

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Соловьев Дмитрий Александрович
Должность: ректор ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ
Дата подписания: 26.04.2021 16:15:53
Уникальный программный ключ:
5b8335c1f3d6e7bd91a51b28834cdf2b81866538

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»**

**Методические указания по выполнению курсовых проектов
по дисциплине «Эксплуатация котельных установок,
парогенераторов и энергетического оборудования»**

Направление подготовки:
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Направленность (профиль)
Энергообеспечение предприятий

Квалификация выпускника:
Бакалавр

САРАТОВ 2019

Методические указания по выполнению курсовых проектов по дисциплине «Эксплуатация котельных установок, парогенераторов и энергетического оборудования» для направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника / Сост.: И.Н. Попов // ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ» – Саратов, 2019. – 36 с.

Курсовой проект направлен на формирование у обучающихся навыков по наладке систем теплоснабжения, оптимизации режимов отпуска теплоты теплогенерирующими установками.

Методические указания содержат методики расчета тепловых потоков на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых районов и промышленного предприятия, приводится расчет и построение температурных графиков регулирования тепловой нагрузки на отопление и вентиляцию; методику расчета тепловой схемы котельной. В процессе работы над проектом обучающийся получает навыки практического применения теоретических знаний и решения комплексных инженерных задач по режимам работы централизованного теплоснабжения.

ВВЕДЕНИЕ

Для закрепления знаний теоретических основ централизованного теплоснабжения, практического их применения и приобретение навыков пользования ГОСТами, СНиПами, справочниками, учебной и научной литературой в разрезе дисциплины «Эксплуатация котельных установок, парогенераторов и энергетического оборудования» предусмотрен курсовой проект.

В объеме курсового проекта студенты выполняют расчет и построение температурных графиков регулирования тепловой нагрузки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение; составление и расчет тепловой схемы котельной. Методические указания содержат методики расчета тепловых потоков на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых районов и промышленного предприятия, расчета и построения температурных графиков регулирования тепловой нагрузки на отопление и вентиляцию, расчета тепловой схемы котельной. Приводятся правила оформления расчетно-пояснительной записки и графической части курсового проекта.

1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Текстовый материал пояснительной записки выполняется машинописным способом в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-2001 ЕСКД «Общие требования к текстовым документам» на одной стороне листа формата А4 (210 × 297 мм) с рамкой и основной надписью в соответствии с ГОСТ 2.104-2006 по форме 2 (40 × 185 мм) для заглавного листа и по форме 2а (15 × 185 мм) – для последующих листов. Шрифт машинописи в компьютерном наборе «Times New Roman», начертание «обычный», размер «14», междустрочный интервал «полусторонний».

При оформлении текста пояснительной записки от рамки формы текстового документа до границ текста следует оставлять: в начале строк не менее 5 мм, в конце строк не менее 3 мм. Расстояние от верхней или нижней строки текста до рамки формы должно быть не менее 10 мм. Каждый абзац начинают, отступая 12,5 мм от левой границы текста.

Каждый раздел работы должен начинаться с новой страницы. Подразделы следуют друг за другом без вынесения последующего на новую страницу, за исключением случая, когда подраздел начинается внизу страницы, а после заголовка на странице остается менее двух-четырех строк основного текста. В структуру пояснительной записки могут быть введены пункты и подпункты. Каждый подраздел должен отступать от предыдущего текста на 15 мм. Расстояния между заголовком раздела и последующим заголовком подраздела должно составлять 10 мм.

Разделы должны иметь сквозную нумерацию в пределах всей записки и обозначаться арабскими цифрами без точки. Исключение составляют разделы «Содержание», «Введение», «Заключение», «Список литературы» и «Приложения», которые не нумеруются. Если документ имеет подразделы, то нумерация подразделов должна быть в пределах раздела, а нумерация пункта должна состоять из номеров раздела, подраздела и пункта, разделенных точками. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Все листы записки должны быть последовательно пронумерованы проставлением номера в соответствующую графу основной надписи каждого листа. Нумерация листов должна быть сквозной от титульного листа до последнего.

Графическая часть курсовой работы состоит из 2 листов формата А1, с основной надписью по форме 1 (55 × 185 мм) на которых представляются температурный график регулирования тепловой нагрузки котельной и развернутая тепловая схема котельной.

2 ПЛАН И КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГЛАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект выполняется на тему «Оптимизация режимов работы теплогенерирующих установок систем теплоснабжения» и состоит из текстовой и графической частей. Текстовая часть включает в себя пояснительную записку по расчетной и графической части работы.

Пояснительная записка курсового проекта содержит:

- Титульный лист
- Задание
- Содержание
- Введение
- Расчетная часть
- Заключение

- Список литературы
- Приложения

Титульный лист является первым листом пояснительной записки и включает наименование министерства, университета, факультета и кафедры, наименование курсового проекта, подписи преподавателя и студента.

Задание на выполнение курсового проекта выдается каждому студенту по форме приведенной в приложении. Бланк задания заполняется данными индивидуального варианта, подписывается руководителем и утверждается заведующим кафедрой.

3 ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Задачи проектирования

Курсовой проект выполняется в соответствии с заданием, составленным на основе расчетных данных сквозного проектирования, которые формируются с участием обучающихся, на основе предварительных расчетных данных полученных ими после составления расчетного перечня потребителей тепловой энергии по результатам прохождения преддипломной практики или выданных руководителем курсового проекта.

В работе предусматривается двухтрубная водяная система теплоснабжения, источником теплоты является котельная.

Для получения расчетных данных о суммарных тепловых нагрузках необходимы следующие исходные данные: объем (либо площадь) отапливаемых зданий или тепловые потоки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение; район расположения и его расчетные климатические характеристики; а также температурный режим отпуска теплоты; система теплоснабжения (открытая, закрытая) и схема присоединения систем отопления (зависимая, независимая).

1. Определение тепловых нагрузок источника теплоснабжения

Для проектирования источника теплоснабжения необходимо просуммировать тепловые нагрузки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение объектов теплоснабжения.

Максимальные тепловые потоки на отопление $Q_{o\max}$, вентиляцию $Q_{v\max}$ и горячее водоснабжение $Q_{h\max}$ жилых, общественных и производственных зданий следует принимать по соответствующим проектам. При отсутствии проектных значений тепловые потоки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение определяются по следующим выражениям, Вт:

Максимальный тепловой поток на отопление:

для жилых и общественных зданий

$$Q_{o\max} = q_0 \cdot A \cdot (1 + K_1), \quad (1)$$

для любых зданий при известных наружных объемах

$$Q_{o\max} = q_{om} \cdot V_{зд} (t_g - t_{нро}) \cdot \alpha, \quad (2)$$

Максимальный тепловой поток на вентиляцию:
для жилых и общественных зданий

$$Q_v^{общ} = q_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot A, \quad (3)$$

для любых зданий при известных наружных объемах

$$Q_{vmax} = q_e \cdot V_{зд} \cdot (t_e - t_{нрв}), \quad (4)$$

Средний тепловой поток на горячее водоснабжение
для жилых и общественных зданий

$$Q_{hm} = \frac{1,2 \cdot m \cdot (a + b) \cdot (t_{ze} - t_c)}{24 \cdot 3,6}, \quad (5)$$

для любых зданий при известных тепловых потоках на горячее водоснабжение на одну единицу потребления

$$Q_{hm} = q_h \cdot m, \quad (6)$$

Максимальный тепловой поток на горячее водоснабжение

$$Q_{hmax} = \beta \cdot q_h \cdot m, \quad (7)$$

где $q_0, \frac{Bm}{M^2}$, $q_{om}, \frac{Bm}{M^3}$ - удельный показатель теплового потока на отопление (определяется в зависимости от типа отапливаемого здания);

$q_h, \frac{Bm}{ед.}$ - удельный показатель теплового потока на горячее водоснабжение;

α - поправочный коэффициент к величине q_{om} ;

a - норма расхода воды на горячее водоснабжение при температуре t_{ze} , на одного человека в сутки, л (при $t_{ze} = 55^{\circ}C$);

b - норма расхода воды на горячее водоснабжение, потребляемой в общественных зданиях, л (при $t_{ze} = 55^{\circ}C$);

t_{ze} - температура горячей воды в системе горячего водоснабжения;

t_c - температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период (при отсутствии данных принимается равной $5^{\circ}C$);

K_1 - коэффициент, учитывающий тепловой поток на отопление общественных зданий; при отсутствии данных K_1 следует принимать равным 0,25;

K_2 - коэффициент, учитывающий тепловой поток на вентиляцию общественных зданий; при отсутствии данных K_2 следует принимать равным 0,6;

A - общая площадь отапливаемых помещений, m^2 ;

m - количество расчетных единиц потребления;

β - коэффициент часовой неравномерности потребления горячей воды. Определяется в соответствии с нормами технологического проектирования для соответствующей отрасли (для бытовых нагрузок принимается 2,4).

1.1 Определение суммарного теплового потока

Суммарный тепловой поток Q_{Σ} , определяем суммированием расчётных тепловых потоков на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, Вт

$$Q_{\Sigma} = Q_o^{om} + Q_v^{om} + Q_{hm} \quad (8)$$

Среднечасовой тепловой поток за отопительный период
на отопление:

$$Q_o^{om} = Q_{o\max} \cdot \left(\frac{t_g - t_n}{t_g - t_{нро}} \right), \quad (9)$$

на вентиляцию:

$$Q_v^{om} = Q_{v\max} \cdot \left(\frac{t_g - t_n}{t_g - t_{нрв}} \right), \quad (10)$$

на горячее водоснабжение жилого района в неотапливаемый период:

$$Q_{hm}^s = \delta \cdot Q_{hm} \cdot \left(\frac{55 - t_c^s}{55 - t_c} \right), \quad (11)$$

где t_g - средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий (определяется по назначению здания);

t_n - средняя температура наружного воздуха за период со среднесуточной температурой воздуха 8°C и менее (отапливаемый период), $^{\circ}\text{C}$;

$t_{нро}$ - расчетная температура наружного воздуха для отопления, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{нрв}$ - расчетная температура наружного воздуха для вентиляции, $^{\circ}\text{C}$;

t_c - температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период (при отсутствии данных принимается равной 5°C);

t_c^s - температура холодной (водопроводной) воды в неотапливаемый период (при отсутствии данных принимается равной 15°C);

δ - коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотапливаемый период (при отсутствии данных принимается для жилищно-коммунального сектора равным 0,8, для предприятий - 1,0).

Величины t_n , $t_{нро}$, $t_{нрв}$ являются климатическими данными для района, в котором располагается рассчитываемая котельная (определяются по заданию).

1.2 Построение годового графика тепловой нагрузки

Для построения часовых графиков расходов теплоты на отопление и вентиляцию используют два значения тепловых потоков: максимальные $Q_{o\max}$ и $Q_{v\max}$, определенные при температурах наружного воздуха $t_{нро}$, $t_{нрв}$.

Для построения годового графика по месяцам, используя среднемесячные температуры наружного воздуха определяют по формулам (10) и (11) тепловые потоки на отопление и вентиляцию для каждого месяца отопительного периода.

Среднечасовой расход на горячее водоснабжение рассчитывается для двух случаев – для отопительного и неотопительного периодов. График среднечасового расхода теплоты на горячее водоснабжение не зависит от температуры наружного воздуха, и будет представлять собой прямую, параллельную оси абсцисс с ординатой Q_{hm} для отопительного периода и с ординатой Q_{hm}^s для неотопительного периода.

Суммируя ординаты часовых графиков по отдельным видам теплопотребления, строят суммарный часовой график расходов теплоты Q_{Σ} .

Расчёты среднечасовых расходов теплоты сводим в таблицу 1.1. Суммарный тепловой поток для каждого месяца отопительного периода определяется как сумма тепловых потоков на отопление, вентиляцию и среднечасового теплового потока для данного периода на горячее водоснабжение.

Для неотопительного периода (при $t_n \geq +8^{\circ}C$), суммарный тепловой поток будет равен среднечасовому тепловому потоку на горячее водоснабжение в данный период, Q_{hm}^s .

Используя полученные данные, строят годовой график теплового потребления по месяцам (см. рисунок 1.1)

Таблица 1.1 - Среднечасовые расходы теплоты по месяцам года

Среднечасовые расходы теплоты по месяцам, МВт	Среднемесячные температуры наружного воздуха, °С											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_0												
Q_v												
$Q_{hm} (Q_{hm}^s)$												
Q_{Σ}												

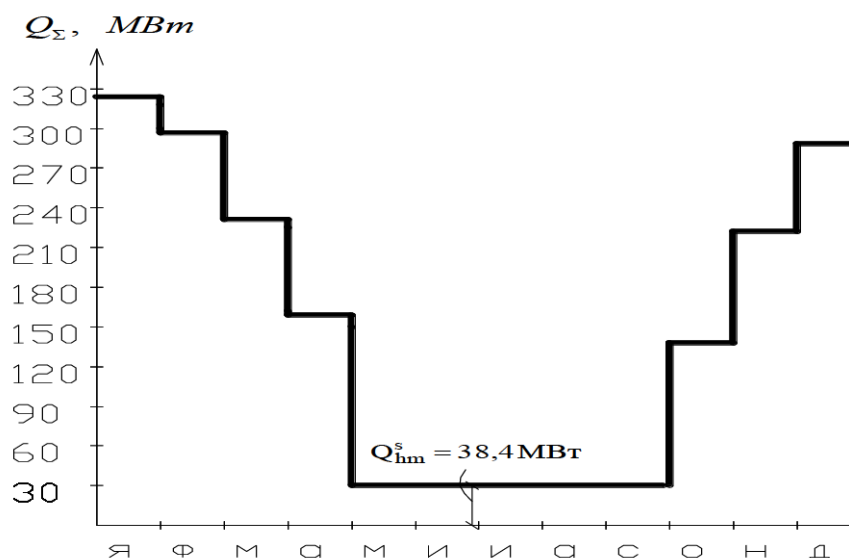


Рисунок 1.1 - Годовой график теплового потребления по месяцам

2 Регулирование отпуска теплоты в источниках теплоснабжения

Основной задачей регулирования отпуска теплоты в системах теплоснабжения является обеспечение требуемой тепловой нагрузки на отопление при изменяющихся в течении отопительного сезона внешних климатических условиях и заданной температуры воды, поступающей в систему горячего водоснабжения при изменяющемся расходе этой воды. Выбор метода регулирования определяется типом преобладающей нагрузки, схемами присоединения потребителей к тепловым сетям, расход топлива в источнике теплоснабжения и т.д.

Центральное качественное регулирование

Центральное регулирование ведётся по типовой тепловой нагрузке, характерной для большинства абонентов. Такой нагрузкой может быть как один вид нагрузки, например отопление, так и два разных вида при определенном их количественном соотношении, например отопление и горячее водоснабжение при определенном количественном отношении расчетных значений этих нагрузок, определенном по формуле

$$\mu = \frac{Q_{\text{hm}}}{Q_{\text{оmax}}} \quad (12)$$

Центральное качественное регулирование по нагрузке отопления целесообразно в случае, если тепловая нагрузка на горячее водоснабжение составляет менее 15 % от суммарной максимальной нагрузки на отопление при отношении ($\mu < 0,15$).

Регулирование по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения целесообразно в системах теплоснабжения при соотношении среднечасового расхода теплоты на горячее водоснабжение к расчетному расходу теплоты на отопление, лежащего в пределах от 15 до 30 % ($\mu = 0,15 \dots 0,30$).

2.1 Центральное качественное регулирование по нагрузке отопления

При таком способе регулирования, для **зависимых схем** присоединения элеваторных систем отопления (в закрытых и открытых системах) температуру воды в подающей τ_{01} и обратной τ_{02} магистралях, а так же после элеватора τ_{03} в течение отопительного периода определяют по следующим выражениям

$$\tau_{01} = t_e + \Delta t \cdot \bar{Q}_o^{0,8} + (\Delta \tau - 0,5\Theta) \cdot \bar{Q}_o, \quad (13)$$

$$\tau_{02} = t_e + \Delta t \cdot \bar{Q}_o^{0,8} - 0,5\Theta \cdot \bar{Q}_o, \quad (14)$$

$$\tau_{03} = t_e + \Delta t \cdot \bar{Q}_o^{0,8} + 0,5\Theta \cdot \bar{Q}_o, \quad (15)$$

где Δt - расчетный температурный напор нагревательного прибора, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta \tau$ - расчетный перепад температур сетевой воды в тепловой сети, $^{\circ}\text{C}$;

Θ - расчетный перепад температур сетевой воды в местной системе отопления, $^{\circ}\text{C}$;

\bar{Q}_o - относительный расход теплоты на отопление.

Относительный расход теплоты на отопление, при температуре наружного воздуха t_n определяется по формуле

$$\bar{Q}_o = \frac{Q_o^{omt_H}}{Q_{o_{max}}}; \quad (16)$$

Расчетный температурный напор нагревательного прибора, $^{\circ}\text{C}$, определяется по формуле

$$\Delta t = \frac{\tau_3 + \tau_2}{2} - t_e, \quad (17)$$

где τ_3 и τ_2 - расчетные температуры воды соответственно после элеватора и в обратной магистрали тепловой сети определенные при $t_{нpo}$. Температуру теплоносителя для систем внутреннего теплоснабжения (в соответствии с СП 60.13330.2012) следует принимать, как правило, не более 95°C (как правило, $\tau_3 = 95^{\circ}\text{C}$; $\tau_2 = 70^{\circ}\text{C}$);

Расчетный перепад температур сетевой воды в тепловой сети, $^{\circ}\text{C}$, определяется по формуле

$$\Delta \tau = \tau_1 - \tau_2, \quad (18)$$

где τ_1 - расчетная температура воды в подающей магистрали тепловой сети определенные при $t_{нpo}$, $^{\circ}\text{C}$.

Расчетный перепад температур сетевой воды в местной системе отопления, $^{\circ}\text{C}$, определяется по формуле

$$\Theta = \tau_3 - \tau_2. \quad (19)$$

Задаваясь различными значениями температур наружного воздуха t_n (обычно $t_n = +8; 0; -10; t_{нpv}; t_{нpo}$) определяют $\tau_{01}; \tau_{02}; \tau_{03}$ и строят отопительный график температур воды (см. рисунок 2.1). Эти графики для $t_e = 18^{\circ}\text{C}$, приведены на рисунке 2.2.

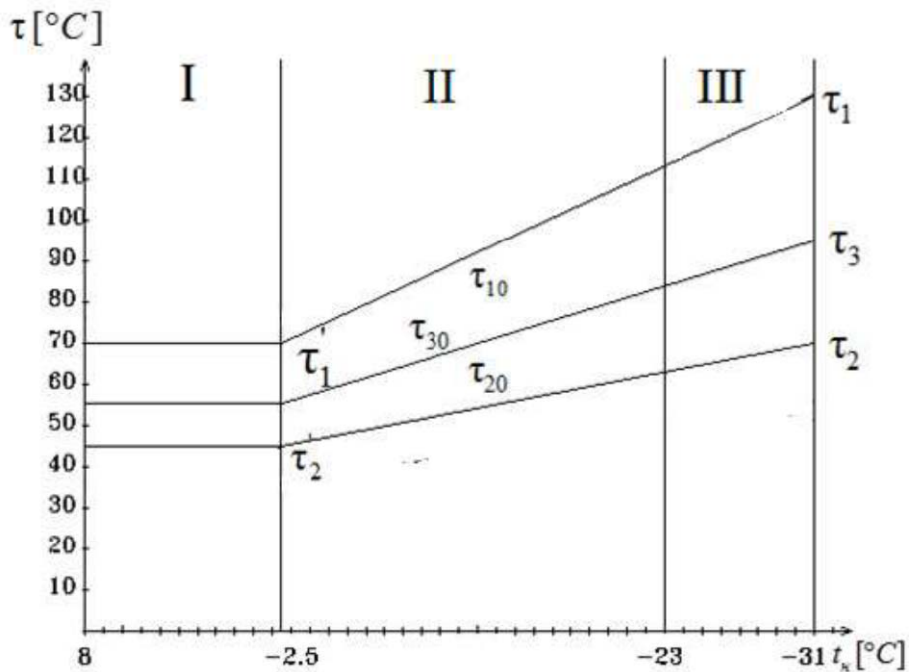
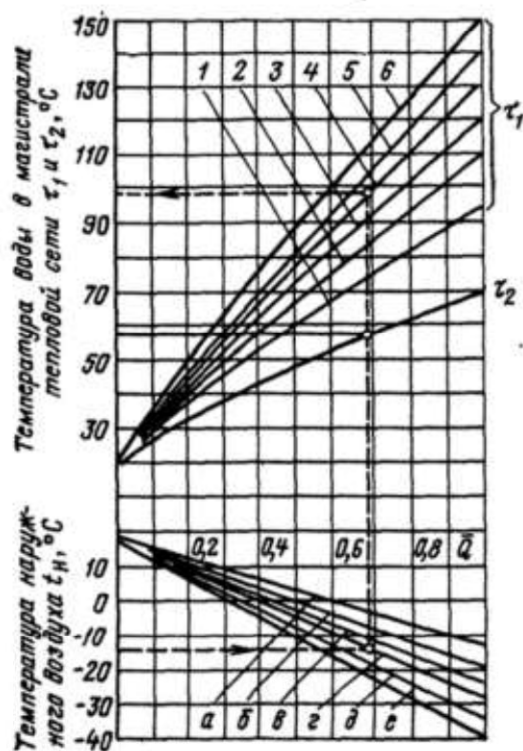


Рисунок 2.1 – График качественного регулирования



Температурный график качественного регулирования тепловой нагрузки

$\bar{Q}_0 = Q_0 / Q'_0$ — отношение тепловой нагрузки при температуре t_n к максимальной тепловой нагрузке при расчетной температуре t'_n ; $\delta\tau' = \tau'_1 - \tau'_2$ — расчетный перепад температур в тепловой сети при наружной температуре t'_n ;

№ кривой . . .	1	2	3	4	5	6
$\delta\tau'$, °C	25	40	50	60	70	80
№ кривой . . .	а	б	в	г	д	е
t'_n , °C	-15	-20	-25	-30	-35	-40

\bar{Q}_0	Температура воды в подающей линии при $\delta\tau'$, °C						$\tau_{2,0}$, °C
	25	40	50	60	70	80	
0,2	38,3	41,3	43,3	45,3	47,3	49,3	33,8
0,4	54,0	60,0	64,0	68,0	72,0	76,0	44,0
0,6	88,5	77,5	83,5	89,5	95,6	105,0	53,5
0,8	92,0	94,0	102,0	110,0	118,0	126,0	62,0
1,0	95,0	100,0	120,0	130,0	140,0	150,0	70,0

Рисунок 2.2 – Температурный график качественного регулирования тепловой нагрузки

Для корректного построения температурных графиков центрального регулирования для системы теплоснабжения в осях t_n и τ целесообразно все расчеты этого раздела свести в таблицу (см. таблицу 2.1).

Таблица 2.1 - Расчет графика качественного регулирования тепловой нагрузки для зависимых схем присоединения систем отопления

t_n	τ_{01}	τ_{02}	τ_{03}	\bar{Q}_0	Q'_0
+8					
t'_n					
-10					
t_{npv}					
t_{npo}					

При **центральном качественном регулировании по нагрузке отопления**, для **независимых схем** присоединения систем отопления температуру воды в подающей τ_{T1} и обратной τ_{T2} магистральных тепловой сети, при соответствующих расчетных температурах во вторичном контуре τ_{01}, τ_{02} определенных по формулам (13, 14) при $\Delta\tau = \Delta\tau^M = \Theta$, в течение отопительного периода определяют по следующим выражениям:

$$\tau_{T1} = \tau_{01} + \Delta \tau^M \cdot \left(\frac{\Delta \tau^T}{\Delta \tau^M} \frac{1}{\varepsilon_T} - 1 \right) \cdot \bar{Q}_o; \quad (20)$$

$$\tau_{T2} = \tau_{02} + \Delta \tau^T \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_T} - 1 \right) \cdot \bar{Q}_o, \quad (21)$$

где G_o^T/G_o^M - отношение расходы сетевой воды на отопление в тепловой сети к расходу воды на отопление во вторичном контуре (выбирается в зависимости от типа отопительного теплообменного аппарата);

$\Delta \tau^T$ - расчетный перепад температур сетевой воды в магистрали тепловой сети, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta \tau^M$ - расчетный перепад температур во вторичном контуре системы отопления, $^{\circ}\text{C}$;

ε_T - коэффициент эффективности отопительного теплообменника (определяется в зависимости от выбранного типа аппарата).

Перепады температуры сетевой воды в магистрали тепловой сети и во вторичном контуре системы отопления определяют соотношение G_o^T/G_o^M - отношение расходы сетевой воды на отопление в тепловой сети к расходу воды на отопление во вторичном контуре (и определяет характеристики отопительного теплообменного аппарата).

Коэффициент эффективности водо-водяного теплообменного аппарата для условий его работы в качестве отопительного при противоточном движении теплоносителей определяется из уравнения

$$\varepsilon_T = \frac{Q_o}{(\tau_{T1} - \tau_{02})W_m}, \quad (22)$$

где W_m - меньшее значение тепловых эквивалентов расходов теплоносителей. Определяется произведением массового расхода теплоносителя на его удельную теплоемкость $W = G \cdot c$.

Для построения температурных графиков центрального регулирования для системы теплоснабжения в осях t_n и τ все расчеты этого раздела сводятся в таблицу (см. таблицу 2.2).

Таблица 2.2 - Расчет графика качественного регулирования тепловой нагрузки для независимых схем присоединения систем отопления

t_n	τ_{T1}	τ_{T2}	τ_{01}	τ_{02}	\bar{Q}_o	Q_o^H
+8						
t_n'						
-10						
t_{npv}						
$t_{нpo}$						

Определение условий подрезки температурного графика

В соответствии со СНиП 2.04.01-85 температура горячей воды в местах водоразбора должна быть не ниже 60°C при открытой и 50°C при закрытой системах теплоснабжения.

Для удовлетворения нагрузки горячего водоснабжения с учетом снижения температуры воды в местных коммуникациях горячего водоснабжения и перепада

температур между греющей и нагреваемой водой в подогревателях горячего водоснабжения температура воды в подающей магистрали τ_{o1} равной или выше 65°C как в открытых, так и закрытых системах теплоснабжения. Для этого отопительный график спрямляется на уровне указанных температур.

Температура наружного воздуха, соответствующая точке излома графиков температур воды t_n , делит отопительный период на диапазоны с различными режимами регулирования:

- в диапазоне I с интервалом температур наружного воздуха от $+8^{\circ}\text{C}$ до t_n' осуществляется групповое или местное регулирование, задачей которого является недопущение "перегрева" систем отопления и бесполезных потерь теплоты;

- в диапазонах II и III с интервалом температур наружного воздуха от t_n' до $t_{про}$ осуществляется центральное качественное регулирование.

2.2 Регулирование по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения

Если в системе теплоснабжения соотношение среднечасового расхода теплоты на горячее водоснабжение к расчетному расходу теплоты на отопление, лежит в пределах от 15 до 30 %, то в таких системах регулирование производится по повышенному (скорректированному) графику температур воды. В закрытых системах теплоснабжения эффективность повышенного графика реализуется при применении двухступенчатой смешанной с ограничением расхода и последовательной схемах включения водоподогревателей.

Расчет повышенного графика для закрытых систем теплоснабжения

В закрытых системах теплоснабжения системы отопления присоединяют как по зависимой, так и по независимой схеме (см. рисунок 2.3а, 2.3б)

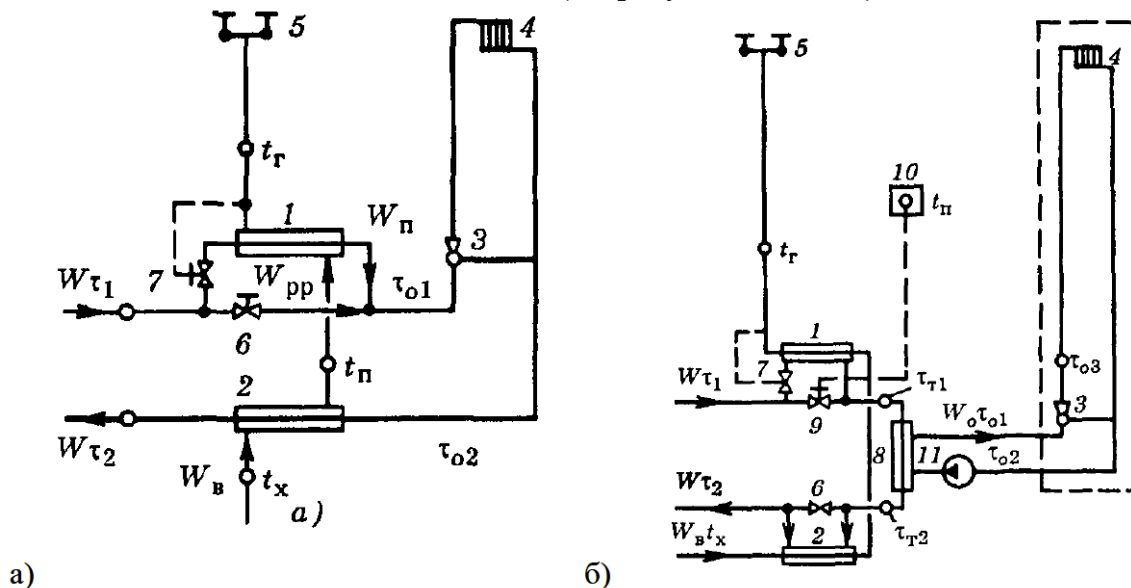


Рисунок 2.3 - Зависимая и независимая схемы присоединения систем отопления в СТЗ:

1 – подогреватель верхней ступени; 2 – подогреватель нижней ступени; 3 – элеватор; 4 – отопительный прибор; 5 – водоразборный кран; 6 – регулятор расхода; 7 – регулятор температуры горячей воды; 8 – насос; 9 – подогреватель отопительный; 10 – регулятор ограничитель расхода.

Для корректировки графика температур воды определяется балансовая нагрузка горячего водоснабжения Q_{lm}^6 , несколько превышающей среднюю

$$Q_{lm}^6 = \alpha \cdot Q_{lm} \quad (22)$$

где α - балансовый коэффициент, для компенсации небаланса теплоты на отопление, вызываемого неравномерностью суточного графика горячего водоснабжения. При преобладании санитарно-бытовых нагрузок принимается ориентировочно $\alpha = 1,2$.

Суммарный перепад температур сетевой воды в верхней и нижней ступенях водоподогревателей δ в течение всего отопительного периода постоянен и определяется по формуле

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \frac{Q_{lm}^6}{Q_{o\max}} \cdot (\tau_1 - \tau_2) \quad (23)$$

Перепад температуры сетевой воды в нижней ступени водоподогревателя δ_2 соответствующий температуре наружного воздуха для точки излома температурного графика t_n , а так же для всего диапазона температур наружного воздуха от $+8^\circ\text{C}$ до t_n определяют по формуле

$$\delta_2' = \delta \cdot \frac{(t_h' - t_c)}{(t_h - t_c)}, \quad (24)$$

где t_h - температура горячей воды поступающей из водоподогревателя в систему горячего водоснабжения, $^\circ\text{C}$;

t_c - температура холодной водопроводной воды перед водоподогревателем нижней ступени, $^\circ\text{C}$;

t_h' - температура водопроводной воды после водоподогревателя нижней ступени, $^\circ\text{C}$.

Для закрытых систем теплоснабжения и **зависимой** схеме присоединения отопления, расчет ведется по температурам нескорректированного графика τ_{01}, τ_{02} .

Температура водопроводной воды после водоподогревателя нижней ступени определяется по формуле

$$t_h' = \tau_{02}' - (5 \div 10), \quad (25)$$

где τ_{02}' - температура сетевой воды в обратной магистрали соответствующая точке излома температурного графика, $^\circ\text{C}$.

Для диапазона от t_n' до $t_{нро}$ величину δ_2 определяют по формуле

$$\delta_2 = \delta_2' \cdot \frac{\tau_{02} - t_c}{\tau_{02}' - t_c} \quad (26)$$

где τ_{02} - температура сетевой воды в обратной магистрали принимаемая по отопительному графику в соответствии с заданной температурой наружного воздуха t_n , $^\circ\text{C}$;

Температуру сетевой воды по повышенному графику в обратной магистрали $\tau_{02п}$ определяют по формуле, $^\circ\text{C}$

$$\tau_{2n} = \tau_{02} - \delta_2 \quad (27)$$

Перепад температур сетевой воды в верхней ступени водоподогревателя δ_1 определяют по формуле, $^{\circ}\text{C}$

$$\delta_1 = \delta - \delta_2 \quad (28)$$

Температуру сетевой воды в подающей магистрали τ_{1n} определяют по формуле:

$$\tau_{1n} = \tau_{01} + \delta_1 \quad (29)$$

Для корректного построения температурных графиков регулирования для закрытой системы теплоснабжения в осях t_n и τ целесообразно все расчеты этого раздела свести в таблицу (см. таблицу 2.3).

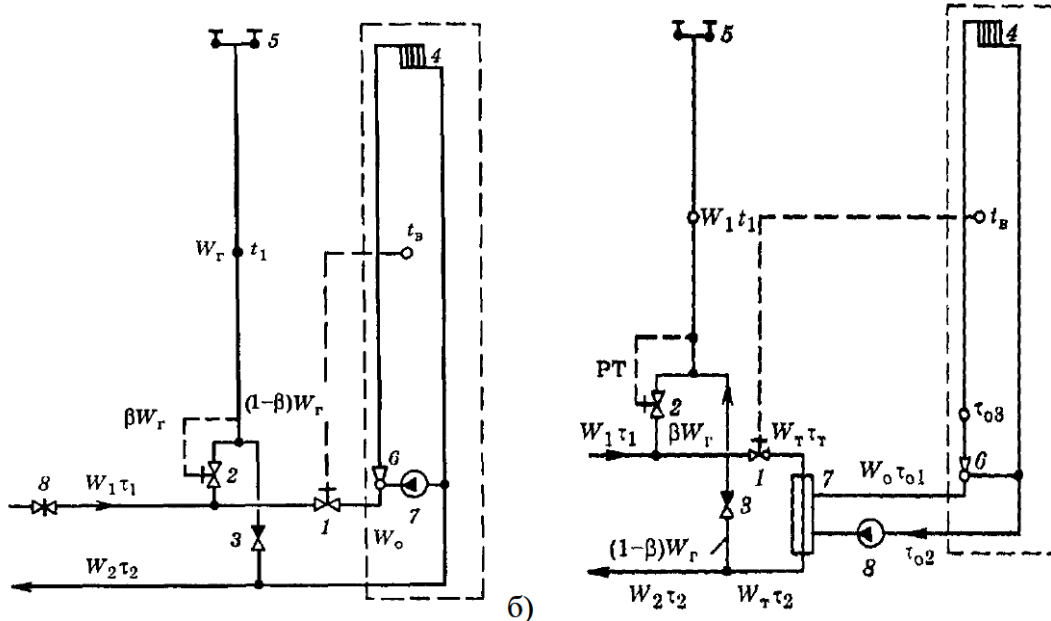
Таблица 2.3 - Расчет графиков регулирования по совмещенной нагрузке для закрытой системы теплоснабжения

t_n	τ_{1n}	τ_{2n}	τ_{01}	τ_{02}	τ_{03}	\bar{Q}_o	δ_1	δ_2
+8								
t'_n								
-10								
$t_{нрв}$								
$t_{нро}$								

Для **независимых** схем присоединения систем отопления в СТЗ, расчет ведется по температурам воды в подающей τ_{T1} и обратной τ_{T2} магистралях тепловой сети. Находят значения при температуре излома температурного графика, а далее расчет ведется в той же последовательности, что и при зависимой схеме присоединения отопительных установок, но вместо значений τ_{01}, τ_{02} при соответствующих расчетных температурах в формулах (25) – (29) подставляются значения τ_{T1}, τ_{T2} .

Расчет повышенного графика для открытой системы теплоснабжения

В открытых системах теплоснабжения системы отопления присоединяют по зависимой и независимой схемам (см. рисунок 2.4а, 2.4б)



а) б)

Рисунок 2.4 - Зависимая и независимая схемы присоединения систем отопления в СТО:

1 - регулятор отопления; 2 - регулятор температуры горячей воды; 3 - обратный затвор; 4 - отопительный прибор; 5 - водоразборный кран; 6 - элеватор.

Для **зависимых схем** присоединения элеваторных систем отопления в открытой системе теплоснабжения необходимо вначале построить графики температур, τ_{o1} , τ_{o2} , τ_{o3} для зависимых схем присоединения элеваторных систем отопления (см. формулы (13) – (15)). Температуры сетевой воды в подающей и обратной магистралях для повышенного графика, соответственно $\tau_{1п}$ и $\tau_{2п}$ в течение отопительного периода определяют по следующим выражениям:

$$\tau_{1п} = t_e + \frac{\bar{Q}_0}{\bar{G}_0} \cdot \left(\Delta\tau + \Delta t \cdot \frac{\bar{G}_0}{\bar{Q}} - 0,5\Theta \right); \quad (30)$$

$$\tau_{2п} = t_e + \frac{\bar{Q}_0}{\bar{G}_0} \cdot \left(\Delta t \cdot \frac{\bar{G}_0}{\bar{Q}} - 0,5\Theta \right), \quad (31)$$

где \bar{Q}_0 - относительный расход теплоты на отопление, определяемый по формуле (16);

\bar{G}_0 - относительный расход сетевой воды на отопление, определяемый из выражения

$$\bar{G}_0 = \frac{1 - 0,5\rho^\sigma \cdot \frac{\Theta}{t_h - t_c}}{1 + \frac{t_h - t_e}{t_h - t_c} \cdot \frac{\rho^\sigma}{\bar{Q}_0} - \frac{\Delta t}{t_h - t_c} \cdot \frac{\rho^\sigma}{\bar{Q}_0^{0,2}}}, \quad (32)$$

где ρ^σ - относительный балансовый расход теплоты на горячее водоснабжение.

$$\rho^\sigma = \frac{1,1 \cdot Q_{\text{лн}}}{Q_{\text{омакс}}} \quad (33)$$

Регулирование по повышенному графику в открытых системах осуществляется в диапазоне температур наружного воздуха $(+8 \div t_n^*)$ °С. Температура наружного воздуха t_n^* соответствует началу периода, когда температура сетевой воды в обратном трубопроводе достигает значений t_h и весь водоразбор на горячее водоснабжение в диапазоне наружных температур $(t_n^* \div t_{нро})$ °С, осуществляется только из обратного трубопровода.

Для построения температурного графика регулирования для системы теплоснабжения в осях t_n и τ все расчеты сводятся в таблицу (см. таблицу 2.4).

Таблица 2.4 - Расчет графиков регулирования по совмещенной нагрузке для открытой системы теплоснабжения

t_n	$\tau_{1П}$	$\tau_{2П}$	τ_{01}	τ_{02}	τ_{03}	Q_o^{iH}	\bar{Q}_o	\bar{G}_o
+8								
t_n'								
-10								
$t_{нрв}$								
$t_{нро}$								

Для **независимых** схем присоединения систем отопления в открытой системе теплоснабжения, температуру воды в подающей и обратной магистралях тепловой сети, при больших значениях относительной отопительной нагрузки, когда $\tau_{T2} > t_h$ (т.е. вода для горячего водоснабжения отбирается из обратной линии тепловой сети) определяют по формулам (20), (21).

При $\tau_{T2} < t_h$ расчет температуры воды в подающей и обратной линиях тепловой сети при заданной балансовой нагрузке горячего водоснабжения и различных относительных значениях отопительной нагрузки производится в следующем порядке:

– определяют относительный расход греющей воды через отопительный подогреватель, по формуле

$$\bar{G}_T = \frac{1}{F_T} \sqrt{\frac{G_T \Delta \tau^M}{G_T' \Delta \tau^T}} + \left[\frac{G_T'}{G_{hm}^0} - 1 + b \right], \quad (34)$$

$$\frac{G_T'}{G_{hm}^0} + \frac{t_h - \tau_{02}}{\Delta \tau} \frac{1}{\bar{Q}_{hm}} - a \frac{\Delta \tau^M}{\Delta \tau^T}$$

где F_T , a , b – параметры отопительного подогревателя.

Параметр F отопительного подогревателя определяют по известным данным для его расчетного режима ($Q = Q_{\text{омак}}$, $G = G_T$, $\tau_{T1}, \tau_{T2}, \tau_1, \tau_2$). Для секционных водо-водяных подогревателей $a = 0,35$, $b = 0,65$.

– находят температуру в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети по формулам (30), (31).

Задача решается методом последовательных приближений.

3 Расчет и выбор теплоэнергетического оборудования котельной

Расчет и выбор теплоэнергетического оборудования котельных выполняют для пяти характерных режимов:

- максимального зимнего – при средней температуре наружного воздуха в наиболее холодную пятидневку;
- зимнего или наиболее холодного месяца – при средней температуре наружного воздуха в наиболее холодный месяц;
- в точке излома температурного графика – при температуре наружного воздуха определяющего переход отопительного графика ниже t_h ;
- начала отопительного периода – при температуре наружного воздуха ;
- летнего – при температуре наружного воздуха, равной расчетной внутренней температуре помещений.

3.1 Расчёт установленной мощности и подбор котлов

Расчетную тепловую мощность котельной принимают по тепловой нагрузке при максимально-зимнем режиме

$$Q_{уст} = Q_{отт} + Q_{сн} = (1+\lambda) Q_{\Sigma} \quad (35)$$

где $Q_{уст}$ – суммарная тепловая мощность всех котлов, установленных в котельной, Вт;

$Q_{отт}$ – количество тепловой энергии, отпускаемое в тепловую сеть, Вт;

$Q_{сн}$ – количество тепла, расходуемое на собственные нужды котельной, Вт.

λ – коэффициент учитывающий дополнительные теплотери при транспорте тепла и собственные нужды котельной.

Количество отпущенной теплоты определяется с учетом дополнительных теплотрат, обусловленных потерями в тепловых сетях при транспортировании теплоносителя от источника до потребителей. Расход тепла на собственные нужды котельной, определяется расчетным или опытным путем исходя из потребностей конкретного теплоисточника, как сумма расходов теплоты (пара) на отдельные элементы затрат: расход теплоты на технологические процессы подготовки воды; потери теплоты на нагрев воды, удаляемой из котла с продувкой; расход теплоты на подогрев мазута в железнодорожных цистернах, мазутохранилищах, расходных емкостях; расход теплоты в паровых форсунках на распыление жидкого топлива; расход теплоты на отопление помещений котельной и вспомогательных зданий. Следует учитывать и другие статьи (выпар из деаэраторов, отбор проб, утечки через неплотности, горячее водоснабжение на бытовые нужды персонала котельной), которые условно оцениваются в размере 0,2 % установленной теплопроизводительности котлов.

При отсутствии всех необходимых сведений рядом величин можно предварительно задаваться на основе опыта проектирования. Долно тепловых потерь в тепловых сетях принимают от 4 до 8 %. Для определения затрат теплоты на собственные нужды котельной следующие величины расходов теплоты:

- на деаэрацию питательной воды и подогрев сырой и химически очищенной воды при закрытой системе теплоснабжения от 1 до 10 % суммарного отпуска тепловой энергии внешним потребителям;
- на потери теплоты внутри котельной 2 - 3 % той же величины;

Предварительно дополнительные теплотери при транспорте тепла и собственные нужды котельной обычно принимаются в размере 15 - 20 % общего расхода тепла.

После расчета тепловой нагрузки и расходов теплоносителя необходимо выбрать число устанавливаемых котлов.

В котельной должно быть не менее двух и не более четырех (стальных) или шести (чугунных) котлов, причем котлы однотипные по теплоносителю должны иметь одинаковую площадь поверхности нагрева. Но следует учесть, что для нужд отопления и вентиляции требуется как минимум два котла, один из которых будет работать в среднеотопительный период, когда тепловая нагрузка значительно снижается, или в случае аварии может служить резервным.

Количество и теплопроизводительность котлоагрегатов выбираются по максимальному расходу тепла с тем, чтобы при выходе из строя одного из котлоагрегатов оставшиеся обеспечивали максимальный отпуск тепла на технологические нужды, средний за наиболее холодный месяц отпуск тепла на отопление и вентиляцию и среднечасовой отпуск тепла на горячее водоснабжение с учетом расхода тепла на собственные нужды котельной.

Выбирать котлы следует такой тепловой мощности, чтобы она была кратной летней тепловой нагрузке. Это делается для того, чтобы более рационально использовать котлы, работающие в летний период на горячее водоснабжение и технологические нужды.

Для принятых к установке водогрейных котлов (см. приложение) соответствующей марки и тепловой производительности приводятся технические характеристики.

Подбор котлов ведется по основным параметрам:

- Номинальная теплопроизводительность (мощность), МВт;
- КПД котла, % не менее;
- Вид потребляемого топлива (газообразное, жидкое, твердое);
- Рабочее давление воды в котле, МПа;
- Расход теплоносителя, т/ч;
- Максимальная температура воды на выходе, °С;

Характеристики котельных агрегатов заносятся в таблицу.

Таблица 3.1 - Характеристики котельного агрегата

№ п/п	Показатель	Ед.изм.	
1	Производитель / марка	-	
2	Мощность котла	МВт	
3	КПД котла	%	
4	Максимальная температура воды на выходе	°С	
5	Расход топлива (природный газ)	м ³ /ч	
6	Сопротивление газового тракта	Па	
7	Сопротивление водяного тракта	кПа	
8	Водяная емкость котла	м ³	
9	Рабочее давление воды в котле	МПа	
10	Расход теплоносителя	т/ч	

Далее определяются режимы работы котлов.

Для этого рассчитывается процент загрузки Z_k . Он должен быть не ниже 30 (40)%, в противном случае следует заново подобрать котлоагрегаты.

$$Z_k = \frac{Q_{CT}^{om}}{Q_k \cdot N_k}, \quad (36)$$

где Q_{CT}^{om} – фактическая тепловая нагрузка системы теплоснабжения, МВт;

Q_k – мощность котла, МВт;

N_k – количество котлов, шт.

Фактическая тепловая нагрузка системы теплоснабжения с учетом принятых потерь определится по формуле

$$Q_{CT}^{om} = (1 + \lambda)(Q_o^{om} + Q_v^{om} + Q_{hm}) \quad (37)$$

Нагрузка на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжения определяют по формулам (9), (10), (11).

Температура, при которой процент загрузки каждого из котлов равен 50%, является температурой изменения количества работающих котлов. Как только процент загрузки станет равным $(100/N_k)\%$, следует дальше расчет вести для одного котла.

Результаты расчета заносим в таблицу и строим график загрузки котлоагрегатов, где по оси абсцисс откладывается температура наружного воздуха, а по оси ординат – тепловая нагрузка для соответствующих температур (по форме):

(образец)

$t_{не}, ^\circ\text{C};$	$Q_{CT}^{om}, \text{МВт}$	$Q_k, \text{МВт}$	$N_k, \text{шт}$	$Z_k, \%$
-32			2,0	96,9%
-31			2,0	95,0%
-30			2,0	93,2%
.....				
-7			2,0	50,3%
-6			1,0	96,9%
-5			1,0	93,2%
.....				
10			1,0	37,3%

Итоговую таблицу заполняем для пяти характерных режимов работы котельной.

Таблица 3.2 – Загрузка котельных агрегатов

№ п/п	Характерный режим работы	Нагрузка, МВт	Кол-во работающих котлов	Процент загрузки
1	Максимально-зимний			
2	Наиболее холодного месяца			
3	В точке излома температурного графика			
4	Начало отопительного периода			
5	Летний			

3.2 Составление и расчёт тепловой схемы котельной

3.2.1 Исходные данные для расчета тепловой схемы

На рисунке 3.1 показана принципиальная схема отопительной котельной с водогрейными котлами. Вода из обратной линии тепловых сетей с небольшим напором (20 - 40 м вод. ст.) поступает к сетевым насосам 2. Туда же от подпиточных насосов 5 подводится вода, компенсирующая утечки теплоносителей в тепловых сетях. К насосам подается и горячая сетевая вода, теплота которой частично использована в теплообменниках для подогрева химически очищенной 8 и сырой воды 7.

Для обеспечения температуры воды перед котлами, заданной по условиям предупреждения коррозии, в трубопровод за сетевым насосом 2 подают необходимое количество горячей воды, вышедшей из водогрейных котлов 1. Линию, по которой подают горячую воду, называют рециркуляционной. Вода подается рециркуляционным насосом 3, перекачивающим нагретую воду. При всех режимах работы тепловой сети, кроме максимального зимнего, часть воды из обратной линии после сетевых насосов 2, минуя котлы, подают в количестве $G_{пер}$ по линии перепуска в подающую магистраль. Здесь обратная вода, смешиваясь с горячей водой из котлов, обеспечивает заданную расчетную температуру в подающей магистрали тепловых сетей. Добавляемая в трубы химически очищенная вода подогревается в теплообменниках 8, 9, 11 и освобождается от растворенных газов в деаэраторе 10. Для подпитки тепловых сетей из бака 6 подпиточный насос 5 подает воду в обратную линию теплотрассы.

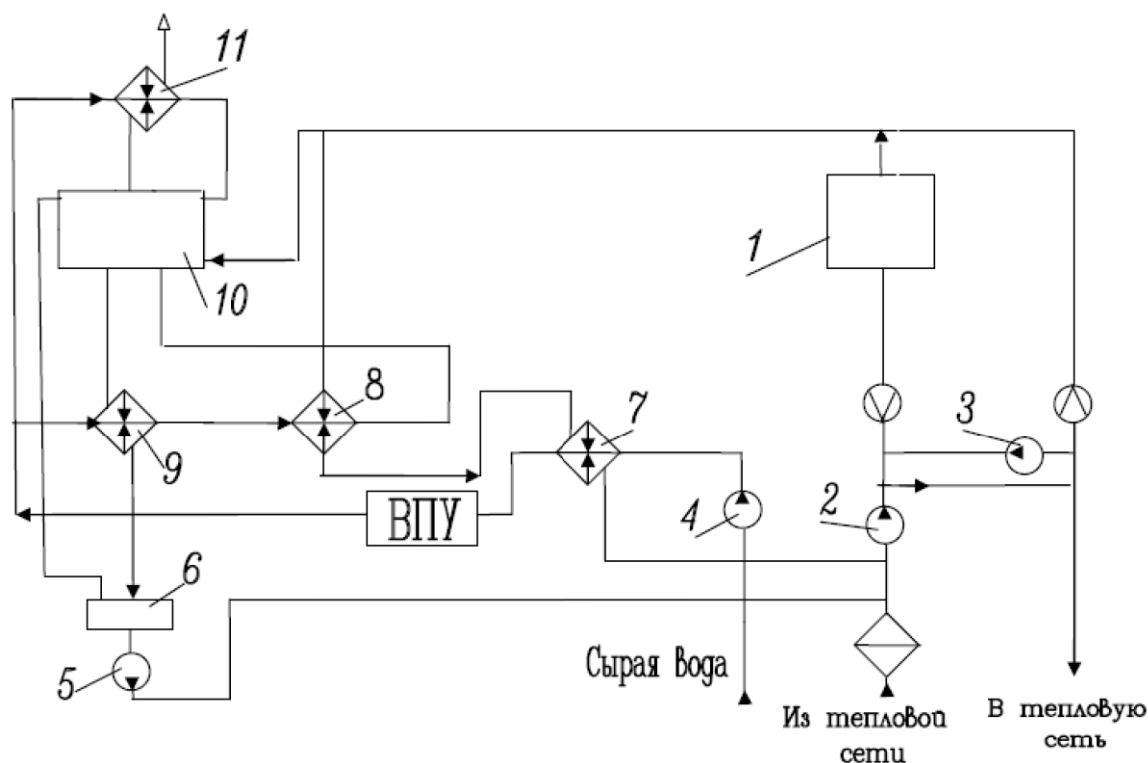


Рисунок 3.1 – Принципиальная тепловая схема котельной с водогрейными котлами:
1 - котел водогрейный; 2 - насос сетевой воды; 3 - насос рециркуляционный;
4 - насос сырой воды; 5 - насос подпиточной воды; 6 - бак подпиточной воды;
7 - подогреватель сырой воды; 8 - подогреватель химически очищенной воды;
9 - охладитель подпиточной воды; 10 - деаэратор; 11- охладитель выпара.

Для сокращения расхода воды на рециркуляцию ее температура на выходе из котлов поддерживается, как правило, выше температуры воды в подающей линии тепловых сетей. Только при расчетном максимально зимнем режиме температуры воды на выходе из котлов и в подающей линии тепловых сетей будут одинаковы. Для обеспечения требуемой расчетной температуры воды в тепловых сетях к выходящей из котлов воде подмешивается вода из обратного трубопровода. Для этого между подающим и обратным трубопроводами монтируют линию перепуска воды.

Наличие подмешивания и рециркуляции воды обуславливает отличие режимов работы стальных водогрейных котлов от режима тепловых сетей. Условием надежной работы водогрейных котлов является условие постоянства количества воды, проходящей через них. Расход воды должен поддерживаться в заданных пределах независимо от колебаний тепловых нагрузок. Поэтому регулирование отпуска тепловой энергии в сеть осуществляется путем изменения температуры воды в котле.

Для уменьшения наружной коррозии труб водогрейных котлов необходимо поддерживать температуру воды на входе в котлы выше температуры точки росы дымовых газов. Рекомендуются следующие минимально допустимые температуры воды на входе в котлы: при работе на природном газе не ниже 60°C; при работе на малосернистом мазуте - 70°C; при работе на высокосернистом мазуте - 110°C.

В связи с тем, что температура воды в обратной линии тепловых сетей почти всегда ниже 60°C, в тепловой схеме водогрейных котельных предусматривают линии рециркуляции с рециркуляционными насосами.

При работе водогрейных котлов на природном газе принимаем температуру воды на входе в котел постоянной $t_{22} = 70^\circ\text{C}$, на выходе из котлов в соответствии с температурным графиком, но не ниже $t_{11} = 95^\circ\text{C}$. Основной расчет ведется на максимальный зимний режим.

Для проведения водоочистки предусматриваем нагрев сырой воды до температуры 20...30°C на входе в фильтр ХВО. Деаэрация химически очищенной воды производится в деаэраторе, для чего предусматриваем атмосферный или вакуумный деаэратор.

Деаэрация осуществляется при температуре 103-105°C в атмосферном деаэраторе серии ДА при давлении 0,12 МПа, или при 70°C в вакуумном деаэраторе (серия ДВ) при давлении 0,03 МПа.

Основные исходные и принятые для расчета данные сведем в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Исходные данные для расчета тепловой схемы котельной

Наименование показателя	Обозначение	Значение величины при характерных режимах работы котельной				
		+18	+8	t'_n	t_{npv}	$t_{нpo}$
Расходы теплоты, МВт:						
на отопление						
на вентиляцию						
на горячее водоснабжение						
Расчетная температура наружного воздуха:						
для отопления, °C						
для вентиляции, °C						
Температура воздуха внутри помещения, °C						
Температура сырой воды, °C						
Температура сырой воды перед водоочисткой, °C						

Принятый расход химически очищенной воды, °С						
Принятый расход воды на подогрев химически очищенной воды, °С						
Температура греющей воды после подогревателя химически очищенной воды, °С						
КПД подогревателей.						

Приняв предварительно указанные величины, можно выполнить первое приближение расчета тепловой схемы. При отличии расчетных величин от ранее принятых более трех процентов нужно повторить расчет, принимая в качестве исходных полученные значения. Как правило, второе приближение, обеспечивает необходимую сходимость вычислений.

3.2.2 Определение расходов сетевой воды

Расчетный расход сетевой воды на выходе из источника теплоснабжения, кг/ч, в водяных тепловых сетях при качественном регулировании отпуска теплоты следует определять отдельно для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения по формулам:

на отопление

$$G_{o\max} = \frac{3,6 \cdot Q_o^{th} (1+q)}{c \cdot (\tau_1 - \tau_2)} ; \quad (38)$$

на вентиляцию

$$G_{v\max} = \frac{3,6 \cdot Q_v^{th} (1+q)}{c \cdot (\tau_1 - \tau_2)} ; \quad (39)$$

на горячее водоснабжение

в открытых системах теплоснабжения (СТО):

среднечасовой

$$G_{1hm} = \frac{3,6 \cdot Q_{hm} (1+q)}{c \cdot (t_h - t_c)} ; \quad (40.1)$$

максимальный

$$G_{1h\max} = \frac{3,6 \cdot Q_{h\max} (1+q)}{c \cdot (t_h - t_c)} ; \quad (41.1)$$

в закрытых системах теплоснабжения (СТЗ):

среднечасовой, при параллельной схеме присоединения водоподогревателей

$$G_{2hm} = \frac{3,6 \cdot Q_{hm} (1+q)}{c \cdot (\tau'_1 - \tau'_2)} ; \quad (40.2)$$

максимальный, при параллельной схеме присоединения водоподогревателей

$$G_{2h\max} = \frac{3,6 \cdot Q_{h\max} (1+q)}{c \cdot (\tau'_1 - \tau'_2)} ; \quad (40.2)$$

среднечасовой, при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей

$$G_{3hm} = \frac{3,6 \cdot Q_{hm} (1+q)}{c \cdot (\tau'_1 - \tau'_2)} \cdot \left(\frac{55 - t'_h}{55 - t_c} + 0,2 \right) ; \quad (40.3)$$

максимальный, при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей

$$G_{3h\max} = \frac{3,6 \cdot 0,55 \cdot Q_{h\max} (1+q)}{c \cdot (\tau'_1 - \tau'_2)} , \quad (41.3)$$

где c – теплоёмкость сетевой воды, принимается равной $4,187 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

q – коэффициент, учитывающий долю тепловых потерь в тепловых сетях, принимается в пределах от 0,04 до 0,08.

В формулах (35 – 42) расчетные тепловые потоки приводятся в Вт.

Расчет по этим формулам производится поэтапно, для температур t_n пяти характерных режимов.

Суммарные расчетные расходы сетевой воды, кг/ч, в двухтрубных тепловых сетях в открытых и закрытых системах теплоснабжения при качественном регулировании отпуска теплоты определяют по формуле

$$G_d = G_{o\max} + G_{v\max} + k_3 \cdot G_{hm} , \quad (43)$$

где k_3 – коэффициент, учитывающий долю среднечасового расхода воды на горячее водоснабжение при регулировании.

При регулировании по нагрузке отопления в открытых систем теплоснабжения, следует принимать равным $k_3 = 0,8$; для закрытых – соответственно $k_3 = 1,2$ ($k_3 = 1$ при наличии баков аккумуляторов).

При регулировании по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения коэффициент k_3 принимается равным нулю.

Расчетный расход воды, кг/ч, в двухтрубных водяных тепловых сетях в неотапительный период, G_d^s , следует определять по формуле

$$G_d^s = \beta \cdot G_{hm\max} \quad (44)$$

где β - коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотапительный период по отношению к отопительному периоду, (при отсутствии данных принимается для жилищно-коммунального сектора равным 0,8, для предприятий - 1,0).

Таблица 3.4 - Расчетные расходы сетевой воды на выходе из источника теплоснабжения

Расчетные расходы сетевой воды, кг/ч	Характерные режимы работы источника теплоснабжения				
	Расчетные температуры, °С				
	+18	+8	t_n'	t_{npv}	t_{npo}
G_o	-				
G_v	-				
G_{hm}					
$G_d(G_d^s)$					

3.2.3 Расчет тепловой схемы

Расход воды на подпитку в открытых и закрытых тепловых сетях с учетом потерь 2% в тепловых сетях:

- для открытых тепловых сетей

$$G_{пит} = 0,02 \cdot G_d + G_{hmax}, \quad (45.1)$$

- для закрытых тепловых сетей

$$G_{пит} = 0,02 \cdot G_d . \quad (45.1)$$

Расход сырой воды на химводоочистку при собственных нуждах последней 25% производительности, кг/ч

$$G_{с.в} = 1,25 \cdot G_{пит}, \quad (46)$$

Подогрев сырой воды перед химводоочисткой $t'_{хов}$ принимаем до 20 °С, от 5°С зимой и 15 °С летом.

Если температура воды на выходе из деаэрата превышает принятую температуру воды на входе в котел, предусматриваем в схеме теплообменника-охладителя подпиточной воды.

Температура химически очищенной воды после теплообменника-охладителя подпиточной воды, установленного после деаэрата

$$t''_{хов} = \frac{G_{пит}}{G'_{хов}} (t'_{подп} - t''_{подп}) \eta_{под} + t'_{хов}, \quad (47)$$

где $G'_{хов}$ - предварительно принятый расход химически очищенной воды, кг/ч;

$t'_{подп}; t''_{подп}$ - температура подпиточной воды на выходе из деаэрата и после теплообменника-охладителя подпиточной воды, °С;

$\eta_{под}$ – КПД подогревателя.

В случае использования вакуумного деаэрата с давлением 0,03 МПа, в схеме теплообменник-охладитель не предусматривается, а $t''_{хов} = t'_{хов}$.

Задаваясь расходом греющей воды $G_{гр}^{подп}$, кг/ч и температурой на выходе из подогревателя следующей ступени подогрева химической очищенной воды $t''_{гр}$, °С, определяем температуру воды, поступающую в деаэрат

$$t^D_{хов} = \frac{G_{гр}^{подп}}{G'_{хов}} (t^{вк}_1 - t''_{гр}) \eta_{под} + t''_{хов}, \quad (48)$$

Химически очищенная вода поступающая в деаэрат, где её температура повышается до величины, требующейся для вскипания в вакуумном деаэрате, то есть до 72...75 °С, подачей греющей воды из котельного агрегата $t^{вк}_1$.

С учетом подсчитанных величин температура сырой воды перед химводоочисткой равна

$$t'_{хов} = \frac{G_{гр}^{подп}}{G_{св}} (t''_{гр} - t^{тс}_{подп}) \eta_{под} + t'_{св}, \quad (49)$$

Расход греющей воды на деаэрат, кг/ч:

$$G_{гр}^D = \frac{G_{пит} \cdot t''_{гр} - G'_{хов} t^D_{хов}}{t^{вк}_1}, \quad (50)$$

При составлении баланса количество воды в котельной установке величину $G_{гр}^D$ следует учитывать при определении расхода воды на подпитку тепловых сетей.

Расход химически очищенной воды на подпитку составит, кг/ч:

$$G_{хов} = G_{пит} - G_{гр}^D, \quad (51)$$

Расход теплоты на подогрев сырой воды для максимально-зимнего режима, Вт:

$$Q_{с.в} = 1,16 \frac{G_{с.в}}{\eta_{под}} (t'_{хов} - t_{с.в}); \quad (52)$$

Расход теплоты на подогрев химически очищенной воды для максимально-зимнего режима, Вт:

$$Q_{хов} = 1,16 \frac{G_{с.в}}{\eta_{под}} (t_{хов}^д - t''_{хов}); \quad (53)$$

Расход теплоты на деаэрацию химически очищенной воды для максимально-зимнего режима, Вт

$$Q_d = 1,16 \frac{G_{г.р}^д}{\eta_{под}} (t_1^{вк} - t''_{подп}); \quad (54)$$

Расход теплоты на подогрев химически очищенной воды в охладителе деаэрированной воды, Вт

для максимально-зимнего режима

$$Q_{охл} = 1,16 \frac{G_{хво}}{\eta_{под}} (t''_{хов} - t'_{хов}); \quad (55)$$

Суммарный расход теплоты, необходимый в водогрейных котлах, Вт

$$\sum Q = (1 + q)(Q_o^{om} + Q_v^{om} + Q_{hmax}) + Q_{св} + Q_{хов} + Q_d - Q_{охл}, \quad (56)$$

Расход воды через водогрейные котлы

для максимально-зимнего режима

$$G_k = \frac{3,6 \sum Q}{c(t_1^{в.к} - t_2^{в.к})}; \quad (57)$$

Расход воды на рециркуляцию

$$G_{рец} = \frac{G_k(t_2^{в.к} - t_{02}^{тс})}{t_1^{в.к} - t_{02}^{тс}}. \quad (58)$$

Расход воды по перепускной линии

$$G_{пер} = \frac{G_d(t_1^{в.к} - t_{01}^{тс})}{t_1^{в.к} - t_{02}^{тс}}. \quad (59)$$

Расход сетевой воды от внешних потребителей через обратную линию

$$G_{обр} = G_d - G_{пит} \quad (60)$$

Расчетный расход воды через котлы:

$$G'_k = G_d + G_{гр}^{подп} + G_{рец} - G_{пер}. \quad (61)$$

Расход воды, поступающей к внешним потребителям по прямой линии:

$$G' = G'_k - G_{гр}^A - G_{рец} + G_{пер}. \quad (62)$$

Разница между найденным ранее и уточненным расходом воды внешними потребителями:

$$\frac{G_d - G'}{G_d} \cdot 100; \quad (63)$$

Если разница между найденным ранее и уточненным расходами воды через котлы незначительна ($\leq 3\%$), то выполненный расчет принципиальной тепловой схемы может считаться законченным.

Для других режимов работы котельной расчет тепловой схемы производится аналогично.

Таблица 3.5 – Расчет тепловой схемы водогрейной котельной

Наименование параметра	Расчетные режимы				
	Максимально-зимний	Средний наиболее холодного месяца	В точке излома температурного графика	Начало отопительного периода	Летний режим
1	2	3	4	5	6
Температура наружного воздуха $t_n, ^\circ\text{C}$				+8	+18
Температура прямой сетевой воды на выходе из котельной $t_{01}^{тс}, ^\circ\text{C}$					
Температура обратной сетевой воды после системы теплоснабжения $t_{02}^{тс}, ^\circ\text{C}$					
Расход сетевой воды на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение $G_d, \text{кг/ч.}$					
Расход воды на подпитку при потерях 2% в тепловых сетях $G_{пит}, \text{кг/ч.}$					
Расход сырой воды на химводоочистку при собственных нуждах последней 25% производительности $G_{с.в.}, \text{кг/ч.}$					
Температура химически очищенной воды после теплообменника-охладителя подпиточной воды, установленного после деаэратора $t''_{хов}, ^\circ\text{C.}$					

Продолжение таблицы 3.5.

Температура воды, поступающая в деаэрактор $t_{хов}^д$, °С.					
Температура сырой воды перед химводоочисткой $t_{хов}'$, °С.					
Расход греющей воды на деаэрактор $G_{гр}^д$, кг/ч.					
Расход химически очищенной воды на подпитку $G_{хов}$, кг/ч.					
Расход теплоты на подогрев сырой воды $Q_{с.в.}$					
Расход теплоты на подогрев химически очищенной воды $Q_{хов}$					
Расход теплоты на деаэрактор, $Q_д$. при к $t_2^{в.к} = 70$ °С = const при к $t_1^{в.к} = \dots$ °С = const					
Расход теплоты на подогрев химически очищенной воды в охладителе деаэрированной воды, $Q_{охл}$.					
Общая теплопроизводительность котельной (с учетом потерь), $\sum Q$, МВт					
Расход воды через водогрейные котлы $G_к$, кг/ч.					
Расход воды на рециркуляцию $G_{рец}$, кг/ч. при к $t_2^{в.к} = 70$ °С = const при к $t_1^{в.к} = \dots$ °С = const					
Расход воды по перепускной линии $G_{пер}$, кг/ч. при к $t_2^{в.к} = 70$ °С = const при к $t_1^{в.к} = \dots$ °С = const					
Расход сетевой воды от внешних потребителей через обратную линию $G_{обр}$, кг/ч.					
Расчетный расход воды через котлы $G'_к$, кг/ч. при к $t_2^{в.к} = 70$ °С = const при к $t_1^{в.к} = \dots$ °С = const					
Расход воды, поступающей к внешним потребителям по прямой линии G' , кг/ч.					

Продолжение таблицы 3.5.

Температуры воды на входе в котел, °С, при к $t_1^{в.к} = \dots \text{ } ^\circ\text{C} = \text{const}$					
Температуры воды на выходе из котла, °С, при к $t_2^{в.к} = 70 \text{ } ^\circ\text{C} = \text{const}$					
Разница между найденным ранее и уточненным расходом воды внешними потребителями %					

Аналогично ведется расчет для остальных режимов работы источника теплоснабжения и определяются параметры тепловой схемы. Все результаты расчета сводятся в таблицу, выполняется проверка соответствия расхода воды внешним потребителям с ранее принятым.

По результатам расчета и на основании типовой схемы (см. рисунок 3.1) составляется тепловая схема проектируемой котельной, с нанесением расчетных температур теплоносителя и расхода теплоносителя на участках тепловой схемы.

3.3 Подбор вспомогательного оборудования тепловой схемы котельной

3.3.1 Подбор деаэратора

Для обеспечения надежности работы котельных с водогрейными котлами необходимо удаление из воды растворенных в ней коррозионно-активных газов – кислорода и свободной углекислоты.

Процесс деаэрации для водогрейных котлов с температурой воды до 100 °С осуществляется с давлением над поверхностью воды меньше атмосферного, т.е. когда вода кипит при температуре ниже 100 °С. Для этих целей используют вакуумный деаэратор серии ДВ.

Для водогрейных котлов с температурой воды более 100 °С деаэрация осуществляется преимущественно в атмосферном деаэраторе серии ДА при атмосферном давлении.

Деаэратор подбирают с номинальной производительностью по расходу воды на подпитку $G_{\text{шт}}$ (см. приложение).

Характеристики принятого деаэратора приводим в виде таблицы 3.6.

Таблица 3.6 – Характеристика деаэратора

Наименование	Марка деаэратора
Номинальная производительность, т/ч	
Рабочее давление, МПа	
Температура деаэрированной воды, °С	
Размеры колонки, мм: диаметр корпуса высота	
Комплектация: (бак деаэрационный; охладитель выпара; водоструйный эжектор)	

Бак деаэрированной воды размещают на нулевой отметке.

Для работы вакуумного деаэратора предусматривается водоструйный эжектор и бак охладитель выпара, который необходимо подобрать по марке деаэратора.

3.3.2 Подбор циркуляционных насосов

Для циркуляции воды в тепловых сетях в котельной устанавливают не менее двух сетевых насосов, один из которых резервный. Подача сетевого насоса, равна максимальному часовому расходу сетевой воды через обратную линию, и определяется по формуле, м³/ч

$$G_{\text{сет.н.}} = \frac{G_{\text{обр}}}{n \cdot \rho_2}, \quad (64)$$

где n – количество одновременно работающих насосов, шт;

ρ_2 – плотность воды, принимаем по максимальной температуре теплоносителя в обратном трубопроводе, т/м³.

Напор создаваемый сетевым насосом, зависит от общего сопротивления тепловой сети, и равен сумме потерь напора в котельном агрегате, в подающем и обратном трубопроводах расчетной магистрали и теплопотребляющих системах.

Принимаем центробежный сетевой насос соответствующей производительности (по приложению).

На линии рециркуляции котла устанавливаем рециркуляционный насос с подачей:

$$G_{\text{рец.н.}} = \frac{G_{\text{рец}}}{\rho_1}, \quad (65)$$

где ρ_1 – плотность воды, принимаем по максимальной температуре теплоносителя на выходе из котла, т/м³.

Принимаем центробежный насос соответствующей производительности и напором для преодоления гидравлического сопротивления котла.

Для компенсации водоразбора и утечек сетевой воды в тепловой сети и тепловой схеме, предназначены подпиточные насосы. В котельной должно быть не менее двух подпиточных насосов, один из которых резервный. Устанавливают их перед сетевыми, подовая в систему химически очищенную воду из деаэратора.

Подача подпиточной воды подпиточным насосом, м³/ч:

$$G_{\text{пт.н.}} = \frac{G_{\text{пт.н.}}}{\rho_2}. \quad (66)$$

Принимаем центробежный насос соответствующей производительности.

Для подачи воды в систему предусматриваются два насоса исходной воды, один из которых резервный.

Подача сырой воды насосом исходной воды, м³/ч:

$$G_{\text{исх.н.}} = \frac{G_{\text{с.в.}}}{\rho_0}, \quad (67)$$

где ρ_0 – плотность сырой водопроводной воды, т/м³.

Принимаем центробежный насос соответствующей производительности.

Результаты подбора всех насосов сводят в итоговую таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Итоговая таблица подбора насосов

Назначение насоса	Кол-во, шт	Марка насоса	Производительность, м ³ /ч	Напор, м	Мощность, кВт
Сетевой насос					
Рециркуляционный насос					
Подпиточный насос					
Насос исходной воды					

Все насосы комплектуются запорной арматурой до и после, по ходу движения теплоносителя.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Котельные установки и их эксплуатация [Текст] : учебник / Б. А. Соколов. - М.: Академия, 2005. - 429 с.: ил. ISBN 5-7695-2032-9
2. **Фокин В.М.** Расчет и эксплуатация теплоэнергетического оборудования котельных [Текст]: учебное пособие / В.М. Фокин. – Волгоград: ВолГАСУ, 2004. – 228 с. ISBN 5-98276-048-х.
3. **Липов Ю.М.** Котельные установки и парогенераторы [Текст]. / Ю.М. Липов, Ю.М. Третьяков – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. – 592 с.
4. **Яцура А. И.** Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования [Текст]: Справочник. – М.: НЦ ЭНАС, 2006. –504 с. ил. ISBN 5-93196-572-6
5. **Деев Л.В.** Котельные установки и их обслуживание [Текст]. / Л.В. Деев, Н.А. Балахничев. - М.: Высшая школа, 1990. – 239 с. ил. ISBN 5-06-000555-0.
6. **Баранов П.А.** Эксплуатация и ремонт паровых и водогрейных котлов [Текст]. / П.А. Баранов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 264 с.
7. **Трембовля В.И.** Теплотехнические испытания котельных установок [Текст]. / В.И. Трембовля, Е.Д. Фингер, А.А. Авдеева. - 2-е изд., перер. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 416 с.: ил. - ISBN 5-283-00137-7.
8. **Бузников Е.Ф.** Производственные и отопительные котельные [Текст]. / Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис, Э. Я. Берзиньш. - М.: Энергоатомиздат., 1984. – 248 с.
9. **Борщов Д.Я.** Устройство и эксплуатация отопительных котельных малой мощности [Текст] : учебник. / Д.Я. Борщов. – 2-е изд., испр. и доп. - М.: Стройиздат, 1989. – 198 с. ил. 24 см.
10. **Борщов Д.Я.** Эксплуатация отопительной котельной на газообразном топливе [Текст]. / Д.Я. Борщов. - М.: Стройиздат, 1988. - 240 с.: ил. – 20 см. - ISBN 5-27400130-0
11. **Седельковский Л.Н.** Котельные установки промышленных предприятий [Текст] : учебник для вузов / Л.Н. Седельковский, В.Н. Юренев. – 3-е изд. перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988. - 528 с.: ил. - ISBN 5-283-00016-8.
12. **Роддатис К.Ф.** Справочник по котельным установкам малой производительности [Текст] : справочник / К.Ф. Роддатис, А.Н. Полтарецкий. – М.: Энергоатомиздат, 1989. - 488 с.: ил. - ISBN 5-283-00018-4.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Бланк задания на курсовой проект:

**ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»
Факультет Инженерии и природообустройства
Кафедра «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение»**

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий кафедрой
_____ /Абдразаков Ф.К./

Задание на курсовое проектирование
обучающемуся _____ курса _____
направления подготовки 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника
по дисциплине «Эксплуатация котельных установок, парогенераторов и энергетического оборудования»
на тему: Оптимизация режимов работы теплогенерирующих установок системы теплоснабжения

1. Исходные данные к проекту:

Тепловые нагрузки источника теплоснабжения

Максимальный тепловой поток, МВт:	
на отопление $Q_{от, макс}$	
на вентиляцию $Q_{вент, макс}$	
на горячее водоснабжение $Q_{гв, макс}$, в т.ч. на санитарно-бытовые нужды	
Технологическая нагрузка	

Климатические условия

Температура воздуха, °С:	
средняя температура наружного воздуха за отопительный период t_n	
расчетная температура наружного воздуха для отопления $t_{нр, от}$	
расчетная температура наружного воздуха для вентиляции $t_{нр, вент}$	
средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий t_z	

Характеристики системы теплоснабжения

Вид системы теплоснабжения (открытая / закрытая)	
Схема присоединения систем отопления (зависимая / независимая)	
Температурный график, °С:	
сетевой воды в тепловой сети t_1 / t_2	
теплоносителя местных систем отопления t_3 / t_4	

2. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

1. Определение тепловых нагрузок источника теплоснабжения (определение расчетной нагрузки; расчет среднечасовых расходов теплоты);
2. Регулирование отпуска теплоты в источниках теплоснабжения (центральное качественное регулирование; определение условий подрезки температурного графика);
3. Расчет и выбор теплоэнергетического оборудования котельной (расчет установленной мощности и подбор котлов; составление и расчет тепловой схемы котельной; подбор вспомогательного оборудования).

3. Перечень графического материала с точным указанием обязательных чертежей:

1. Графики: отпуска теплоты и загрузки источника теплоснабжения; качественного регулирования тепловой нагрузки.
2. Схема тепловая (тепловая схема котельной в соответствии с ГОСТ 21.606).

4. Список рекомендуемой литературы:

1. Котельные установки и их эксплуатация [Текст]: учебник / Б. А. Соколов. - М.: Академия, 2005. - 429 с.: ил. ISBN 5-7695-2032-9.
2. Фокин В.М. Расчет и эксплуатация теплоэнергетического оборудования котельных [Текст]: учебное пособие / В.М. Фокин. – Волгоград: ВолГАСУ, 2004. – 228 с. ISBN 5-98276-048-х.
3. Правила выполнения рабочей документации тепломеханических решений котельных [Текст]: ГОСТ 21.606-2016. – Введ. 2017-07-01. – М.: Стандартинформ, 2017.

– задание разработано по исходным данным предложенным обучающимся.

Дата выдачи задания _____ Срок сдачи студентом законченного проекта _____

Руководитель проекта _____ Задание принял к исполнению _____