетная температура на выходе из газохода ϑ_p'' .

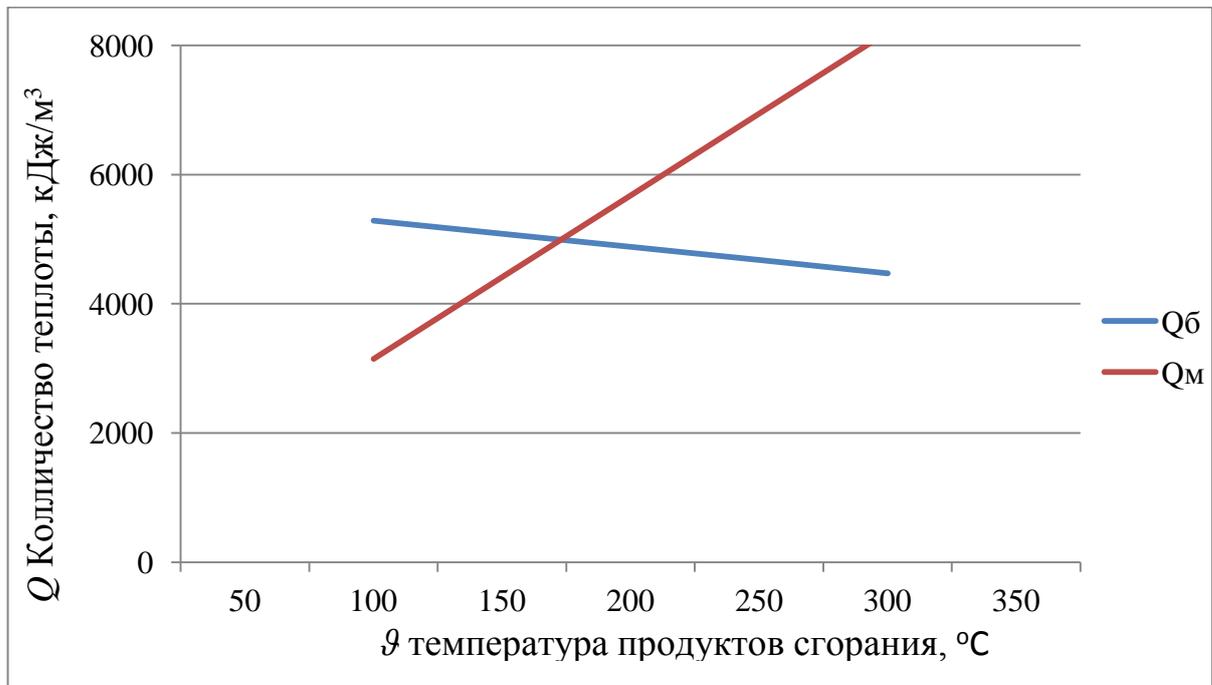


Рисунок 1 – Определение температуры на выходе из газохода

По графику находим расчетную температуру на выходе из конвективной части газохода $\vartheta_p'' = 170$ °С.

Проверка теплового баланса.

Расчеты считаются верными, если выполняется нижеприведенное условие по формулам (4.3.4.17) и (4.3.4.18) :

$$\frac{\Delta Q \cdot 100}{Q_p \cdot \eta_{бр}} \leq 0,5\% \quad (4.3.4.17)$$

$$\Delta Q = B_p [Q_p^p \cdot \eta - (Q_{л} + Q_m)] \quad (4.3.4.18)$$

$$Q_{л} = 0,972 \cdot (36662,91 - 11354) = 24600,26$$

$$\Delta Q = 0,072 \cdot [36662,91 \cdot 0,946 - (24600,26 + 8822,39)] = 90,75$$

$$\frac{\Delta Q \cdot 100}{Q_p \cdot \eta_{бр}} = \frac{90,75 \cdot 100}{36662,91 \cdot 0,946} = 0,26\% \leq 0,5\%$$

Условие теплового баланса соблюдены.

4.4 Гидравлический расчет трубопровода

Задача гидравлического расчета трубопроводов тепловых сетей заключается в определении диаметров трубопроводов, потерь давления или пропускной способности трубопроводов.

Для проведения гидравлического расчета должны быть заданы схема и профиль тепловой сети, указаны размещение источников теплоты и потребителей и расчетные нагрузки. Расчет производится по участкам.

Гидравлический расчет произведен по учебному пособию под редакцией Е.Я. Соколова «Теплофикация и тепловые сети» [33]

Произведем расчет для участка от котельной до ТК 5.

$$Q_{тк1} = 3650435,622 - 3916,9236 = 3646518,6984 \text{ Вт} = 3.646519 \text{ МВт} = 3,135 \text{ Гкал/час};$$

$$Q_{тк2} = 3646518,6984 - 620283,87 - 3543,8833 - 742000,43 - 405334,08 = 1875356,4351 \text{ Вт} = 1,875356 \text{ МВт} = 1.612 \text{ Гкал/час};$$

$$Q_{тк3} = 1875356,4351 - 111200,84 - 90632,436 - 227421,38 - 557801,90 = 888329,87 \text{ Вт} = 0,888329 \text{ МВт} = 0,763 \text{ Гкал/час};$$

$$Q_{тк4} = 888329,87 - 351248,14 = 537081,7391 \text{ Вт} = 0,537081 \text{ МВт} = 0,461 \text{ Гкал/час};$$

$$Q_{\text{TK5}}=537081,7391-9802,6106=527279,1285 \text{ Вт} = 0,527279 \text{ МВт} = 0.453 \text{ Гкал/час};$$

Рассчитаем расход теплоносителя в тепловой сети на участке G , т/ч (4.4.1):

$$G = \frac{Q \cdot 1000}{\Delta T} ; \quad (4.4.1)$$

$$G_{\text{TK1}} = \frac{3,135 \cdot 1000}{45} = 69,6 \text{ т/ч.}$$

$$G_{\text{TK2}} = \frac{1,612 \cdot 1000}{45} = 35,8 \text{ т/ч.}$$

$$G_{\text{TK3}} = \frac{0,763 \cdot 1000}{45} = 16,9 \text{ т/ч.}$$

$$G_{\text{TK4}} = \frac{0,461 \cdot 1000}{45} = 10,2 \text{ т/ч.}$$

$$G_{\text{TK5}} = \frac{0,453 \cdot 1000}{45} = 10 \text{ т/ч.}$$

Диаметр трубопровода от ТК1 $d=219$ мм; ТК2 $d=194$ мм; ТК3 $d=194$ мм; ТК4 $d=133$ мм; ТК5 $d=76$ мм, длина по плану ТК1 $L=4,3$ м; ТК2 $L=87,72$ м; ТК3 $L=17,2$ м; ТК4 $L=32,38$ м; ТК5 $L=55,04$ м

По таблице 9.11 найдем $d_{\text{н}} \times S$:

$$d_{\text{н}} = 219 \times 6$$

$$d_{\text{н}} = 194 \times 6$$

$$d_{\text{н}} = 133 \times 4$$

$$d_{\text{н}} = 76 \times 3,5$$

где S - толщина стенки трубопровода.

Определим коэффициент α , учитывающий долю падения давления в местных сопротивлениях по отношению к падению давления на трение, принимается по табл.9.5 для определения суммарных эквивалентных длин местных сопротивлений [33] α для участка принимаем равным 0,3.

Определим эквивалентную длину местных сопротивлений по формуле (4.4.2):

											лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата							51

13.03.01.2018.263.04 ПЗ

$$l_{\text{э}} = l \cdot \alpha \quad (4.4.2)$$

$$l_{\text{э.ТК1}} = 4,3 \cdot 0,3 = 1,29 \text{ м}$$

$$l_{\text{э.ТК2}} = 87,72 \cdot 0,3 = 26,316 \text{ м}$$

$$l_{\text{э.ТК3}} = 17,2 \cdot 0,3 = 5,16 \text{ м}$$

$$l_{\text{э.ТК4}} = 32,38 \cdot 0,3 = 9,714 \text{ м}$$

$$l_{\text{э.ТК5}} = 55,04 \cdot 0,3 = 16,512 \text{ м}$$

Определим приведенную длину местных сопротивлений по формуле (4.4.3):

$$l_{\text{пр}} = l + l_{\text{э}} \quad (4.4.3)$$

$$l_{\text{пр.ТК1}} = 4,3 + 1,29 = 5,59 \text{ м}$$

$$l_{\text{пр.ТК2}} = 87,72 + 26,316 = 113,036 \text{ м}$$

$$l_{\text{пр.ТК3}} = 17,2 + 5,16 = 22,36 \text{ м}$$

$$l_{\text{пр.ТК4}} = 32,38 + 9,714 = 42,094 \text{ м}$$

$$l_{\text{пр.ТК5}} = 55,04 + 16,512 = 71,552 \text{ м}$$

Скорость в трубопроводе и удельные потери давления на трение определим по таблице 9.11 [33].

Выбираем из таблицы 9.11 скорость теплоносителя и удельные линейные потери давления для ТК1:

- скорость теплоносителя $\omega = 0,6 \text{ м\с}$
- удельные линейные потери давления $\Delta h = 2,11 \text{ Па/м}$

Для ТК2:

- скорость теплоносителя $\omega = 0,4 \text{ м\с}$
- удельные линейные потери давления $\Delta h = 1,1 \text{ Па/м}$

Для ТК3:

- скорость теплоносителя $\omega = 0,19 \text{ м\с}$
- удельные линейные потери давления $\Delta h = 0,26 \text{ Па/м}$

Для ТК4:

- скорость теплоносителя $\omega = 0,24 \text{ м\с}$
- удельные линейные потери давления $\Delta h = 0,64 \text{ Па/м}$

Для ТК5:

- скорость теплоносителя $\omega = 0,78 \text{ м\с}$

$$Q = 39,1 \cdot 4,19 \cdot (115 - 70) = 7372,3 \text{ кВт}$$

Схема движения потоков противоточная:

$$115^{\circ}\text{C} \longrightarrow 90^{\circ}\text{C}$$

$$70^{\circ}\text{C} \longleftarrow 65^{\circ}\text{C}$$

Средний температурный напор (4.5.2):

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\bar{o}} - \Delta t_M}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\bar{o}}}{\Delta t_M}} \quad (4.5.2)$$

где

$$\Delta t_{\bar{o}} = 115 - 70 = 45^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_M = 90 - 65 = 25^{\circ}\text{C}$$

Подставим эти значения в формулу (4.5.2):

$$\Delta t = \frac{45 - 25}{2,3 \cdot \lg \frac{45}{25}} = 34,06^{\circ}\text{C}$$

Определим рациональную скорость движения греющей воды в каналах теплообменника. Для ориентировочного расчета скорости примем коэффициент теплоотдачи $\alpha_1 = 10000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, среднюю температуру стенки $\bar{t}_{cm} = \frac{t_1' + t_1'' + t_2' + t_2''}{4} = \frac{115 + 70 + 65 + 90}{4} = 85^{\circ}\text{C}$, и коэффициент общего гидравлического сопротивления $\xi_1 = 1$. Расчетная формула (4.5.3) для скорости имеет следующий вид:

$$\omega_1 = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{\alpha_1 \cdot (\bar{t}_1 - \bar{t}_{cm}) \cdot \Delta P_1}{c_1 \cdot (t_1' - t_1'') \cdot \rho_1^2 \cdot \xi_1}} \quad (4.5.3)$$

Найдем рациональную скорость движения горячей воды в каналах теплообменника по формуле (4.5.3):

$$\omega_1 = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{10000 \cdot (92,5 - 85) \cdot 200000}{4208 \cdot (115 - 90) \cdot 965,3^2 \cdot 1}} = 0,703 \text{ м/с}$$

Критерий Рейнольдса для греющей воды найдем по формуле (4.5.4):

$$Re = \frac{\omega_1 \cdot d_3}{\nu_1} \quad (4.5.4)$$

Рассчитаем критерий Рейнольдса по формуле (4.5.4):

$$Re = \frac{0,703 \cdot 0,059}{0,000000326} = 12704,907$$

Проверить принятое значение коэффициента гидравлического сопротивления можно по формуле для пластины П-2 по формуле (4.5.5):

$$\xi_1 = 11,2 Re^{-0,25} \quad (4.5.5)$$

Проверяем принятое значение коэффициента гидравлического сопротивления по формуле (4.5.5):

$$\xi_1 = 11,2 \cdot 12704,907^{-0,25} = 1,054$$

Это достаточно близко к принятому $\xi_1 = 1$.

Критерии Прандтля Pr_1 и Pr_2 при средней температуре греющей воды и средней температуре стенки по формуле (4.5.6):

$$Pr_1 = \frac{c_1 \cdot \nu_1 \cdot \rho_1}{\lambda_1} \quad (4.5.6)$$

Рассчитаем критерий Прандтля при средней температуре греющей воды и средней температуре стенки по формуле (4.5.6):

$$Pr_1 = \frac{4208 \cdot 0,000000326 \cdot 965,3}{0,68} = 1,9473$$

При $\bar{t}_{cm} = 85$ °C теплофизические свойства воды характеризуются следующими данными: $\rho_{cm} = 891,35$ кг/м³, $c_{cm} = 4,203$ кДж/(кг×К), $\lambda_{cm} = 0,677$ Вт/(м×К), $\nu_{cm} = 3,4 \cdot 10^{-7}$ м/с.

Рассчитаем критерий Прандтля для \bar{t}_{cm} по формуле (4.5.7):

$$Pr_{cm} = \frac{c_{cm} \cdot \nu_{cm} \cdot \rho_{cm}}{\lambda_{cm}} \quad (4.5.7)$$

Рассчитаем критерий Прандтля по формуле (4.5.7):

$$Pr_{cm} = \frac{4203 \cdot 3,4 \cdot 10^{-7} \cdot 891,35}{0,677} = 1,833$$

Критерий Нуссельта со стороны греющей воды по формуле (4.5.8):

$$Nu_1 = 0,1 \cdot Re_1^{0,7} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_{cm}}\right)^{0,25} \quad (4.5.8)$$

Рассчитаем критерий Нуссельта по формуле (4.5.8):

$$Nu_1 = 0,1 \cdot 12704,907^{0,7} \cdot 1,947^{0,43} \cdot \left(\frac{1,947}{1,883}\right)^{0,25} = 92,96$$

Коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке, Вт/(м²·К), рассчитывается по формуле (4.5.9):

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_3} \quad (4.5.9)$$

Рассчитаем коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке по формуле (4.5.9):

$$\alpha_1 = \frac{92,96 \cdot 0,68}{0,0059} = 10244,5 \text{ Вт / (м}^2 \times \text{К)}$$

Погрешность с принятым значением:

$$\Delta = \frac{10244,5 - 10000}{10244,5} \cdot 100 = 2,96\%$$

Значение достаточно близко к принятому $\alpha_1 = 10000$ Вт/(м²·К).

Рациональная скорость движения нагреваемой воды в каналах теплообменника. Для этого примем $\alpha_2 = 15000$ Вт/(м²·К), средняя температура стенки осталась прежней $\bar{t}_{cm} = 85$ °С, и коэффициент общего гидравлического сопротивления $\xi_1 = 1,7$:

Рассчитаем рациональную скорость движения нагреваемой среды в каналах теплообменника по (4.5.10):

$$\omega_1 = 2 \sqrt[3]{\frac{\alpha_2 \cdot (\bar{t}_2 - \bar{t}_{cm}) \cdot \Delta P_2}{c_2 \cdot (t'_2 - t''_2) \cdot \rho_2^2 \cdot \zeta_2}} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (4.5.10)$$

Рассчитаем рациональную скорость движения нагреваемой среды в каналах теплообменника по (4.5.10):

$$\omega_1 = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{15000 \cdot (90 - 85) \cdot 500000}{4198 \cdot (70 - 65) \cdot 970,175^2 \cdot 1,7}} = 1,2 \text{ м/с}$$

Критерий Рейнольдса считается по (4.5.11):

$$Re = \frac{\omega_2 \cdot d_3}{\nu_2} \quad (4.5.11)$$

Рассчитаем критерий Рейнольдса по формуле (4.5.11):

$$Re = \frac{1,2 \cdot 0,0059}{3,55 \cdot 10^{-7}} = 19943,66$$

Уточним принятое значение коэффициента гидравлического сопротивления по формуле (4.5.5):

$$\xi_1 = 11,2 \cdot 19943,66^{-0,25} = 1,49$$

Это достаточно близко к принятому $\xi_2 = 1,7$.

Критерий Прандтля для средней температуры нагреваемой воды рассчитывается по формуле (4.5.12):

$$Pr_2 = \frac{c_2 \cdot \nu_2 \cdot \rho_2}{\lambda_2} \quad (4.5.12)$$

Рассчитаем критерий Прандтля для средней температуры нагреваемой воды по формуле (4.5.12):

$$Pr_2 = \frac{4198 \cdot 3,55 \cdot 10^{-7} \cdot 970,175}{0,6755} = 2,142$$

Критерий Нуссельта для нагреваемой воды рассчитывается по формуле (4.5.13):

$$Nu_2 = 0,1 \cdot Re_2^{0,7} \cdot Pr_2^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{cm}}\right)^{0,25} \quad (4.5.13)$$

Рассчитаем критерий Нуссельта для нагреваемой воды по формуле (4.5.13):

$$Nu_2 = 0,1 \cdot 19943,66^{0,7} \cdot 2,142^{0,43} \cdot \left(\frac{2,142}{1,883}\right)^{0,25} = 139,5$$

Уточненный коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемой воде по критерию Нуссельта рассчитывается по формуле (4.5.14):

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_3} \quad (4.5.14)$$

Рассчитаем уточненный критерий теплоотдачи от стенки к нагреваемой воде по критерию Нуссельта по формуле (4.5.14):

$$\alpha_2 = \frac{139,5 \cdot 0,6755}{0,0059} = 15900,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$$

Погрешность с принятым значением:

$$\Delta = \frac{15900,5 - 15000}{15900,5} \cdot 100 = 5\%$$

Значение достаточно близко к принятому $\alpha_2 = 15000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Термическое сопротивление стенки пластины и загрязнений на ней [21, табл.5]:

Термическое сопротивление загрязнений на стенке со стороны воды рассчитывается по формуле (4.5.15):

$$\frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{\delta_2}{\delta_2} \quad (4.5.15)$$

Рассчитаем термическое сопротивление загрязнений на стенке со стороны воды по формуле (4.5.15):

$$\frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{\delta_2}{\delta_2} = 0,00023 \text{ (м}^2 \times \text{К)} / \text{Вт}$$

Термическое сопротивление стенки из стали рассчитаем по формуле (4.5.16):

$$\frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} = 0,000063 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)} / \text{Вт} \quad (4.5.16)$$

Коэффициент теплопередачи рассчитывается по формуле (4.5.17):

									лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.01.2018.263.04 ПЗ				58

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (4.5.17)$$

Рассчитаем коэффициент теплопередачи по формуле (4.5.17):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{10244,5} + 0,00023 + 0,000063 + 0,00023 + \frac{1}{15900,5}} = 5946,89 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Общая поверхность теплопередачи по формуле (4.5.18)

$$F_a = \frac{Q}{k \cdot \Delta t}, \text{ м}^2 \quad (4.5.18)$$

Рассчитаем поверхность теплопередачи теплообменного аппарата по формуле (4.5.18):

$$F_a = \frac{7,372 \cdot 10^6}{5946,89 \cdot 34,06} = 36,4 \text{ м}^2$$

4.6 Подбор основного и вспомогательного оборудования

Современная котельная представляет собой сложный комплекс устройств и включает в себя собственно котел и вспомогательное оборудование. К вспомогательному оборудованию водогрейной котельной относят насосные установки, теплообменное оборудование, а так же установки химической очистки и деаэрирования подпиточной воды контура котельной и тепловой сети.

Выбор насосного оборудования.

Суммарная подача сетевых насосов и их количество выбирают таким образом, что бы при выходе из строя одного из насосов оставшиеся в работе обеспечивали подачу максимального расхода теплоносителя. При выборе так же учитывают расходы на нужды ГВС в летний период, для определения минимального расхода теплоносителя.

Установка сетевых насосов производится на обратной линии сети, так как там ниже температура теплоносителя, что продлевает срок эксплуатации. Напор насосов выбирают из условия преодоления гидравлического сопротивления сети и обеспечения необходимого напора у конечного потребителя.

Выбор сетевых насосов.

Из гидравлического расчета по напору выбираем два сетевых насоса зимних WIL0-CronoLine- IL150/340-45/4 (один в резерв).

По результатам расчета тепловой схемы расход на вентиляцию составил 16 кг/с, что равно 57,6 м³/ч выбираем к установке два сетевых летних насоса wilo il 50/110-1,5/2 (один в резерв).

По результатам расчета тепловой схемы расход на подпитку составил 0,95 кг/с, что равно 3,42 м³/ч выбираем к установке два подпиточных насоса wilo mvi 804 (один в резерв).

Выбор циркуляционных насосов.

По результатам расчета тепловой схемы, расход через котельные агрегаты в зимнее время составляет 39,25 кг/с, что равно 141,3 м³/ч, в зимнее время работает три котла КВ-ГМ-2,5-115 и расход через один котел получается 47,1 м³/ч. К установке выбираем три циркуляционных насоса котлового контура wilo top-s 65/10em по одному на каждый котел.

По результатам расчета тепловой схемы, расход через котельный агрегат в летнее время составил 2,07 кг/с, что равно 7,452 м³/ч, в летнее время работает один котел КВ-ГМ-0,5-115 к установке выбираем один циркуляционный насос котлового контура wilo top-s 30/10 em.

Выбор насосов горячего водоснабжения.

По результатам расчета тепловой схемы расход на гвс составил 2,01 кг/с, что равно 7,236 м³/ч выбираем к установке два насоса горячего водоснабжения wilo il 32/160-2,2/2 (один в резерв).

Выбор установок химводоподготовки.

Химводоподготовка является обязательным мероприятием, обеспечивающим безопасную и долговечную работу котельного оборудования. Исходная вода содержит естественные минеральные примеси, приводящие к образованию накипи и коррозии.

Максимальный расход исходной воды оставляет 1,14 кг/с или 4,104 м³/ч.

Выбираю установку умягчения Hydrotech SSF 1665-2510. Данное оборудование использует комплексоны, препятствующие кристаллизации солей жесткости и образованию шламов. Технические характеристики приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Технические характеристики установки умягчения Hydrotech SSF 1665-2510[42]

Параметр	Значение
Номинальная производительность, м ³ /ч	3,8
Максимальная производительность, м ³ /ч	5,0
Объем фильтрующего материала, л	125
Требуемая подача воды на регенерацию, м ³ /ч	0,91

Дозирующая установка Hydrotech DS 6E6510N2[42] применяется для подачи в умягченную воду химических реагентов, связывающих растворенный в воде кислород это предотвращает коррозию трубопроводов и накипеобразование в котлах и теплообменном оборудовании. Производительность установки 6 м³/ч, объем емкости 200 л.

Выбор подпиточного бака.

Рассчитаем объем бака по 6.16.СП 124.13330.2012. Объем системы тепло-снабжения берется 65 м^3 на 1 МВт расчетной тепловой нагрузки. Емкость бака за-паса – 3% от объема воды в системе. Следовательно: из расчета тепловых нагру-зок $Q_{уст}=7,16$ МВт.

Находим объем системы м^3 (4.6.1):

$$V_{уст} = 65 \cdot Q_{уст}, \quad (4.6.1)$$

$$V_{уст} = 65 \cdot 7,16 = 465,4 \text{ м}^3$$

Находим емкость бака м^3 (4.6.2):

$$V_{бак} = V_{уст} \cdot 0,03, \quad (4.6.2)$$

$$V_{бак} = 465,4 \cdot 0,03 = 14 \text{ м}^3$$

К установке выбираем бак объемом 14 м^3 .

Выбор теплообменного оборудования.

В соответствии с расчетом теплообменника необходимая поверхность тепло-обмена составила $36,4 \text{ м}^2$.

Предлагается установка двух пластинчатых теплообменников МЗ-FG Alfa Laval [44], характеристики данного теплообменника сведены в таблицу 4.12.

Таблица 4.12 – Характеристики теплообменного аппарата Alfa Laval [44]

Высота	480 мм
Ширина	180 мм
Расстояние между патрубками по вертикали	357 мм
Расстояние между патрубками по горизонтали	60 мм
Диаметр соединения	32 мм
Расход max	3.9 кг/сек
Температура max	165°C
Давление max	16 бар
Направление потоков	противоток
Общее количество пластин,шт	10

- 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 30° 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.

Для котлов теплопроизводительностью более 4,19 ГДж/ч(1 Гкал/ч) прибор для измерения температуры на выходе из котла должен быть регистрирующим.

При работе котла на жидком топливе на топливопроводе в непосредственной близости от котла должен быть установлен термометр для измерения температуры топлива перед форсунками. Допускается дистанционный контроль этой температуры с установкой вторичного прибора на щите управления котлом.

Приборы необходимы не только для эксплуатации, но и для периодических испытаний, проводимых после ремонтов или реконструкции.

В котельной подлежат автоматизации следующие процессы:

- а) регулирование в определенных пределах заранее заданных значений величин, характеризующих протекание процесса;
- б) управление – осуществление периодических операций (обычно дистанционно);
- в) защита оборудования от повреждений вследствие нарушений процессов;
- г) блокировка, которая обеспечивает автоматическое включение и выключение оборудования, вспомогательных механизмов и органов управления с определенной последовательностью в соответствии с технологическим процессом.

Пуск, остановка и эксплуатация котла должны производиться в строгом соответствии с инструкцией по эксплуатации котлов, работающих на газовом топливе. Вся аппаратура управления и сигнализации установлена на щитах ЩСУ и ЩСК (щит сигнализации и контроля) стандартизированного изготовления.

Котлоагрегат КВ-ГМ-2,5-115 [42] работает на природном газе или мазуте и оборудован автоматикой безопасности розжига и автоматикой регулирования основных процессов работы котлоагрегата – регулятор температуры прямой воды, регулятор соотношения топливо – воздух и регулятор разряжения в топке котла.

Приборы тепломеханического контроля приняты в соответствии со следующими принципами:

- параметры, наблюдение за которыми необходимо для правильного ведения технологического процесса, измеряются показывающими приборами,
- параметры, учет которых необходим для хозяйственных расчетов или анализа работы оборудования, контролируется самопишущими и суммирующими приборами.
- параметры, изменение которых может привести к аварийному состоянию оборудования, контролируются сигнализирующими показывающими приборами.

В схемах автоматического регулирования вспомогательного оборудования приняты электронные регуляторы типа ПЛК-100.

Для каждого котла КВ-ГМ-2,5-115 предусмотрены регулятор температуры прямой воды, регулятор соотношения газ – топливо, регулятор разряжения воздуха в топке.

Регулятором топлива поддерживается постоянная температура воды на выходе из котла. Сигнал от термометра сопротивления, установленного на трубопроводе воды после котла, поступает на регулирующий прибор, сравнивается с заданным и результирующий сигнал управляет исполнительным механизмом регулирующей заслонки на газе, тем самым, увеличивая или уменьшая расход топлива.

Регулятор рециркуляции поддерживает температуру воды на входе в котел, чтобы избежать низкотемпературную коррозию поверхностей нагрева. Это осуществляется подмешиванием горячей воды с выхода котла в трубопровод холодной воды перед котлом.

Регулятор соотношения топливо-воздух получает импульсы по расходу воздуха и газа (мазута), сравнивает его с сигналом от датчика и на основании этого воздействует на направляющий аппарат дутьевого вентилятора, приводя в соответствие соотношение "топливо-воздух".

Регулятор разряжения поддерживает постоянным разряжение в топке котла, изменением положения направляющего аппарата дымососа(шибера).

Задачей автоматического регулирования теплоисточника является поддержание температуры воды, подаваемой в теплосеть, на заданном уровне, определяемом в соответствии с отопительным графиком. При этом необходимо обеспечить экономное сжигание используемого топлива.

Тепломеханический контроль и автоматическое регулирование.

Согласно действующим нормативам в котельной выполнена система автоматизации на базе контроллера ПЛК-100 (ОВЕН) . Он обеспечивает автоматическое регулирование тепловой мощности котлов, в зависимости от требуемой температуры воды отпускаемой в тепловую сеть, которая в свою очередь определяется по погодозависимому графику.

Для повышения надежности работы котельной для каждого котла предусмотрен собственный щит автоматизации в котором смонтированы измерители-регуляторы ТРМ (ОВЕН), которые при выходе контроллера котельной из строя обеспечат работу котлов независимо от общекотельной автоматики.

При этом котлы сохраняют все защиты:

- Авария горелки;
- Низкое давление воды на входе в котел;
- Высокое давление воды на выходе из котла;
- Высокая температуры воды на выходе из котла;
- Нет разряжения в топке котла;
- Давление газа низкое (в комплекте автоматики горелки);
- Давление газа высокое (в комплекте автоматики горелки);
- Нет факела (в комплекте автоматики горелки);
- Давление воздуха низкое (в комплекте автоматики горелки) и возможность регулирования мощности горелки.

Общекотельная автоматика также позволяет обеспечить сменность основного и вспомогательного оборудования котельной, обеспечивая тем самым равномерную выработку ресурса.

Насосы котельной имеют АВР и повторный запуск насоса осуществляется автоматически с выдачей сигнала аварии на щит автоматизации котельной. Все насосы котельной имеют защиту:

- по сухому ходу
- по падению давления в напорном патрубке.

Для обеспечения требований по взрывобезопасности в котельном зале смонтирована система контроля загазованности на базе прибора СТГ-1 [42] с 2-мя выносными датчиками на метан. Для обеспечения требований по количеству установленных сигнализаторов предусмотрена также установка 2-х сигнализаторов оксида углерода СОУ-1 [42]. Высота установки датчиков СО 1,8 м от пола, датчиков на метан 200 мм от кровли здания.

Автоматизация приточной установки выполнена поставляемой комплект-но с установкой системой и обеспечивает:

- поддержание температуры воздуха на выходе их секции нагрева;
- защиту от размораживания;
- сигнализацию о засорении воздушного фильтра;
- сигнализацию аварии насоса;

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

13.03.01.2018.263.04 ПЗ

лист

65

$$f = \frac{10^3 \cdot w^2 \cdot D_0}{H^2 \cdot \Delta T} \quad (6.8)$$

$$f = \frac{10^3 \cdot 14,3^2 \cdot 0,7}{24^2 \cdot 161} = 1,5$$

$$m = \frac{1}{0,67 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} \quad (6.9)$$

$$m = \frac{1}{0,67 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{1,5} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{1,5}} = 0,85$$

Определим количество концентрации NO₂ (6.10):

$$C_{NO_2} = \frac{A \cdot M_{NO_2} \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}} \quad (6.10)$$

$$C_{NO_2} = \frac{160 \cdot 0,95 \cdot 3 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,905}{24^2 \cdot \sqrt[3]{5,5 \cdot 161}} = 0,064$$

Проверим выполнения условия (6.11):

$$\frac{C_{NO_2}}{ПДК_{NO_2}} \leq 1 \quad (6.11)$$

$$\frac{0,064}{0,085} = 0,75 \leq 1$$

Так как тепловая нагрузка для летнего режима минимальна от тепловой нагрузки зимнего режима, рассчитанная для зимнего режима высота дымовой трубы будет обеспечивать допустимую концентрацию выбросов и при летнем режиме.

7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Для предупреждения травмирования обслуживающего персонала в результате воздействия опасных производственных факторов существует техника безопасности.

Опасные производственные факторы - это факторы, воздействие которых на работающего в определенных условиях могут привести к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья.

К их числу относятся, например, такие: повышенное скольжение (вследствие увлажнения, замасливания или обледенения поверхностей); электрический ток, замыкание которого может пройти через тело человека; острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхности оборудования, инструмента [10]; ожоги о поверхности нагрева; ядовитые химические вещества, входящие в состав спец жидкостей и попадание в организм человека.

Цель БЖД:

- обнаружение и изучение, отрицательно влияющих факторов на здоровье человека;
- готовность к последствиям выхода из строя и аварий оборудования;
- ослабление действия вредных факторов до безопасных пределов или исключение этих факторов

7.1 Безопасность при эксплуатации теплоэнергетического оборудования

Во избежание травматизма в котельной при осмотре или обслуживанию запрещается [9]:

- опираться и становиться на оградительные барьеры площадок, ходить по трубопроводам, а также по конструкциям и перекрытиям, не предназначенным для прохода по ним;
- эксплуатировать тепловые энергоустановки с неисправными или отключенными устройствами аварийного отключения, блокировок, защиты и сигнализации, а также с не ограждёнными вращающимися частями;
- чистить, протирать и смазывать вращающиеся или движущиеся части механизмов;
- останавливать вручную вращающиеся и движущиеся механизмы;
- пользоваться неисправным инструментом;
- применять для промывки тепловых энергоустановок и обезжиривания деталей горючие и легковоспламеняющиеся жидкости (бензин, бензол, ацетон, керосин), а также трихлорэтилен, дихлорэтан и другие хлорпроизводные углеводороды;
- наступать на оборванные, свешивающиеся или лежащие на земле или на полу электрические провода, а также на обрывки проволоки, веревки, тросы, соприкасающиеся с этими проводами, или прикасаться к ним.

Предусмотрены мероприятия, обеспечивающие безопасную эксплуатацию, сохранность и безопасность обслуживающего персонала. В первую очередь техно-

Статистические данные показывают, что от 1 до 3 % от всех несчастных случаев приходится на поражения током. Причинами электротравм могут являться:

- случайное прикосновение или приближение к частям под напряжением;
- появления напряжения на металлических конструкциях из-за пробоя;
- ошибочные действия персонала;
- шаговые напряжения.

Для предотвращения поражения током на все электросиловое оборудование в котельной предусмотрено заземление.

Все металлические нетоковедущие части электрооборудования заземляются согласно ПУЭ [7].

Выполняется внутренний контур заземления с использованием стальной полосы 40 х 6 мм проложенной по периметру машинного зала котельной. Все корпуса оборудования соединяются в внутреннем контуре котельной медным гибким заземляющим проводником сечением не менее 10 мм.

Выполняется основная система уравнивания потенциалов. ОСУП соединяет между собой следующие проводящие части:

- наружный и внутренний контуры заземления;
- РЕ- и PEN-проводники питающей и распределительной сети;
- металлические трубы коммуникаций на вводе в здание;
- конструкции для прокладки кабелей;
- токоотводы системы молниезащиты.

Согласно инструкции РД-34.21.122-87 здание подлежит устройству молниезащиты по III категории [12]. В качестве молниеприемника для защиты от прямых ударов молнии использовать стальной прут $d=16$ мм, установленный на дымовой трубе на высоте 4 м.

Пространство над газовыми продувочными свечами находится в зоне защиты молниеприемника.

В качестве заземлителей от прямых ударов молнии использовать контур заземления дымовой трубы.

Для защиты от заноса высоких потенциалов трубопроводы на вводе в здание присоединяются к контуру заземления.

7.3 Освещение рабочей зоны

Недостаточное естественное освещение вызывает нарушение зрения, быструю утомляемость, головные боли. Для создания наилучших условий работы зрения человека в процессе труда освещение должно обеспечивать [7]:

- освещенность на рабочих местах в соответствии с характером зрительной работы;
- достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности;
- отсутствие резких теней, блескости.

В котельной предусмотрено совмещенное рабочее освещение, а также искусственное дежурное и аварийное освещение. Основным документом по свето-

вой среде является СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования»[11].

Нормативные значения показателей световой среды для рабочего освещения приведены в таблице 7.1.

Величины освещенности, равномерность и требования к качеству для дежурного освещения не нормируются.

Таблица 7.1 – Нормативные значения параметров световой среды производственных помещений

Характеристика зрительной работы	Наименьший эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Порядок зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение			Естественное освещение	Совмещенное освещение
						Освещенность, лк при системном освещении	Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации	КЕО Ен, % при боковом освещении		
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: - постоянное - периодическое	Более 0,5	VIII	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		200 75	40 -	20 -	1 0,3	0,6 0,2	
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями	Более 0,5	VIII	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		20	-	-	0,1	0,1	
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	III	в	Малый	Светлый	300	40	15	-	1,2
				Средний	Средний					
				Большой	темный	200	20	14		

Аварийное освещение следует предусматривать в случаях если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и

механизмов может вызвать:

- взрыв, пожар, отравление людей;
- длительное нарушение технологического процесса.

Аварийное освещение должно создавать на рабочих поверхностях в производственных помещениях и на территориях предприятий, требующих обслуживания при отключении рабочего освещения, наименьшую освещенность в размере 5 % освещенности, нормируемой для рабочего освещения от общего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территорий предприятий.

В помещении котельной предусмотрено естественное освещение, а в вечернее и ночное время - искусственное. Искусственное освещение осуществляется комбинацией общего освещения котельной с местным освещением рабочих мест.

В качестве источников света применяются люминесцентные лампы и лампы накаливания. Для обеспечения требуемого направления светового потока электрические лампы заключены в арматуру, которая обеспечивает защиту глаз от слепящего действия и предохраняет лампы от загрязнения. Для освещения применяются светильники напряжением 220 В и мощностью 40 – 1000 Вт.

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ:

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Следует ограничивать отраженную блескость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура и др.) за счет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения, при этом яркость бликов на экране ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м² и яркость потолка не должна превышать 200 кд/м².

Дежурное освещение предусмотрено возле оборудования котельной, в местах установки приборов, в помещении операторской.

В случае аварийной ситуации предусмотрено аварийное освещение, которое составляет 10% рабочего освещения. Аварийное освещение обеспечивает работу на пультах управления, а также осмотр фронтальной части котла, проход по обслуживаемым площадкам. Для осмотра оборудования у оператора предусмотрены аккумуляторные светильники и переносные электрические фонари. Переносные ручные электрические светильники питаются от сети напряжением 12 В.

7.4 Нормирование шума и вибрации

Источниками общей вибрации являются вращающиеся механизмы - дымосос, вентилятор и насосы, а также работающий котел. Вибрация возникает как при плохом центрировании или разбалансировке вращающихся механизмов, так и в случае не правильной балансировки. В оборудовании вибрация возникает при движении среды [10].

Вибрация может вызвать нарушение функций организма. При воздействии общей вибрации возникают изменения со стороны центральной нервной системы: головокружение, шум в ушах, сонливость, нарушается координация движений. Со

стороны сердечно-сосудистой системы наблюдается неустойчивость артериального давления, гипертонические явления. Поражение кожно-суставного аппарата локализуется в ногах и позвоночнике. При большой интенсивности и в определенном диапазоне частот – разрыв тканей. Наиболее опасны для организма человека вибрации, частоты которых совпадают с частотами собственных колебаний тела человека и его внутренних органов, так как такие вибрации могут вызывать резонансные явления в организме. Диапазон частот таких вибраций от 4 до 400 Гц. Наиболее опасна частота 5-9 Гц.

Вибрация в котельной является постоянной.

На оператора котельной действует общая вибрация категории 3, технологического типа А (на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий).

Основной документ по вибрации является СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [10].

При нормировании вибрации учитывают отклонения виброскорости и виброускорения от предельно допустимых значений по осям ортогональной системы координат.

Основным способом обеспечения вибробезопасности должно быть создание и применение вибробезопасных машин. При проектировании и использовании машин, зданий, объектов должны быть использованы методы, снижающие вибрацию на путях ее распространения от источника возбуждения; применены виброизоляция, виброгасящие основания (пневматические демпферы, пружины).

Для исключения вибраций и сотрясений от работы машин несущие конструкции здания не должны соприкасаться с фундаментами машин.

В котельной применены виброгасящие основания на фундаментах насосов.

Источники шума в котельной - это котел, работающие насосы, дымосос, вентилятор, движение воды и пара в трубопроводах.

Интенсивный шум при ежедневном воздействии снижает остроту слуха, приводит к изменению кровяного давления, ослабляет внимание, снижает остроту зрения, ускоряется процесс утомления, вызывает изменение в двигательных центрах. Особенно неблагоприятное воздействие оказывает шум на сердечно-сосудистую и нервную системы. Шум интенсивностью более 130 дБ вызывает боль в ушах, а при 140 дБ наступают необратимые нарушения органа слуха.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Характеристикой непостоянного шума на рабочих местах является интегральный критерий - эквивалентный (по энергии) уровень звука.

Шум в котельной является постоянным широкополосным.

Основной документ по воздействию шума СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [13].

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах следует принимать:

- для широкополосного постоянного и непостоянного (кроме импульсного) шума - по табл. 7.2;
- для тонального и импульсного шума - на 5 дБ меньше значений, указанных в табл. 7.2.

Таблица 7.2 – Допустимые уровни звукового давления на рабочих местах и территории предприятий

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в составных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

При разработке технологических процессов, проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочего места следует принимать все необходимые меры по снижению шума, воздействующего на человека на рабочих местах, до значений, не превышающих допустимые по следующим направлениям [8]:

- разработкой шумобезопасной техники;
- применением средств и методов коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029-80 «ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация» [8];
- применением средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты работающих. Основные требования и классификация» [20].

Зоны с уровнем звука или эквивалентным уровнем звука выше 80 дБА должны быть обозначены знаками безопасности по ГОСТ Р 12.4.026-2001 «ССБТ.

Цвета сигнальные и знаки безопасности» [25]. Работающие в этих зонах должны быть снабжены средствами индивидуальной защиты.

Одним из методов снижения шума является снижение шума на пути его распространения. Он реализуется применением кожухов, экранов и звукоизолирующих перегородок, которыми закрывают вышеперечисленное оборудование,

Капитальные вложения при теплоснабжении от существующей котельной приведены в таблице 8.2

Для реализации второго варианта необходима прокладка трубопровода до предприятия на расстояние 7,5 км. Прокладка будет надземной, т.к. подземная прокладка не возможна из за густозаселенного участка. Предполагается, что будет проложен трубопровод диаметром 108 мм, цена прокладки составляет 2680 рублей за каждые 10м. Стоимость прокладки трубопровода на расстоянии 7,5 км составила 2010,00 рублей. Цена изоляция труб составила 3500 рублей за каждые 100м [48]. Стоимость изоляции составила 262,50 рублей.

Таблица 8.2 – Капитальные вложения при теплоснабжении от существующей котельной

Затраты	Количество, шт	Стоимость, тыс. руб
Разработка проекта [48]	-	500,00
Строительство здания [48]	-	2100,00
Монтажные работы [48]	-	930,00
Прокладка трубопровода [18]	-	2010,00
Утепление трубопровода [18]	-	262,50
Демонтажные работы [48]	-	297,00
Котел КВ-ГМ-10-150 [42]	1	5260,00
Прочее оборудование [41]	-	530,00
Пусконаладочные работы [48]	-	250,00
Итого:		12139,5

Общие капитальные вложения для второго варианта составили 12139,5 тыс.руб, в том числе оборудование 5790 тыс.руб.

8.2 Текущие затраты по вариантам технических решений

1 вариант – текущие затраты новой котельной

Текущие затраты включают в себя:

- затраты на топливо;
- затраты на электричество;
- заработную плату обслуживающему персоналу.

Годовые затраты на топливо определяется по формуле (8.2.1):

$$I_T = C_T \cdot B_{\text{год}}, \quad (8.2.1)$$

где C_T – цена топлива. В 2018 году цена природного газа составляет 6,8 руб./м³ [46];

$B_{\text{год}}$ – годовой расход топлива, равный 2083968 м³/год.

учетом того, что они могут выполняться параллельно и последовательно, определяются сдвиги начала «лент», показывающих продолжительность работ.

Таблица 8.5 –График Ганта

Этапы работы	Продолжительность 2018г./2019г., мес.														
	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Разработка проекта котельной	■														
2 Рассчитать тепловые нагрузки	■	■													
3 Выполнить тепловой расчет кола		■													
4 Выбрать основное и вспомогательное оборудование			■												
5 Выполнить расчет дымовой трубы			■												
6 Расчет сметы на строительство котельной				■											
7 Оплатить заказанное оборудование					■	■									
8 Привезти оборудование							■	■							
9 Строительство здания котельной и установить крупногабаритное оборудование									■	■	■				
10 Монтаж основного и вспомогательного оборудования												■	■	■	
11 Произвести наладку оборудования														■	
12 Произвести запуск котельной															■

8.6 Основные показатели энергетической и экономической эффективности

В таблице 8.6 приведены Основные показатели энергетической и экономической эффективности проекта

Таблица 8.6 – Основные показатели энергетической и экономической эффективности проекта

Наименование показателей	Единицы измерения	Изменения показателей	
		1 вариант	2 вариант
Показатели энергетической эффективности:			
1. Расход топлива	м ³ /год	2083968	9808800
2. КПД	%	94,6	-
3. Тепловые нагрузки	Мвт	7,16	-
Показатели экономической эффективности			
1. Капитальные затраты на реализацию проекта	тыс. руб.	10580,32	12139,9
2. Годовые текущие затраты	тыс. руб./год	15021,04	67423,59
3. Экономия текущих затрат	тыс. руб./год	52402,55	-

15 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.

16 Александров, А.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара / А.А. Александров, Б.А. Григорьев. – М.: Изд-во МЭИ, 2006.

17 Бадагуев, Б.Т. Паровые и водогрейные котлы / Б.Т. Бадагуев. – М.: Изд-во Альфа-Пресс, 2013. – 265 с.

18 Баскакова, О.В. Экономика предприятия (организации) / О.В. Баскакова, Л.Ф. Сейко. – М.: Дашков и К, 2013. – 372 с.

19 Булкин, А.Е. Автоматическое регулирование энергоустановок: учебное пособие для вузов. Гриф МО РФ / А.Е. Булкин. – М.: Изд-во МЭИ, 2009.

20 Вафин Д.Б. Котельные установки и парогенераторы: учебное пособие / Д.Б. Вафин. – 2-е изд., доп. – Казань: Школа, 2016. – 288 с.

21 Волков, О.И. Экономика предприятия: Учебное пособие / О.И. Волков, В.К. Скляренко. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 264 с.

22 Дахин, С.В. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебное пособие. – Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2010. - 182 с.

23 Жиргалова, Т.Б. Теоретические основы теплотехники: Техническая термодинамика: учебное пособие для самостоят. работы / Т.Б. Жиргалова, И.В. Катаевская – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006.

24 Зайцев, В.А. Промышленная экология / В.А. Зайцев. – М.: БИНОМ Лаборатория Знаний, 2012 – 382 с.

25 Котельные установки промышленных предприятий: учебное пособие/ Г.Л. Шевченко, В.Я. Перерва, С.Н. Форись, Д.С. Адаменко. – Днепропетровск: НМетАУ, 2011. – 64 с.

26 Краецкая, О.Ф. Экология промышленных технологий / О.Ф. Краецкая, И.Н. Прокопеня. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2014. – 107 с.

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

28 Куликов, А.И. Топливо. Тепловой баланс котельного агрегата: учеб. пособие / А.И. Куликов, А.Ф. Смоляков, И.Н. Дюкова. – СПб.: СПбГЛТУ, 2012. – 64 с.

29 Пластинчатые теплообменники: учебное пособие / А.С. Приданцев, С.С. Амирова, А.А. Сагдеев, А.Т. Тухватова. – Нижнекамск: Издательство ГОУ ВПО «Казанский государственный технологический университет», 2010.

30 Промышленная экология: учебное пособие / Е.А. Алябышева, Е.В. Сарбаева, Т.И. Копылова, О.Л. Воскресенская. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т., 2010. – 110 с.

