

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Соловьев Дмитрий Александрович
Должность: ректор ФГБОУ ВО Вавиловский университет
Дата подписания: 11.12.2025 15:03:12
Уникальный программный ключ:
528682d78e671e566ab07f01fa1ba2172f735a12

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н.И.Вавилова»

Теплогенерирующие остановки
методические указания по выполнению курсового проекта
для обучающихся 3 курса
Направление подготовки
08.03.01 Строительство
Направленность (профиль)
Тепло-, газо-, холодоснабжение и вентиляция

Саратов 2024

УДК 624 131
ББК 38.621
М 69

М69 Теплогенерирующие установки: методические указания по выполнению курсового проекта для обучающихся 3 курса направление подготовки 08.03.01 Строительство / Сост.: О.В. Михеева // ФГБОУ ВО «Вавиловский университет». – Саратов, 2024 – 43с.

Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Теплогенерирующие установки» составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначены для обучающихся направления подготовки 08.03.01 Строительство. Методические указания по выполнению курсового проекта содержат теоретические основы проектирования и расчета основных элементов котельной, направлены на формирование у обучающихся навыков расчета и проектирования теплогенерирующего оборудования

УДК 624.131
ББК 38.621

1. Цель методического пособия

Настоящее методическое пособие разработано в помощь обучающимся с целью установления единых требований и правил выполнения курсового проекта.

Курсовой проект является одним из видов аттестационных испытаний. Выполнение курсового проекта призвано способствовать систематизации и закреплению полученных обучающимися знаний и умений.

Подготовка курсового проекта связана с углублением изучения теории, приведением в систему ранее приобретенных знаний и пополнением их в процессе практического решения поставленной проблемы. Работа над курсовым проектом позволяет развить навыки исследования, экспериментирования и самостоятельного изучения научной и другой литературы по проблеме (теме).

2. Общие требования

2.1 Курсовой проект должен иметь актуальность, новизну и практическую значимость и выполняться, по возможности, по предложениям (заказам) предприятий, организаций или образовательных учреждений.

2.2 Темы курсовых проектов разрабатываются преподавателями. Тема курсового проекта может быть предложена обучающимся при условии обоснования им целесообразности ее разработки.

Следует помнить, что основным критерием в выборе темы является научный интерес обучающегося, его стремление расширить свои познания в определенной области. Этот выбор должен быть результатом собственных размышлений и идей обучающегося, возникших на основе личных наблюдений, изучения теории и чтения специальных изданий и т.д. Только в этом случае можно ожидать, что выполнение проекта сыграет исключительно важную роль в формировании у обучающегося профессиональной направленности, навыков самостоятельной работы с литературой и исследовательских умений.

Темы курсовых проектов должны отвечать современным требованиям развития науки, техники, производства, экономики, культуры и образования; должны быть актуальными и максимально приближенными к нуждам производства, таким образом, чтобы производство могло использовать проработки, расчеты, рекомендации непосредственно в производственном процессе.

2.5 По утвержденным темам руководители курсового проектирования разрабатывают индивидуальные задания для каждого студента.

2.6 В отдельных случаях допускается выполнение курсового проекта группой студентов. При этом индивидуальные задания выдаются каждому выпускнику.

3. Требования к курсовому проекту

3.1 Курсовой проект должен отвечать следующим требованиям:

- четкость и логическая последовательность изложения материала;
- убедительность аргументации;
- краткость и четкость толкования; формулировок, исключающая возможность неоднозначного толкования;
- конкретность изложения результатов работы.

3.2 Терминология и определения, используемые в курсовом проекте, должны быть едиными и соответствовать установленным стандартам, а при их отсутствии – общепринятым в научно-технической литературе.

- 3.3 Единицы измерения следует приводить в единицах международной системы (СИ)
- 3.4 Законченный курсовой проект должен быть сшит (сброшюрован), подписан автором с указанием даты.
- 3.5 По завершению обучающимся работы над курсовым проектом руководитель подписывает проект

4. Структура курсового проекта

4.1 По структуре курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части. В пояснительной записке дается теоретическое и расчетное обоснование принятых в проекте решений. В графической части принятое решение представлено в виде чертежей, схем, графиков, диаграмм. Структура и содержание пояснительной записки определяются в зависимости от темы проекта.

4.2 По структуре пояснительная записка курсового проекта состоит из теоретической и практической части. В теоретической части дается теоретическое освещение темы на основе анализа имеющейся литературы. Практическая часть может быть представлена методикой, расчетами, анализом экспериментальных данных, продуктом творческой деятельности в соответствии с видами профессиональной деятельности. Содержание теоретической и практической части определяются в зависимости от темы курсового проекта.

4.3 Пояснительная записка выпускной квалификационной работы должна содержать не менее 25 страниц печатного текста, не считая приложений, либо 40-50 страниц рукописного текста формата А4.

4.4 Содержание пояснительной записки курсового проекта включает в себя: титульный лист, задание, содержание, введение, основная часть, заключение (рекомендации относительно возможностей применения полученных результатов, выводов), приложения, список используемых источников.

Титульный лист.

На титульном листе должны быть указаны наименование учебного заведения, тема проекта, фамилия, имя, отчество студента, фамилия и инициалы руководителя, год написания курсового проекта.

Задание.

Задание разрабатывается индивидуально для каждого студента. Задания на курсовой проект подписываются руководителем работы и утверждаются заведующим кафедрой.

Содержание.

В содержании указываются номера разделов, подразделов и страницы.

Введение.

Во введении кратко указываются задачи проекта и пути их решения. Обосновывается актуальность и значимость проблем, решаемых в проекте. Объем введения 1-3 страницы. Слово «Введение» пишется прописными буквами на отдельной строке, как и название остальных разделов проекта.

Основная часть.

В основной части дается теоретическое освещение темы на основе анализа имеющейся литературы и практическая часть проекта.

Для проекта, носящего научно-исследовательский характер, практическая часть должна содержать расчеты сооружений или элементов сооружений, в зависимости от задания; и анализ выполненных расчетов.

Заключение.

В заключение необходимо подвести итоги проделанной работы, оценить эффективность использования новых технологий, применяемых в данном проекте, практическую значимость работы, дать предложения по использованию проекта (если они

имеются).

Приложения.

В качестве приложений могут быть использованы фотографии оборудования и сооружений, графики и диаграммы, схемы и чертежи, таблицы и т.д. Приложения должны быть скреплены с работой.

Список используемых источников.

В начале списка указываются ГОСТы, СНиПы и затем справочная и учебная литература.

Указываются инициалы и фамилия автора, наименование литературы или статьи, издательство, год издания.

В качестве источников могут быть опубликованные и неопубликованные документы: книги, сериальные издания (газеты, журналы, сборники), нормативно-технические и технические документы (стандарты, нормы, патентные документы, промышленные каталоги, прейскуранты и т. д.), депонированные научные работы, неопубликованные документы (отчеты о научно-исследовательской работе, диссертации, переводы), а также их составные части.

5. Оформление текстовой части курсового проекта

5.1 Общие требования к выполнению текстовых документов всех отраслей промышленности устанавливают ГОСТ

5.2 Курсовой проект выполняют на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297мм) по ГОСТ машинописным или рукописным способом. При использовании машинописного способа печатают текст через полтора интервала, минимальная высота букв и цифр при машинописном тексте или рукописном способе 2,5мм. Текст необходимо писать четко черной шариковой ручкой.

5.3 Опечатки, описки и графические неточности, обнаруженные в процессе выполнения выпускной квалификационной работы, допускается исправлять подчисткой или закрашивать белой краской и нанести на то же место исправленный текст. Повреждение листов, помарки не допускаются.

5.4 Текст основной части курсового проекта делится на разделы, подразделы, пункты.

5.5 Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всего проекта арабскими цифрами.

5.6 Подразделы нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого раздела и подраздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела не ставится точка, например, «1.2» (второй подраздел первого раздела).

5.7 Пункты нумеруются арабскими цифрами в пределах подраздела. Номер пункта состоит из номера раздела, подраздела, пункта, разделенных точкой. В конце номера, пункта не ставится точка, например, «2.2.1» (первый пункт второго подраздела второго раздела).

5.8 Содержание в тексте подраздела, пункта перечислений требований, указаний, положений обозначаются арабскими цифрами со скобкой, например, «1), 2), 3)» или 1, 2.

5.9 Цифры, указывающие номера подразделов, пунктов, перечислений не должны выступать за границу абзаца, например,

1 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ

1.1

1.2 Нумерация подразделов первого раздела работы

1.3

5.10 Наименование разделов, подразделов должны быть краткими и соответствовать содержанию. Наименование разделов записывают в виде заголовков прописными буквами. Заголовки подразделов записывают с абзаца строчными буквами кроме первой прописной.

Переносы слов в заголовках не допускаются. Точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Подчеркивать заголовки не допускается.

5.11 Если в тексте приводятся перечисления, то перед каждой позицией ставится дефис. Для подразделов, текст которых записывается на одном листе с текстом предыдущего подраздела, расстояние между последней строчкой текста и последующим заголовком должно быть равно 15мм.

5.12 Заголовки подразделов не допускается отрывать от текста при переносе его на следующую страницу.

5.13 Каждый раздел следует начинать с нового листа. Страницы курсового проекта нумеруются арабскими цифрами. Нумерация страниц сквозная, включая приложения. Титульный лист включают в общую нумерацию. На титульном листе номер страницы не ставят, на последующих страницах номер проставляют в правом верхнем углу.

5.14 Текст пояснительной записки должен быть кратким, в нем должны применяться научно-технические термины. Содержание текста не должно носить обобщающего характера, оно должно быть применимо только для данного курсового проекта.

5.15 В тексте пояснительной записки, за исключением формул, таблиц и рисунков не допускается:

- применять знак «-» , а следует писать слово «минус»;
- применять знак «Ø», а следует писать слово « диаметр»;
- применять без числовых значений математические знаки « > », « < », « = », « № », « % »;
- применять произвольное сокращение слов;
- сокращать обозначения физических единиц, если они употребляются без цифр.

5.16 В тексте следует применять стандартизированные единицы физических величин. Их обозначения должны записываться в соответствии с ГОСТ. Недопустимо отделять единицу физической величины от числового значения (переносить их на разные строки).

5.17 Дробные числа в тексте необходимо приводить в виде десятичных дробей, допускается дробь записывать через косую черту.

5.18 Когда в тексте курсового проекта приводятся формулы, то символы в формулах должны быть обозначены в соответствии с действующими стандартами. Наименование символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой в той последовательности, в которой они даны в формуле. Первая строка расшифровки начинается словом «где» без двоеточия после него. Наименование каждого символа, кроме первого и числового коэффициента следует давать с новой строки. Наименование первого символа дают в одну строку со словом « где ».

6. Требования к иллюстрации

6.1 Количество иллюстраций (таблицы, фотографии, схемы, чертежи, рисунки, графики и т.п.), приведенных в тексте курсового проекта, определяется его содержанием и должно быть достаточным для ясности, четкости и конкретности излагаемого материала. Все иллюстрации (кроме таблиц) именуются рисунками. Схемы, чертежи, рисунки, графики должны быть выполнены карандашом, в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД или на компьютере. Фотографии размером меньше формата А4 наклеиваются на листы белой бумаги этого формата.

6.2 Иллюстрации следует располагать так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота курсового проекта или с поворотом по часовой стрелке. Как правило, иллюстрации располагают на отдельной странице, и помещают после первой ссылки на них в тексте.

6.3 Все иллюстрации (кроме таблиц) обозначаются словом «Рис.» и нумеруются

последовательно арабскими цифрами в пределах курсового проекта, за исключением иллюстраций, приведенных в приложении. Например: «Рис. 1». Номер рисунка помещают под ним в одну строку с его наименованием. Наименование не должно выходить за границы рисунка.

6.4 Таблицу размещают после первого упоминания о ней в тексте таким образом, чтобы её можно было читать без поворота работы или с поворотом по часовой стрелке. Допускается переносить часть таблицы на другую страницу, если таблица имеет большое количество строк. В этом случае заголовок таблицы повторяют. Справа над таблицей помещают надпись «Продолжение таблицы» с указанием номера таблицы. Если таблица имеет большое количество граф, допускается делить её на части и помещать одну под другой в пределах одной страницы, повторяя боковик. Заголовок таблицы помещают только над ее первой частью.

7. Требования к приложению

7.1 В приложения следует включать вспомогательный материал, необходимый для полноты курсового проекта. Это таблицы вспомогательных цифровых данных, иллюстрации (рисунки, графики, схемы, фотографии, планы, отчеты, памятки, инструкции, методики, различные виды оперативной документации, и т.д.).

7.2 Приложения оформляют как продолжение курсового проекта, располагая перед списком используемых источников в порядке появления на них ссылок в тексте.

7.3 Каждое приложение начинают с нового листа (страницы). В правом верхнем углу пишут слово «Приложение» прописными буквами. Под ним располагают содержательный заголовок.

7.4 Если в курсовом проекте более одного приложения, их нумеруют последовательно арабскими цифрами, например: ПРИЛОЖЕНИЕ 1, ПРИЛОЖЕНИЕ 2 и т.д.

8. Общие положения для графической части курсового проекта

Графическая часть курсового проекта выполняется на листах формата А-1 и распечатывается на формате А-3. На листы выносятся основные разработки и результаты практической части проекта.

Типовые проектные решения, планы, схемы и т.п., разработанные в проектных организациях, а не самим обучающимся на листы выноситься не должны. На листы выносятся только те предложения, которые непосредственно разработаны самим обучающимся и являются результатом его работы.

Основой для качественного проектирования является соблюдение стандартов единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и стандартов системы проектной документации для строительства (СПДС).

8.1 Форматы

Размеры формата А-1 должны соответствовать нормативным размерам 594х840, рамка рабочего поля, вычерчивается на расстоянии 20 мм от левого края листа и 5 мм от верхнего, нижнего и правого края. Основная надпись располагается в правом нижнем углу.

Рекомендуемые масштабы:

- а) ситуационный план – 1:10000; 1: 5000
- б) ситуационная схема – без масштаба;
- в) планы сооружений – 1:500, 1:1000; 1:5000; 1:10000
- г) профили, сечения сооружений:
по горизонтали – 1:500; 1:5000; 1:10000

по вертикали – 1:100; 1:200; 1:500

8.3 Шрифты

Рекомендуемые шрифты надписей элементов проекта (заголовков, позиций, марки элементов) прописными буквами с наклоном и без наклона (H=5; 7 мм).

Рекомендуемые шрифты поясняющих надписей (размеров, наименований элементов и сооружений) строчными буквами (с началом слова прописной буквой) с наклоном и без наклона (H=2,5; 3,5 мм).

9.4 Линии

а) сплошная толстая – основная (линии видимого контура, линии рабочего поля чертежа, линии форм основных надписей и спецификаций, конструкции в разрезе):

Толщина основной линии S от 0,5 до 1,4 мм.

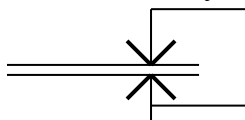
б) сплошная тонкая (линии размерные, линии выноски, полки линий выносок):

Толщина тонкой линии S от 0,35 до 0,5 мм.

в) штрихпунктирная тонкая (линии осевые и центровые):

Толщина штрихпунктирной тонкой линии S от 0,35 до 0,5 мм.

г) отметки обозначают условным знаком, стрелку которого обводят основной линией, а вертикальную линию выноски – сплошной тонкой. Численное значение отметки наносят над – или под горизонтальной полкой. Полку выполняют сплошной тонкой линией.



д) горизонтали наносят сплошной тонкой линией толщиной S от 0,35 до 0,5 мм. Высотные отметки горизонталей рельефа местности наносят на плане в разрывах горизонталей, без нанесения знака отметки уровня.

**Пример оформления курсового проекта
ФГБОУ ВО ВАВИЛОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

наименование факультета

Кафедра "Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК"
наименование кафедры

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Тема: Проект отопительной котельной

Студент (ка) 3 курса
Группы Б-СТ-301

(Ф.И.О.)

(подпись, дата)

Преподаватель:

(фамилия)

(подпись)

Саратов 2024 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1.Расчет и построение годового графика выработки теплоты.....	5
2.Расчет объемов и энтальпий продуктов сгорания и воздуха.....	7
3.Расчет теплового баланса котельного агрегата и определение его КПД.....	10
4.Расчет и выбор тяго - дутьевой установки и дымовой трубы.....	12
5.Расчет тепловой схемы котельной.....	17
6. Выбор основного и вспомогательного оборудования котельной	23
7.Технико - экономические показатели котельной.....	26
Заключение.....	32
Список литературы.....	33

Введение

В условиях коммунальной реформы и новых экономических отношений, требующих максимального снижения стоимости вырабатываемой и транспортируемой тепловой энергии, вопросы разработки принципиально новых энергосберегающих технологических схем, применение материалов и оборудования, повышение качества выполняемых работ при реконструкции и новом строительстве источников теплоснабжения требуют нового нетрадиционного подхода и новых решений.

Для небольших теплопотребителей источником теплоты служат промышленные и отопительные котельные. Удельный вес их в балансе теплоснабжения составляет значительно большую часть. Несмотря на строительство крупных тепловых электростанций, с каждым годом увеличивается выпуск и улучшаются конструкции котлоагрегатов малой и средней мощности, повышаются надежность и экономичность котельного оборудования, снижается металлоемкость на единицу мощности, сокращаются сроки и затраты на производство строительно-монтажных работ.

В качестве топлива для котельных установок используют угли, торф, сланцы, древесные отходы, газ и мазут. Газ и мазут – эффективные источники тепловой энергии. При их применении упрощаются конструкция и компоновка котельных установок, повышается их экономичность, сокращаются затраты на эксплуатацию.

1. Расчет и построение годового графика выработки теплоты, выбор количества устанавливаемых котлов.

Для построения графика выработки теплоты определяются следующие нагрузки:

1. Максимально коммунально - бытовая нагрузка:

$$Q_{\max}^{кб} = Q_{\max}^н$$

$$Q_{\max}^{кб} = 7,7 \text{ MBt}$$

2. Нагрузка горячего водоснабжения:

$$Q_{г.в.} = (0,15 \dots 0,2) \cdot Q_{\max}^{кб}$$

$$Q_{г.в.} = 0,2 \cdot 7,7 = 1,54 \text{ MBt}.$$

3. Максимальная отопительная нагрузка:

$$Q_{\max}^{от} = Q_{\max}^{кб} - Q_{г.в.}$$

$$Q_{\max}^{от} = 7,7 - 1,54 = 6,16 \text{ MBt}.$$

4. Минимальная отопительная нагрузка:

$$Q_{\min}^{от} = Q_{\max}^{от} \cdot (t_{\text{ном}} - t_{н.в.}^p) / (t_{\text{ном}} - t_{н.в.}^p), \text{ MBt},$$

где $t_{\text{ном}}$ - расчетная температура внутри помещения, $^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ном}} = +18^{\circ}\text{C}$;

$t_{н.в.}^p$ - расчетная температура наружного воздуха в зимний период, $^{\circ}\text{C}$,

$$t_{н.в.}^p = -24^{\circ}\text{C} [6].$$

$t_{н.в.}^*$ - температура начала отопительного периода, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{н.в.}^* = 8^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\min}^{от} = 6,16 \cdot (18 - 8) / (18 - (-24)) = 1,46 \text{ MBt}.$$

5. Расход теплоты на собственные нужды котельной:

$$Q_{с.н.} = q_{с.н.} \cdot Q_{\max}^н \cdot 10^{-2}, \text{ MBt},$$

где $q_{с.н.}$ - доля расхода теплоты на собственные нужды котельной, %:

$$q_{с.н.} = 3\%.$$

$$Q_{с.н.} = 3 \cdot 7,7 \cdot 10^{-2} = 0,231 \text{ MBt}.$$

6. Максимальная выработка теплоты котельной брутто:

$$Q_{\max}^{\text{выр}} = Q_{\max}^{\text{от}} + Q_{\text{с.н.}} + Q_{\text{с.в.}}$$

$$Q_{\max}^{\text{выр}} = 1,54 + 6,16 + 0,231 = 7,931 \text{ МВт.}$$

Необходимое число котлов:

$$n = \frac{Q_{\max}^{\text{выр}}}{Q_{\text{ка}}},$$

$$n = \frac{7,93}{1,74} = 4,55 \text{ принимаю 5 котла марки ТТ-50 с мощностью котла 3,0}$$

МВт каждый.

В летний период работает один котел, вырабатывая тепло на горячее водоснабжение и собственные нужды котельной.

Исходные данные к построению годового графика:

Температура воздуха наиболее холодной пятидневки: -24°C ,

Продолжительность отопительного периода 189 суток,

Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха, равной и ниже данной:

При $+8^{\circ}\text{C}$ – 4780 часов.

При $+0^{\circ}\text{C}$ - 2570 часов.

При -5°C – 2200 часов.

При -10°C – 1320 часов.

При -15°C – 665 часов.

При -20°C – 232 часов.

При -25°C – 28 часа.

При -30°C – 2 часа.

Годовой график выработки котельной изображен на листе №1 графической части.

2. Расчет объемов и энтальпий продуктов сгорания и воздуха.

В качестве топлива используется природный газ газопровода «Саратов-Москва» с объемным составом, приведенным в таблице №1.

Таблица 1 – Состав газа

Газопровод	Состав газа по объему, %												Низшая теплота сгорания, кДж/м ³
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	CO	CO ₂	N ₂	O	H ₂ S	H ₂	
Саратов-Москва	90,29	2,8	1,1	0,75	0,34	0,20	-	0,32	4,2	-	-	-	37010

Теоретический объем воздуха необходимого для полного сгорания при сжигании газа:

$$V^0 = 0,0476 [0,5 CO + 0,5 H_2 + 1,5 H_2 S + \sum (m + \frac{n}{4}) C_m H_n - O_2],$$

где: m – число атомов углерода;

n – число атомов водорода.

$$V^0 = 0,0476 [(1 + \frac{4}{4}) \cdot 90,29 + (2 + \frac{6}{4}) \cdot 2,8 + (3 + \frac{8}{4}) \cdot 1,1 + (4 + \frac{10}{4}) \cdot 0,75 + (5 + \frac{12}{4}) \cdot 0,34 + (6 + \frac{14}{4}) \cdot 0,2] = 9,775 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3$$

Теоретический объем азота в продуктах сгорания при сжигании газа:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + \frac{N_2}{100}.$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 9,775 + \frac{4,2}{100} = 7,764 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3$$

Объем трехатомных газов в продуктах сгорания при сжигании газа:

$$V_{RO_2}^0 = 0,01(CO_2 + CO + H_2 S + \sum m C_m H_n).$$

$$V_{RO_2}^0 = 0,01(0,32 + (1 \cdot 90,29 + 2 \cdot 2,8 + 3 \cdot 1,1 + 4 \cdot 0,75 + 5 \cdot 0,3465 \cdot 0,2)) = 1,054 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3$$

Теоретический объем водяных паров в продуктах сгорания при сжигании газа:

$$V_{H_2O}^0 = 0,01(H_2 S + H_2 + \sum \frac{n}{2} \cdot C_m H_n + 0,124 d_{z.ml}) + 0,0161 V^0,$$

где: $d_{Г.ТЛ}$ – влагосодержание газообразного топлива, отнесенного к 1 м³ сухого газа, $d_{Г.ТЛ}=10$ г/нм³.

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot \left(\frac{4}{2} \cdot 90,29 + \frac{6}{2} \cdot 2,8 + \frac{8}{2} \cdot 1,1 + \frac{10}{2} \cdot 0,75 + \frac{12}{2} \cdot 0,34 + \frac{14}{2} \cdot 0,2 \right) + 0,0161 \cdot 9,775 = 2,175 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3.$$

Теоретический объем продуктов сгорания:

$$V_{\Sigma}^0 = V_{RO_2}^0 + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0$$

$$V_{\Sigma}^0 = 1,054 + 7,764 + 2,175 = 10,994 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3.$$

Действительный объем продуктов сгорания:

$$V_{\Sigma} = V_{\Sigma}^0 + 1,0161 \cdot (a - 1) \cdot V^0$$

$$V_{\Sigma} = 10,994 + 1,0161 \cdot (1,05 - 1) \cdot 9,775 = 11,491 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3.$$

Результаты расчетов сведены в таблицу №2.

Таблицы 2 – Результаты расчетов

№	Наименование параметра	Ед. измерения	Расчетная величина
1	Коэффициент избытка воздуха за топкой		1,05
2	Объем трехатомных газов $V_{RO_2} = V_{RO_2}^0$	м ³ / кг	1,054
3	Объем трехатомных газов $V_{N_2} = V_{N_2}^0$	-//-	7,765
4	Объем водяных паров $V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 1,0161 \cdot (a - 1) \cdot V^0$	-//-	2,175
5	Суммарный объем домовых газов $V_{\Sigma} = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O}$	-//-	10,995

Расчет энтальпий продуктов сгорания

Энтальпия теоретического объема воздуха и продуктов сгорания топлива, кДж/м³ сведены в таблицу №3.

Таблица 3 – Энтальпия воздуха и продуктов сгорания

$t, ^\circ\text{C}$	$I^0 = (ct_B) \cdot V^0$	$I_{RO_2}^0 = (c\mathcal{G})_{RO_2} \cdot V_{RO_2}^0$	$I_{N_2}^0 = (c\mathcal{G})_{N_2} \cdot V_{N_2}^0$	$I_{H_2O}^0 = (c\mathcal{G})_{H_2O} \cdot V_{H_2O}^0$	I_Γ^0
30	387,12	-	-	-	-
100	1290,41	179,30	1006,33	327,63	1513,27
200	2600,38	376,95	2018,88	662,65	3058,48
300	3929,89	589,45	3044,63	1007,03	4641,11

Энтальпия дымовых газов на 1 м^3 топлива:

$$I_\Gamma = I_\Gamma^0 + (a-1) \cdot I_B^0, \text{кДж} / \text{м}^3,$$

где I_Γ^0 – энтальпия газов при коэффициенте избытка воздуха $a=1$ и температуре газов, $\text{кДж}/\text{м}^3$; I_B^0 – энтальпия теоретического необходимого воздуха при нормальных условиях, $\text{кДж}/\text{м}^3$.

Рассчитанные значения энтальпий продуктов сгорания сведены в таблицу №4.

Таблица 4 – Энтальпия продуктов сгорания

$t, ^\circ\text{C}$	$I_\Gamma, \text{кДж} / \text{м}^3$
30	
100	1516,84
160	2426,94
200	3033,67
300	4550,51

3. Расчет теплового баланса котельного агрегата и определение его КПД

Тепловым балансом котла называют равенство располагаемой теплоты сумме полезной теплоты и потерь теплоты, имеющих при работе агрегата.

Потери теплоты, в общем случае, складываются из потерь тепла с уходящими газами, от наружного охлаждения, от химической и механической теплоты сгорания, от потерь тепла в виде физической теплоты шлака.

Расчет теплового баланса котельного агрегата сведен в таблицу №4.

Таблица 4 – Результаты расчета теплового баланса котельного агрегата

Наименование	Обозначение	Расчетная формула, способ определения	Единица измерения	Расчет
Располагаемая теплота	Q_p^p	$Q_p^p = Q_H^p$	$\text{кДж} / \text{м}^3$	37010
Потеря теплоты от хим. Неполноты сгорания	q_3	[3]	%	0,5
Температура уходящих газов	t_{yx}	Паспортные данные на котел	$^{\circ}\text{C}$	160
Энтальпия уходящих газов	I_{yx}	Табл. 3	$\text{кДж} / \text{м}^3$	2426,94
Температура воздуха в котельной	$t_{xв}$	По заданию	$^{\circ}\text{C}$	30
Энтальпия воздуха в котельной	$I_{xв}^0$	Табл. 3	$\text{кДж} / \text{м}^3$	387,12
Потеря теплоты с уход. газами	q_2	$(I_{\Gamma} - aI_{\Gamma}^0)100 / Q_p^p$	%	5,46
Потеря теплоты от наружного охлаждения	q_5	Справочные данные	%	1
Сумма тепл потерь	$\sum q$	$\sum q = q_2 + q_3 + q_5$	%	6,96
КПД теплоагрегата	η	$100 - \sum q$	%	93,04
Температура рабочего тела	$t_{нт}$	По заданию	$^{\circ}\text{C}$	115
Расчетный расход газа	B_p	$Q_l / \eta Q_p^p$	$\text{м}^3 / \text{с}$	0,0505

Расчетный расход газа:

$$B_p = Q_{ка} \cdot \frac{100}{Q_p^p \cdot \eta_{ка}},$$

где $Q_{КА}$ – полное количество теплоты, воспринятое в котле рабочим телом, $Q_{КА} = 1740$ кВт;

Q_p^p располагаемая теплота топлива, $Q_p^p = 37010 \text{ кДж} / \text{м}^3$

$\eta_{ка}$ – КПД котельного агрегата, 91%.

$$B_p = 1740 \cdot \frac{100}{37010 \cdot 93,04} = 0,0505 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

4. Расчет и выбор тяго–дутьевой установки и дымовой трубы.

Газовый тракт проектируемой котельной работает на естественной тяге. Газоходы от четырех котлов подключаются к двум сборным газоходам и к одной стальной дымовой трубе.

К котлам подобраны дутьевые горелки, преодолевающие сопротивление котла.

Условие надежной тяги:

$$p_c > 1,2 p_{\Pi},$$

где p_c – Самотяга дымовой трубы, Па;

p_{Π} – перепад давлений по газовому тракту, Па.

Для расчета самотяги дымовой трубы предварительно по расходу топлива принимаю стальную дымовую трубу высотой 18 м и диаметром 0,5 м.

Объемный расход газов определяется по формуле:

$$V_{д.г.} = n \cdot B_p \cdot V_g \cdot (\vartheta_{д.г.} + 273) / 273,$$

где $\vartheta_{д.г.}$ -средняя температура уходящих газов, °С;

n – число котлов;

B_p – расчетный расход топлива, м³/с.

$$\vartheta_{д.г.} = \frac{\vartheta'_{д.г.} + \vartheta''_{д.г.}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

где $\vartheta'_{д.г.}$ - температура газов на входе в дымовую трубу, $\vartheta'_{д.г.} = 180^\circ\text{C}$;

$\vartheta''_{д.г.}$ - температура газов на выходе из дымовой трубы;

$$\vartheta''_{д.г.} = \vartheta'_{д.г.} - \Delta\vartheta,$$

Где $\Delta\vartheta$ -падение температуры по длине трубы:

$$\Delta\vartheta = \frac{0,8}{\sqrt{D}} H_{\text{д.тр.}}$$

$$\text{Где } \sqrt{D} = \frac{\sqrt{B \cdot Q_n^p}}{822},$$

$$\sqrt{D} = \frac{\sqrt{505 \cdot 8854}}{822} = 2,57$$

$$\Delta \vartheta = \frac{0,8}{2,57} \cdot 18 = 5,59$$

$$\vartheta_{д.г.}'' = 160 - 5,59 = 154,4^{\circ}C$$

$$\vartheta_{д.г.} = \frac{160 + 154,4}{2} = 157,2^{\circ}C$$

$$V_{д.г.} = 1 \cdot 0505 \cdot 11,49 \cdot (160 + 273) / 273 = 0,91 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Проверим скорость на выходе из домового трубы:

$$\omega = \frac{4 \cdot V_z}{\pi \cdot d^2};$$

$$\omega = \frac{4 \cdot 0,915}{3,14 \cdot 0,5^2} = 4,66 \text{ м} / \text{с}.$$

Перепад полных давлений по газовому тракту:

$$\Delta p_{\Pi} = p_T'' + \Delta p \pm p_c,$$

где p_T'' - разрежение на выходе из топки, необходимое для предотвращения выбивания газов, принимается 0 Па (работает под наддувом).

Δp - суммарное сопротивление газового тракта, Па.

p_c - суммарная самотяга газового тракта, Па.

Самотяга любого участка газового тракта, включая дымовую трубу:

$$p_c = H \cdot g \cdot \left(\rho_g^0 \cdot \frac{273}{273 + t_g} - \rho_z^0 \cdot \frac{273}{273 + \vartheta_{дг}} \right),$$

где H – расстояние по вертикали между серединами начального и конечного сечений данного участка тракта;

g – ускорение свободного падения, м²/с;

t_g – температура воздуха на расчетном участке;

ρ_z^0 - плотность дымовых газов при нормальных условиях (принимается

$$\rho_z^0 = 1,34 \text{ кг} / \text{м}^3)$$

$\vartheta_{дг}$ - средняя температура дымовых газов на рассматриваемом участке, °C.

Самотяга для зимнего периода:

$$p_c = 18 \cdot 9,81 \cdot (1,29 \cdot \frac{273}{273-24} - 1,34 \cdot \frac{273}{273+157,2}) = 124,7 \text{ Па}.$$

Самотяга для летнего периода:

$$p_c = 18 \cdot 9,81 \cdot (1,29 \cdot \frac{273}{273+26} - 1,34 \cdot \frac{273}{273+157,2}) = 57,82 \text{ Па}.$$

Суммарное сопротивление газового тракта:

$$\Delta p = \Delta p_{\Gamma} + \Delta p_{\text{ш}} + \Delta p_{\text{дт}}^{\text{вых}} + \Delta p_{\text{д.тр.}},$$

Где $\Delta p_{\text{ш}}$ - сопротивлениешибера, $\Delta p_{\text{ш}} = 5 \text{ Па}$, $\Delta p_{\text{дт}}^{\text{вых}}$ - потери давления на выходе из дымовой трубы, Па; $\Delta p_{\text{д.тр.}}$ - сопротивление трению дымовой трубы, Па; Δp_{Γ} - сопротивление газопроводов.

Сопротивление трению дымовой трубы:

$$\Delta p_{\text{д.тр.}} = 0,004 \cdot \frac{\omega_{\text{д.т.}}^2}{2} \cdot \rho_{\Gamma},$$

ρ_{Γ} , - средняя плотность газов в трубе при средней температуре, кг/м³.

$$\rho_{\Gamma} = \frac{1,34 \cdot 273}{273+157,2} = 0,850;$$

$$\Delta p_{\text{д.тр.}} = 0,004 \cdot \frac{4,66^2}{2} \cdot 0,850 = 0,36 \text{ Па}.$$

Сопротивление на выходе из дымовой трубы:

$$\Delta p_{\text{м}} = \sum \zeta \cdot \frac{\omega^2}{2} \cdot \rho,$$

где $\sum \zeta$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений в дымовой трубе,

$$\sum \zeta = 1,1.$$

$$\rho_{\Gamma} = \frac{1,34 \cdot 273}{273+154,4} = 0,855;$$

$$\Delta p_{\text{м}} = 1,1 \cdot \frac{4,66^2}{2} \cdot 0,855 = 10,23 \text{ Па}.$$

Сопротивление газового тракта:

$$\Delta p_{\Gamma} = (\frac{\lambda \cdot \ell_{\text{з.х.}}}{d_{\text{з.х.}}} + \sum \xi) \cdot \frac{\omega_{\text{сп}}^2 \cdot \rho}{2},$$

где λ -коэффициент трения, для стальных нефутерованных газопроводов $\lambda = 0,02$;

$\ell_{г.х.}$ - длина газопровода, м;

$d_{э.г.х.}$ - эквивалентный диаметр газопровода, м;

$\sum \xi$ - сумма коэффициентов местного сопротивления;

$\omega_{ср}^2 \cdot \rho$ - средние скорость и плотность газов по газопроводам.

Патрубок для отвода дымовых газов от котла имеет диаметр 500 мм.

Участок от котла до т.1: поворот на $\alpha = 90^\circ$, $l=1,5$ м, $d=0,500$ м.

$$\omega = \frac{4 \cdot V_{г.}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,9}{3,14 \cdot 0,5^2} = 4,58 \text{ м / с};$$

$$p_{г.} = \frac{1,34 \cdot 273}{273 + 160} = 0,844 \text{ кг / м}^3;$$

$$\Delta P_{1-2} = (0,02 \cdot \frac{1,5}{0,5} + 0,4) \cdot 4,58^2 \cdot \frac{0,844}{2} = 4,08 \text{ Па};$$

Участок от т.1 до т.2 : поворот на $\alpha = 90^\circ$, $l=2$ м, диаметр 0,5м.

$$\omega = \frac{4 \cdot V_{г.}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,9}{3,14 \cdot 0,5^2} = 4,58 \text{ м / с};$$

$$\Delta P_{2-3} = (0,02 \cdot \frac{2}{0,5} + 0,9) \cdot 4,58^2 \cdot \frac{0,844}{2} = 8,70 \text{ Па};$$

Участок от т.2 до входа в трубу и 18 м дымохода вертикального участка: собирающий симметричный треугольник на слияние потоков, $l=18$ м, $d=0,5$ м.

$$\Delta P_{гх3-4} = (0,02 \cdot \frac{18}{0,5} + 1,2) \cdot 4,58^2 \cdot \frac{0,844}{2} = 17,05 \text{ Па};$$

Суммарное сопротивление газового тракта:

$$\Delta p = 0,85 + 0,036 + 4,08 + 8,70 + 17,05 = 30,73 \text{ Па}.$$

Перепад полных давлений по газовому тракту в зимний период:

$$\Delta p_{II} = 124,7 - 30,7 = 94,0 \text{ Па}.$$

Проверим условие надежной тяги:

$$94,0 \cdot 1,2 < 124,7$$

$112,8 < 124,7$ - условие надежной тяги не соблюдается

Котел данной марки работает без наддува, вентилятор предусмотрен в горелке. Тяга в дымовой трубе естественная, наддув не требуется.

Принятую высоту дымовой трубы необходимо проверить на рассеивание вредных компонентов (окислов азота).

Количество окислов азота в дымовых газах определяется по формуле:

$$M_{NO_2} = B_p Q_p \beta_k \beta_1 \beta_a K_{NO_2} (1 - \beta_r) (1 - \beta_\delta),$$

где B_p – расход топлива, m^3/c ;

Q_p – низшая теплота сгорания топлива, $МДж/м^3$;

β_1 – коэффициент, учитывающий подогрев воздуха, принимается $\beta_1 = 1$;

β_k – коэффициент, учитывающий конструкцию горелок, $\beta_k = 1$;

β_a – коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на образование оксидов азота, $\beta_a = 1$;

β_r – коэффициент, учитывающий рециркуляцию газов через горелку на образование оксидов азота, $\beta_r = 0$;

β_δ – коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру $\beta_\delta = 0$;

K_{NO_2} – коэффициент, характеризующий выход оксидов азота на 1 $МДж$ теплоты сожженного условного топлива, $кг/МДж$.

$$K_{NO_2} = 0,0113 \sqrt{Q_m} + 0,03$$

$$K_{NO_2} = 0,0113 \sqrt{7,7} + 0,03 = 0,061_{кг} / МДж$$

$$M_{NO_2} = 0,0505 \cdot 37,010 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,05(1 - 0)(1 - 0) = 1,147 \text{ г/с.}$$

Количество оксидов азота от трех котлов составляет 5,737 г/с.

Минимальная высота дымовой трубы $H_{д.т.}^{min}$, рассчитывается из условия:

$$H_{д.т.}^{min} = \sqrt{A_m F m n_m \sqrt[3]{I / V_{вых} \Delta T M_{NO_2} / ПДК_{NO_2}}},$$

где A_m коэффициент, зависящий от стратификации атмосферы;

I – количество труб;

m, n_t – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газов из трубы;

ΔT – разность температур дымовых газов на выходе из трубы и окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

ПДК_{NO_2} – предельно допустимая концентрация азота в атмосфере, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Коэффициент A_T принимается равным - 160.

Коэффициент F принимается равным единице.

Расчет производится для летнего периода.

Коэффициент m оценивается по формуле:

$$m = (0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f})^{-1},$$

$$f = 10^3 \omega_{\text{вых}}^2 d_{\text{вых}} (H_{\text{д.т}}^2 \Delta T)^{-1},$$

$$\Delta T = \vartheta'_{\text{д.т}} - t_{\text{в.}}$$

$$\Delta T = 154,4 - 26 = 128,4^{\circ}\text{C}$$

$$f = 10^3 \cdot 4,66^2 \cdot 0,5 (18^2 \cdot 128,8)^{-1} = 1,009.$$

$$m = (0,67 + 0,1\sqrt{1,009} + 0,34\sqrt[3]{1,009})^{-1} = 1,112.$$

Значение коэффициента n_T зависит от параметра V_M :

$$V_M = 0,65 \sqrt[3]{V_{\text{вых}} \Delta T / H_{\text{д.т.}}},$$

$$V_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{10,995 \cdot 128,4}{18}} = 2,78$$

Т. к. $V_M > 2$, то $n=1$.

$$H_{\text{д.т.}}^{\min} = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1,112 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{0,951 \cdot 128,4}} \cdot \frac{5,73}{0,085}} = 16,89$$

5. Расчет тепловой схемы

Схема котельной, предполагаемой для расчета работает следующим образом: вода, нагретая в котельных агрегатах направляется в тепловую сеть и к водоподготовительной установке, для подогрева исходной воды и воды перед деаэрацией. Вода из тепловой проходит грязевик и подается сетевыми насосами через гидромагнитную систему защиты от накипи и коррозии в котлы. Водопроводная вода поступает в котельную для компенсации потерь теплоносителя. Исходная вода проходит через фильтр магнитный муфтовый, гидромагнитную систему защиты от накипи и коррозии и поступает в водоподготовительную установку, где умягчается за счет ввода в нее комплексона и деаэрируется в термическом деаэраторе. Химически обработанная вода поступает в обратную линию тепловой сети.

Рециркуляция требуется практически во всех режимах (за исключением максимально – зимнего режима), так как обратная сетевая вода имеет температуру ниже нормируемых минимальных значений. При всех режимах работы, кроме максимально – зимнего для обеспечения требуемой (по температурному графику) температура воды в падающей линии тепловой сети необходимо количество обратной сетевой воды через регулятор температуры (РТ) по перемычке подается, минуя котельный агрегат, на смешивание с водой, выходящей из него.

Приготовление воды для горячего водоснабжения осуществляется по месту. Температурный график приведен на чертеже 1 графической части.

Расход теплоты на отопление, вентиляцию:

$$Q_{O.B.} = Q_{O.B.}^P \cdot \frac{t_{вн}^P - t_{нв}}{t_{вн}^P - t_o^P},$$

где $Q_{O.B.}^P$ - расчетная нагрузка отопления, вентиляции в максимально – зимнем режиме, МВт,

$t_{вн}^p$ - температура воздуха в отапливаемом помещении, $t_{вн}^p = +18^{\circ}\text{C}$;

t_o^p - температура наружного воздуха при максимально – зимнем режиме,

$$t_p^p = -24^{\circ}\text{C}$$

$t_{нв}$ - температура расчетного режима, $^{\circ}\text{C}$

1. Максимально – зимний (при температуре наружного воздуха в наиболее холодную пятидневку)

$$Q_{O.B.} = 6,16 \cdot \frac{18 - (-24)}{18 - (-24)} = 6,16 \text{ MBm.}$$

2. Средний (при средней температуре наружного воздуха в наиболее холодный месяц):

$$Q_{O.B.} = 6,16 \cdot \frac{18 - (-13)}{18 - (-24)} = 4,69 \text{ MBm.}$$

3. В точке излома температурного графика:

$$Q_{O.B.} = 6,16 \cdot \frac{18 - (-7,5)}{18 - (-25)} = 3,74 \text{ MBm.}$$

На горячее водоснабжение:

Для всех периодов кроме летнего $Q_{ГВ}^3 = 1,54 \text{ MBm.}$

Для летнего периода: $Q_{ГВ}^1 = Q_{ГВ}^3 \cdot 0,82 = 0,82 \cdot 1,54 = 1,26 \text{ MBm.}$

Общая тепловая мощность теплогенерирующей установки (без учета потерь расхода на собственные нужды):

$$Q_T = Q_{OB} + Q_{ГВ}.$$

$$1. Q_T = 6,16 + 1,54 = 7,7 \text{ MBm.}$$

$$2. Q_T = 4,69 + 1,54 = 6,23 \text{ MBm.}$$

$$3. Q_T = 3,74 + 1,54 = 5,28 \text{ MBm.}$$

$$4. Q_T = 0 + 1,26 = 1,26 \text{ MBm.}$$

Расход сетевой воды:

- на отопление и вентиляцию:

$$G_{O.B.} = \frac{Q_{O.B.}}{4,19 \cdot (t_c' - t_c'')},$$

где t'_c и t''_c - температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах, $^{\circ}\text{C}$ ($t'_c = 115^{\circ}\text{C}$, $t''_c = 70^{\circ}\text{C}$).

$$G_{O.B.} = \frac{6160}{4,19 \cdot (115 - 70)} = 32,67 \text{ кг/с},$$

На горячее водоснабжение:

$$G_{Г.В.} = \frac{Q_{Г.В.}}{4,19 \cdot (t'_c - t''_c)},$$

$$G_{Г.В.} = \frac{1260}{4,19 \cdot (115 - 70)} = 8,16 \text{ кг/с},$$

Общий:

$$G_C = \frac{Q_{O.B.} + Q_{Г.В.}}{4,19 \cdot (t'_c - t''_c)},$$

$$G_C = \frac{(6160 + 1260)}{4,19 \cdot (115 - 70)} = 40,83 \text{ кг/с},$$

Расход воды на подпитку тепловых сетей:

$$G_{ПОДП} = 0,02 \cdot G_C,$$

$$G_{ПОДП} = 0,02 \cdot 40,83 = 0,816 \text{ кг/с},$$

Расход теплоты на собственные нужды котельной, $Q_{сн} = 3\% Q_T$:

$$Q_{с.н.} = 0,03 \cdot 7,7 = 0,231 \text{ кг/с},$$

Общая тепловая мощности теплогенерирующей установки с учетом затрат теплоты на собственные нужды:

$$Q_K = Q_{o.в.} + Q_{г.в.} + Q_{с.н.}$$

$$Q_K = 6,16 + 1,54 + 0,231 = 7,93 \text{ МВт}.$$

Расход воды через котельные агрегата теплогенерирующей установки:

$$G_K = \frac{Q_K}{4,19 \cdot (t'_K - t''_K)},$$

$$G_K = \frac{7930}{4,19 \cdot (115 - 70)} = 42,063 \text{ кг/с}.$$

Температура воды на выходе из котельного агрегата при $t'_K = 70^{\circ}\text{C}$:

$$t''_K = t'_K + \frac{Q_K}{4,19 \cdot G_K},$$

$$t''_k = 70 + \frac{7930}{4,19 \cdot 42,063} = 115^0 C.$$

Расход воды (через котельный агрегат) на собственные нужды:

$$G_{C.H.} = \frac{Q_{C.H.}}{4,19 \cdot (t''_k - t'_k)},$$

$$G_{C.H.} = \frac{231}{4,19 \cdot (115 - 70)} = 1,225 \text{ кг} / \text{с}.$$

Расход воды на линии рециркуляции при $t'_k = 70^0 C$:

$$G_{p.ц.} = G_k \cdot \frac{t'_k - t''_c}{t''_k - t''_c},$$

$$G_{p.ц.} = 42,063 \cdot \frac{70 - 70}{115 - 70} = 0$$

Расход воды по перемычке :

$$G_{П.М.} = G_c \cdot \frac{t''_k - t'_c}{t''_k - t''_c},$$

$$G_{П.М.} = 40,83 \cdot \frac{115 - 115}{115 - 70} = 0$$

Расчетные расходы воды:

- расход греющей воды на теплообменник химочищенной воды:

$$G_{\Gamma} = G_{подп} \cdot \frac{t'_{ХВО} - t''_{ХВО}}{t'_c - t''_c}, \text{ принимаю } t'_{ХВО} = 65^0 C, t'_{ХВО} = t''_{исх} = 25^0 C,$$

$$G_{c.н.}^p = 0,816 \cdot \frac{65 - 5}{115 - 70} = 1,089 \text{ кг} / \text{с}$$

Расчетные расходы воды:

а) на собственные нужды:

б) Через котельный агрегат:

$$G_k^p = \frac{Q_{O.B.} + Q_{\Gamma.B.}}{4,19 \cdot (t''_k - t'_k)} + G_{c.н.}^p,$$

$$G_k^p = \frac{6160 + 1540}{4,19 \cdot (115 - 70)} + 1,089 = 41,92 \text{ кг} / \text{с}$$

Относительная погрешность расчета:

$$\Delta = \frac{G_k^p - G_k}{G_k^p},$$

$$\Delta = \frac{41,92 - 42,06}{42,06} \cdot 100 = 0,324\%.$$

$\Delta = 0,324\%$, следовательно, расчет закончен.

Результаты для максимально - зимнего режима и всех остальных сведен в таблицу 3.

Таблица 3 - Результаты расчетов параметров котельной на отопление, вентиляция и горячее водоснабжение.

Наименование параметров	Максимально – зимний (-24)	Средний (-13)	В точке излома температурного графика (-7,5)	На горячее водоснабжение
Расход теплоты на отопление, вентиляцию	6,160	4,693	3,740	1,540
Общая тепловая мощность	7,700	6,233	5,280	1,263
Расход сетевой воды:	32,670	33,943	31,879	31,879
Температура воды в подающем трубопроводе	115,00	85,00	70,00	70,00
температура воды в обратном трубопроводе	70,00	52,00	42,00	42,00
На горячее водоснабжение:	8,168	33,943	31,879	31,879
Общий	40,838	45,081	45,005	10,764
Расход воды на подпитку тепловых сетей:	0,817	0,902	0,900	0,817
Расход теплоты на собственные нужды котельной	0,231	0,187	0,158	0,038
Общая тепловая мощности теплогенерирующей установки с учетом затрат теплоты на собственные нужды:	7,931	6,420	5,438	1,301
Расход воды через котельные агрегата теплогенерирующей установки:	42,063	46,433	39,332	11,087
Температура воды на выходе из котельного агрегата при $t=70$	115,00	106,43	100,86	77,38
Расход воды (через котельный агрегат) на собственные нужды:	1,225	1,225	1,225	1,225

Расход воды на линии рециркуляции при t-70	0,000	13,911	20,011	33,289
Расход воды по перемычке :	0,000	17,748	23,595	2,245
Расчетные расходы воды на собственные нужды:	1,089	1,639	1,929	0,384
Через котельный агрегат:	41,927			
Относительная погрешность расчета:	-0,325			

6.Выбор основного и вспомогательного оборудования котельной.

В котельной установлены котлы марки ТТ-50.

Характеристики котла ТТ-50:

Номинальная теплопроизводительность, МВт – 1,74.

Рабочее давление, МПа – 0,6.

Максимально допустимая температура воды в котле, °С – 115

Температура уходящих газов, °С – 160

Габаритные размеры, мм: 3343x1640x1901

Масса, кг: 3876.

Оборудование водоподготовительной установки предназначено для умягчения и деаэрации воды и выбирается по расходу химически очищенной воды 0,362 кг/с. Выбираю установку ВПУ–3М-0,1.

Характеристика ВПУ-3М-0,1:

Производительность, т/ч – 0,9-3

Абсолютное давление в деаэрационной колонке МПа – 0,013 -0,048

Масса установки (без фильтрующей загрузки) кг, - 850

Габаритные размеры, мм – 1900x1200x2650.

Производительность деаэрационной колонки принимается по максимальному расходу химводочищенной воды. Расход воды из деаэратора составляет 1,933 кг/с, следовательно, выбираю автоматизированную вакуумную деаэрационнуюподпиточную установку ВПУ- 3М.Деаэратор предназначен для дегазации подпиточной воды в котельной и в тепловых сетях.

Техническая характеристика ВПУ 3М:

Производительность, т/ч – 0,9-3

Содержание газов в деаэрированной воде, мг/кг – не более 0,05

Кислорода, свободной углекислоты – не допустимо

Габаритные размеры:

Высота, мм - 2650

Длина, мм – 1900

Ширина, мм - 1200

Масса, кг – 900

Сетевой насос выбираю по расходу воды от внешних потребителей – 40,83 кг/с и потерям давления 300 Па.

Принимаю два насоса марки К-45/30 (один резервный).

Характеристика насоса К-45/30:

Производительность, м³/ч:45

Напор, м:30

Мощность эл. Двигателя, кВт:7,5

Масса, кг:133

Рециркуляционные насосы выбираю по расходу рециркуляционной воды 13,91 кг/с. Принимаю два насоса марки К20/18 (один рабочий, один резервный).

Характеристики насоса К20/18

Производительность, м³/ч:20

Напор, м:18

Мощность эл. Двигателя, кВт:2,2

Масса, кг:71,2

Для умягчения обратной сетевой воды принимаю по расходу сетевой воды гидромагнитную систему преобразования солей жесткости ГМС 100 - две штуки.

Для предварительного умягчения подпиточной воды принимаю по расходу подпиточной воды две установки ГМС -20.

Для механической очистки обратной сетевой воды по расходу воды принимаю к установке грязевик ГТП-200-2,5 диаметром 200 мм.

Для механической очистки подпиточной воды по расходу подпиточной воды принимаю к установке фильтр магнитный фланцевый ФММ 20.

Для подогрева исходной воды служит водоводяной подогреватель.

Площадь теплообменника:

$$F = \frac{G_{\text{исх}} \cdot c \cdot (t'_{\text{хов}} - t_{\text{исх}})}{K \cdot \Delta t},$$

где K – коэффициент теплопередачи, принимаем $K = 1200 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

F – площадь теплообмена, м^2 ;

Δt - средний температурный напор, $^\circ\text{C}$.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}},$$

где $\Delta t_{\delta}, \Delta t_{\text{м}}$ - большая и меньшая разности температур теплоносителей, $^\circ\text{C}$.

$$\Delta t = \frac{(70 - 5) - (60 - 42)}{\ln \frac{(70 - 5)}{(60 - 42)}} = 36,6 ^\circ\text{C}.$$

$$F = \frac{1,928 \cdot 4,19 \cdot (65 - 5)}{1,2 \cdot 36,6 \cdot 0,98} 1,12 \text{ м}^2.$$

Выбираю водоводяной теплообменника марки ВВП 57х4000-1,0-СГ-

13.1. (2 шт)

Площадь нагрева одной секции, м^2 : 0,65.

Масса секции, кг: 52,4.

Рабочее давление, $\text{кг}/\text{см}^2$: 10.

Температура воды в корпусе и в трубной части, $^\circ\text{C}$.

7. Техничко – экономические показатели котельной

Наиболее представительными показателями на стадии эксплуатации котельной являются:

- себестоимость отпускаемой теплоты;
- КПД нетто;
- удельный расход условного топлива на отпуск теплоты, штатный коэффициент;
- удельная стоимость котельной.

Установленная теплопроизводительность котельной:

$$Q_{уст} = G_{\kappa}^p \cdot 4,19 \cdot (t_{\kappa}' - t_{\kappa}'').$$

$$Q_{уст} = 41,92 \cdot 4,19 \cdot (95 - 70) = 7905 \text{ кВт}.$$

Количество теплоты, вырабатываемое с горячей водой для коммунально – бытовых нужд, принимается из построенного графика теплоты.

$$Q_{\max}^{кб} = 7,7 \text{ МВт}.$$

Годовое число часов использования установленной мощности теплостанции:

$$\tau_u = \frac{\sum Q_i \cdot \tau_i}{Q_{уст}},$$

Где $Q_i \cdot \tau_i$ - выработка теплоты за год по графику, МВт ч/год.

$$\tau_u = \frac{\left(\frac{6100+5450}{2}\right) \cdot 1000 + \left(\frac{5450+4710}{2}\right) \cdot 1000 + \left(\frac{4710+3950}{2}\right) \cdot 1000 + \left(\frac{3950+3200}{2}\right) \cdot 1000 + \left(\frac{3200+2500}{2}\right) \cdot 128 + 1540 \cdot (8400 - 4780)}{7905} = 7055 \text{ ч / год}.$$

Годовая выработка теплоты котельной:

$$Q_{выр}^{год} = 3,6 \cdot Q_{уст} \cdot \tau_u, \text{ ГДж / год},$$

$$Q_{выр}^{год} = 3,6 \cdot 7,905 \cdot 7055 = 200780 \text{ ГДж / год},$$

Годовой расход теплоты на собственные нужды и утечки:

$$Q_{год}^{сн} = 3,6 \cdot (Q_{уст} - Q_{\max}^{кб}) \cdot \tau_{раб},$$

где $\tau_{раб}$ - время работы котельной в году, ч/год принимается по графику выработки теплоты.

$$Q_{год}^{сн} = 3,6 \cdot (7,905 - 7,0) \cdot 7055 = 5215 \text{ ГДж} / \text{год}.$$

Доля расхода теплоты на собственные нужды:

$$q'_{сн} = 100 \cdot \frac{Q_{год}^{сн}}{Q_{выр}^{год}}.$$

$$q'_{сн} = 100 \cdot \frac{5215}{200780} = 2,59\%.$$

Годовой отпуск теплоты потребителям:

$$Q_{отп}^{год} = Q_{выр}^{год} - Q_{год}^{сн}.$$

$$Q_{отп}^{год} = 200780 - 5215 = 195565 \text{ ГДж} / \text{год}.$$

Годовой расход натурального топлива:

$$B_H^{год} = \frac{(1 + K_{пт}) \cdot Q_{выр}^{год} \cdot 10^3}{Q_{н(н)}^p \cdot \eta_k},$$

где $Q_{н(н)}^p$ - теплотворная способность натурального топлива, кДж/м³,

$K_{пт}$ – коэффициент потерь топлива при транспортировке, на растопку на неустановившиеся режимы, $K_{пт}=0,03$.

$$B_H^{год} = \frac{(1 + 0,03) \cdot 200780 \cdot 10^6}{37010 \cdot 0,93} = 6005732 \text{ м}^3 \cdot \text{м} / \text{год}.$$

Годовой расход условного топлива:

$$B_y^{год} = \frac{B_H^{год} \cdot Q_{н(у)}^p}{Q_{н(у)}^p},$$

где $Q_{н(у)}^p$ -теплотв. способность условного топлива, $Q_{н(у)}^p = 29300 \text{ кДж} / \text{кг}$.

$$B_y^{год} = \frac{6005732 \cdot 37010}{29300} = 7586 \text{ т} \cdot \text{у} \cdot \text{м} / \text{год}.$$

Установленная мощность токоприемников $N_{уст}$ принимается по укрупненным показателям равной $60 \text{ кВт} \cdot 7,905 \text{ МВт} = 474 \text{ кВт}$ из таблицы №24 [1].

Годовой расход электроэнергии:

$$\mathcal{Q}_{год} = N_{уст} \cdot \tau_u \cdot \eta_c,$$

где η_c - коэффициент спроса, $\eta_c = 0,7$.

$$\mathcal{Q}_{год} = 2662 \cdot 7055 \cdot 0,7 = 11733424 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}.$$

Годовой расход воды:

$$D_{св}^{год} = D_{св} \cdot \tau_u \cdot 3,6,$$

где $D_{св}$ - расход сырой воды, $D_{св} = 0,99 \text{ кг} / \text{с}$ из расчета тепловой схемы котельной.

$$D_{св}^{год} = 0,99 \cdot 7055 \cdot 3,6 = 22860 \text{ т} / \text{год}.$$

Количество обслуживающего персонала 2 человека.

Сметная стоимость котельной:

$$K = 7,905 \text{ МВт} \cdot 10 \text{ млн.руб.} = 79053 \text{ тыс.руб}$$

Стоимость строительной части оборудования и монтажа:

$$K_{стр} = K \cdot n_{зд} \cdot 10^{-2}$$

$$K_{об.м.} = K \cdot (n_{об} + n_m) \cdot 10^{-2},$$

Где $n_{зд}$, $n_{об}$, n_m – относительная стоимость строительных работ, оборудования и монтажа в суммарных капиталовложениях котельных, %,

При сжигании газа $n_{зд}=35\%$, $n_{об}=45\%$, $n_m=20\%$.

$$K_{стр} = 79053 \cdot 35 \cdot 10^{-2} = 22668 \text{ тыс.руб}$$

$$K_{об.м.} = 79053 \cdot (45 + 20) \cdot 10^{-2} = 51384 \text{ тыс.руб.}$$

Стоимость топлива $C_T=7,24$ руб за 1 м³.

Топливная составляющая эксплуатационных затрат:

$$I_{ТОП} = C_T \cdot B_n^{год}$$

$$I_{ТОП} = 7,24 \cdot 6005732 = 43481 \text{ тыс.руб} / \text{год}.$$

Амортизационные отчисления:

$$I_{ам} = (\alpha_{зд} \cdot K_{стр} + \alpha_{об} \cdot K_{об.м.}) \cdot 10^{-2},$$

где $\alpha_{зд}$, $\alpha_{об}$ – нормы амортизационных отчислений для зданий и оборудования, $\alpha_{зд}=3,5$, $\alpha_{об}=5,7$.

$$I_{ам} = (3,5 \cdot 22668 + 5,7 \cdot 51384) \cdot 10^{-2} = 3897 \text{ тыс.руб} / \text{год}.$$

Затраты на содержание обслуживающего персонала:

$$I_{\text{зн}} = m \cdot n \cdot \Phi \cdot n_{\text{соц}},$$

где Φ – заработная плата, руб./ (чел.мес.),

$n_{\text{соц}}$ = отчисления на социальные страхования,

$$I_{\text{зн}} = 24 \cdot 50 \cdot 1,3 = 1560 \text{ тыс.руб} / \text{год}.$$

Стоимость производства текущих ремонтов оборудования:

$$I_{\text{тр}} = 0,2 \cdot I_{\text{ам}}$$

$$I_{\text{тр}} = 0,2 \cdot 3897 = 779,4 \text{ тыс.руб} / \text{год}.$$

Затраты на электроэнергию, потребляемую котельной:

$$I_{\text{эл}} = C_3 \cdot \mathcal{E}_{\text{год}} \cdot 10^{-2},$$

где C_3 – тариф за потребляемую энергию, коп/кВт ч,

$$I_{\text{эл}} = 4,76 \cdot 11613713 \cdot 10^{-2} = 55851 \text{ тыс.руб} / \text{год}.$$

Стоимость потребления воды:

$$I_{\text{в}} = D_{\text{св}}^{\text{год}} \cdot C_{\text{в}}.$$

$$I_{\text{в}} = 22860 \cdot 33,76 = 771,7 \text{ тыс.руб} / \text{год}.$$

Стоимость вспомогательных материалов:

$$I_{\text{вм}} = 0,04 \cdot I_{\text{тр}}.$$

$$I_{\text{вм}} = 0,04 \cdot 1518 = 31,17 \text{ тыс.руб} / \text{год}.$$

Прочие общекотельные расходы:

$$I_{\text{пр}} = 0,03 \cdot (I_{\text{топ}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{тр}} + I_{\text{зн}} + I_{\text{эл}} + I_{\text{в}} + I_{\text{вм}})$$

$$I_{\text{пр}} = 0,03 \cdot (43481 + 3897 + 1560 + 779 + 55851 + 771 + 31,17) = 3074 \text{ тыс.руб} / \text{год}.$$

Суммарные эксплуатационные затраты:

$$I_{\Sigma} = I_{\text{топ}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{тр}} + I_{\text{зн}} + I_{\text{эл}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{вм}}.$$

$$I_{\Sigma} = (43481 + 3897 + 1560 + 779 + 55851 + 771 + 31,17) = 102478 \text{ тыс.руб} / \text{год}.$$

Себестоимость отпущенной теплоты:

$$S_Q^{\text{нетто}} = \frac{I_{\Sigma}}{Q_{\text{отп}}^{\text{год}}}.$$

$$S_Q^{\text{нетто}} = \frac{102478}{195565} = 524 \text{ руб} / \text{ГДж}.$$

В том числе топливная составляющая:

$$S_{\text{топ}} = \frac{I_{\text{топ}}}{Q_{\text{отп}}}.$$

$$S_{\text{топ}} = \frac{403481}{195565} = 222 \text{ руб / ГДж}.$$

КПД нетто котельной:

$$\eta_{\text{кот}}^{\text{нетто}} = \frac{10^5 \cdot Q_{\text{отп}}^{\text{год}}}{B_y^{\text{год}} \cdot Q_{\text{н(у)}}^p}.$$

$$\eta_{\text{кот}}^{\text{нетто}} = \frac{10^5 \cdot 195565}{7586 \cdot 29300} = 87,9\%.$$

Удельный расход условного топлива на 1 ГДж отпущенной теплоты:

$$B_Q^{\text{нетто}} = \frac{3410}{\eta_{\text{кот}}^{\text{нетто}}}.$$

$$B_Q^{\text{нетто}} = \frac{3410}{87,9} = 38,7 \text{ кг у.т. / ГДж}.$$

Выручка от реализации тепловой энергии (без учета суммарных эксплуатационных затрат):

$$BP = T_3 \cdot Q_{\text{год.отп.}}$$

где T_3 - тариф на тепловую энергию, руб/ГДж, $T_3 = 643,9 \text{ руб/ГДж}$.

$$BP = 643,9 \cdot 195565 = 125927 \text{ тыс.руб / год}.$$

Прибыль от реализации отпуска тепловой энергии:

$$П = BP - \sum И$$

$$П = 125927 - 102478 = 23448 \text{ тыс.руб / год}.$$

Срок окупаемости котельной:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{П}$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{79053}{23448} = 3,37 \text{ года}.$$

Технико-экономические показатели работы котельной сведены в таблицу 5.

Таблица №5 - Результаты расчета технико-экономических показателей

Показатель	Величина
Производительность котельной, МВт	7,91
КПД котельной нетто, %	88,0
Число часов использования установленной мощности в год ч/год	7055,02382
Капитальные вложения на строительство котельной, тыс.руб.	79053,3
Годовая выработка теплоты котельной, ГДж/год	200780,3
Отпуск теплоты потребителям, ГДж/год	200780,3
Численность обслуживающего персонала котельной, чел.	2
Суммарные годовые эксплуатационные расходы, тыс. руб/год	102478,9
Себестоимость отпущенной теплоты, руб./ГДж	524,0
Прибыль от реализации тепловой энергии, тыс.руб.	23448,3
Срок окупаемости котельной, года	3,3

Заключение

В ходе курсового проектирования я ознакомился с методикой расчета отопительных котельных.

Спроектирована отопительная котельная с тремя котлами ТТ-50 с тепловой мощностью каждого котла 1,74 МВт каждый (5 шт).

Мною были рассчитаны:

- объемы и энтальпии продуктов сгорания и воздуха;
- тепловой баланс котла, газозвоздушного тракта котельной;
- подобрана дымовая труба высотой 18 м и диаметром 0,5 м, обеспечивающая условие естественной тяги и рассеивание вредных окислов азота;
- КПД котла 93%, расход топлива одним котлом 0,0505 м³/с.

Производственный расчет тепловой схемы котельной позволил определить расход воды в характерных узлах и подобрать марки установленного в котельной оборудования:

Водоподготовительную установку ВПУ - 3М-0,1;

Сетевые насосы К-45/30;

Рециркуляционные насосы К20/18;

Гидромагнитные системы преобразования солей жесткости ГМС 100 и ГМС 20.

Грязевик ГТП -200-2,5 диаметром 200мм.

Фильтр ФММ 20.

Расчет технико - экономических показателей работы котельной показал, что котельная приносит прибыль от реализации тепловой энергии и окупается за 3,3 года.

Список литературы

1. Стрельников В.А. Отопительные котельные: методические указания к выполнению курсового проекта для студентов направления подготовки 270800.62 Строительство /сост. В.А. Стрельников, О.Г. Брюнина. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». 2013.60 с.
2. Стрельников В.А. Тепловой расчет котельных агрегатов малой мощности: Методич. Указание к выполнению курсовой работы для студентов очной и заочной форм обучения специальности (направления подготовки) 270800.62 «Строительство» / В.А. Стрельников, О.Г. Брюнина, Д.С. Катков. – Саратов: Издательство «КУБиК», 2013.-60 с.
3. СП 89.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 11-35-76 Котельные установки.
4. СП 131.13330.2020- Строительная климатология.

Годовой график выработки теплоты

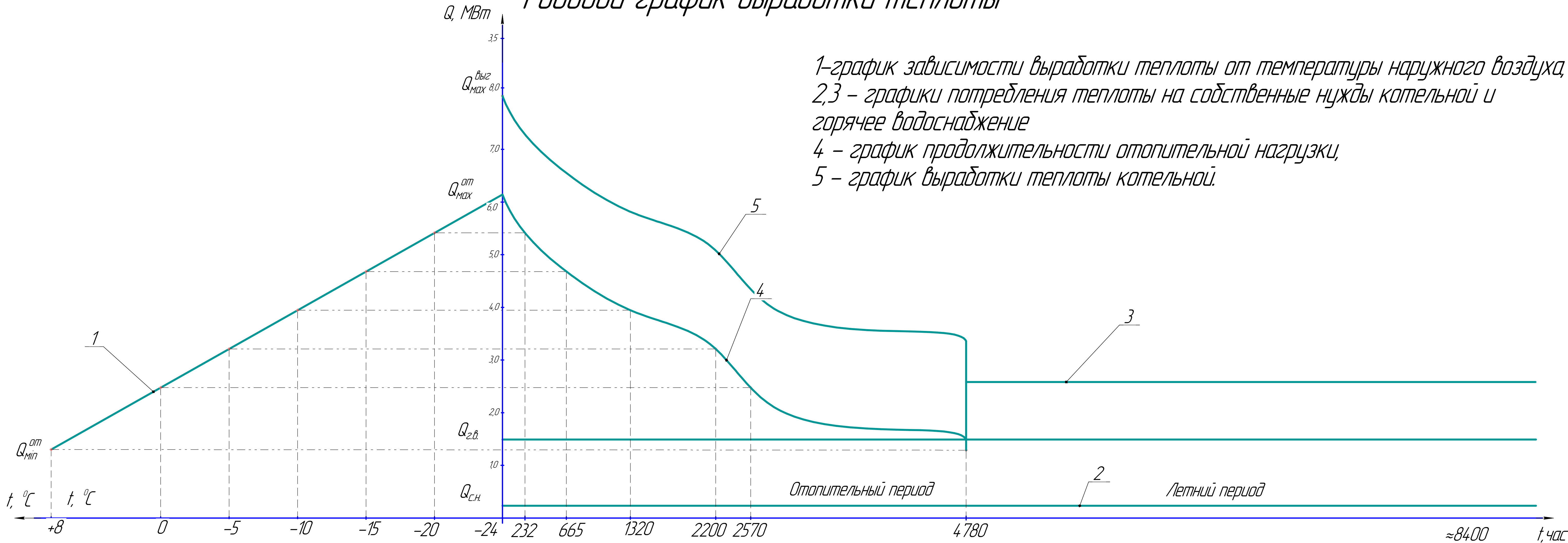
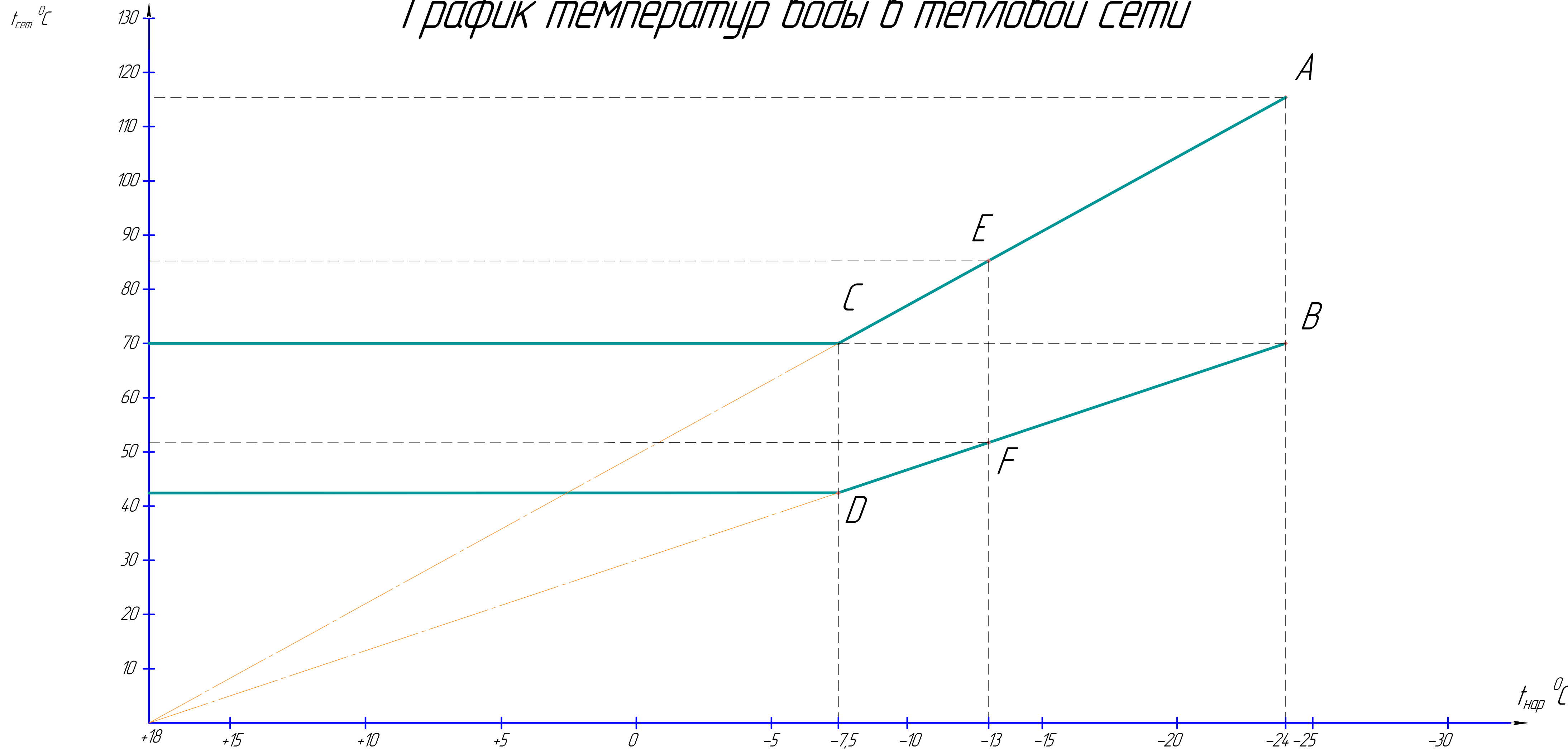
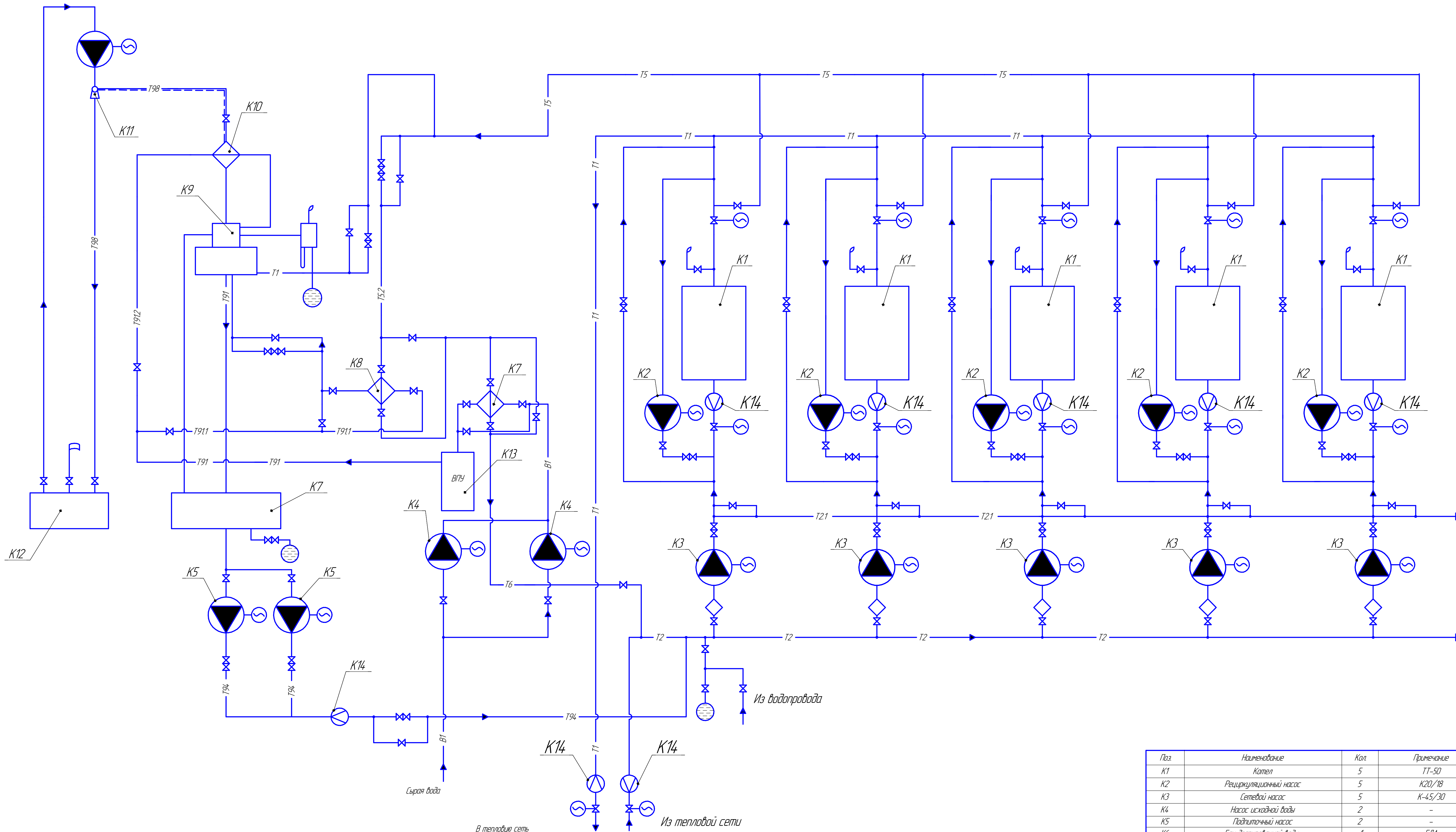


График температур воды в тепловой сети



Изм. № 1
Дата
Лист
Всего листов



Обозначения трубопроводов

- T1 –подающий трубопровод системы отопления, вентиляции и ГВС
T2 –обратный трубопровод системы отопления, вентиляции и ГВС
T5 –подающий трубопровод горячей воды для технологических процессов
T6 –обратный трубопровод горячей воды для технологических процессов
T91 –трубопровод питательной воды
T94 –трубопровод подпиточной воды
T98 –трубопровод паровоздушной смеси
B1 –трубопровод исходной воды

Поз.	Наименование	Кол.	Примечание
K1	Котел	5	ТТ-50
K2	Рециркуляционный насос	5	K20/18
K3	Сетевой насос	5	K-45/30
K4	Насос исходной воды	2	-
K5	Подпиточный насос	2	-
K6	Бак деаэрированной воды	1	БДА
K7	Теплообменник сырой воды	1	ВВП 57-4000-10-СТ-13.1
K8	Теплообменник химически очищенной воды	1	ВВП
K9	Деаэратор	1	ДА-5
K10	Охладитель выпара	1	ОВА
K11	Водоструйный эжектор	1	ВЭж
K12	Бак рабочей воды	1	БАГВ
K13	Водоподготовительная установка	1	ВПУ-ЗМ-0.1
K14	Расходомер	7	РСТ

ФГБОУ ВО Вавилонский университет Б-СТ.301.013.002						Отопительная котельная			Стандия	Масса	Масштаб
Изм.	Колуч.	Лист	М'а'ж.	Подп.	Дата	Разработал	Михенский С.А.	Проверил	Мухомова О.В.	Лист	Листов
К17						2			Кафедра "Технология и строительство в АПК"		
Схема тепловая						Формат			А1		