

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДА

Учебное пособие



Воронеж 2015

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДА

Учебное пособие

Составители:

В.В. Гончар, Д.М. Чудинов

Воронеж 2015

УДК 658.264
ББК 31.38
Т 343

Составители:
В.В. Гончар, Д.М. Чудинов

Т 343 **ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДА:** учебное пособие /сост.: В.В. Гончар, Д.М. Чудинов; Воронежский ГАСУ. – Воронеж, 2015. – 58 с.

Изложены инженерные задачи по проектированию, сооружению и эксплуатации систем централизованного теплоснабжения города.

Предназначено для студентов бакалавриата направлений 08.03.01 «Строительство», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 07.03.04 «Градостроительство», 21.03.01 «Нефтегазовое дело» и магистрантов направлений 08.04.01 «Строительство», 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 07.04.04 «Градостроительство», 21.04.01 «Нефтегазовое дело» всех форм обучения. Может быть использовано при курсовом и дипломном проектировании.

Ил. 9. Табл. 16. Библиогр.: 8 назв.

Рецензент:
*Н.А. Петрикеева, к.т.н., доц. кафедры теплогазоснабжения
и нефтегазового дела Воронежского ГАСУ*

УДК 658.264
ББК 31.38

*Печатается по решению учебно-методического совета
Воронежского ГАСУ*

© Гончар В.В., Чудинов Д.М., составление, 2015
© Воронежский ГАСУ, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение курсового и дипломного проектов по теплоснабжению города является важным этапом учебного процесса в подготовке студентов бакалавриата и магистрантов.

При разработке проекта студенту на основе теоретических знаний и практических навыков, полученных в процессе обучения, предоставляется возможность самостоятельно решать конкретные инженерные задачи, связанные с расчетом, проектированием, сооружением и эксплуатацией систем централизованного теплоснабжения города.

В настоящем учебном пособии изложены требования, предъявляемые к проекту, даны пояснения к содержанию, а также рекомендации по использованию специальной литературы и других технических материалов.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ПРОЕКТУ

Задание на проект выдается кафедрой теплогазоснабжения и нефтегазового дела. К нему прилагается схема генплана города (или района) с горизонталями.

В задании указываются:

1. Географическое положение города или расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления.
2. Количество человек, проживающих в городе, или плотность жилого фонда, $q_{ж.ф.}, \text{ м}^2/\text{га}$.
3. Источник тепла (ТЭЦ или котельная) и его расположение на генплане.
4. Система теплоснабжения (открытая, закрытая).
5. Расчетная температура сетевой воды (температурный график).
6. Метод регулирования отпуска тепла потребителям по отопительной нагрузке или по суммарной нагрузке отопления и горячего водоснабжения.

2. СОСТАВ И ОБЪЕМ ПРОЕКТА

Проект должен состоять из расчетно-пояснительной записки объемом 20 - 30 страниц текста и графической части на 2-х листах формата А1.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать:

1. Краткое введение.
2. Характеристику города.
3. Климатологические данные.
4. Расчет теплопотребления города.
5. Выбор схемы ввода и построение температурного графика теплопотребления.
6. Расчеты по режимам регулирования отпуска тепла.

7. Расчет расходов теплоносителя.
8. Гидравлический расчет тепловых сетей.
9. Пьезометрический график тепловой сети.
10. Выбор сетевых и подпиточных насосов.
11. Тепловой расчет сети с выбором строительного-изоляционных конструкций теплопроводов.
12. Описание конструкций и элементов тепловых сетей.
13. Расчеты теплопроводов на прочность.

Пояснительная записка должна иметь оглавление, краткие выводы и перечень использованной литературы. К записке прилагается задание, выданное на проектирование.

Графическая часть проекта включает:

а) графики:

- часовых расходов тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение в зависимости от температуры наружного воздуха;
- годового расхода тепла по продолжительности;
- температур и расхода сетевой воды в зависимости от температуры наружного воздуха (температурные и расходные графики);
- пьезометрические.

б) схемы:

- принципиальную тепловую схему ТЭЦ с экспликацией теплофикационного оборудования;
- абонентского присоединения (ввода);
- контроля и автоматики

в) чертежи:

- генплан города с трассой тепловых сетей;
- монтажная схема участка сети (магистральной и ответвления);
- продольный профиль участка сети (магистральной);
- теплофикационная камера (план и разрез, М 1:20);
- поперечное сечение прокладки трубопроводов канальной или бесканальной сети (М 1:10 ÷ 1:20);
- элементы оборудования тепловой сети (опоры, компенсаторы, конструкции и др., М 1:10).

Графики и схемы выполняются на миллиметровке и вкладываются в расчетно-пояснительную записку. Чертежи на ватмане формата А1.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ГОРОДА

В этом разделе записки отмечаются особенности планировки города, количество кварталов и их общая площадь, количество жителей в городе, этажность зданий, характеристика рельефа (максимальный перепад отметок земли,

направление уклона), грунтовые условия, уровень стояния грунтовых вод и т.д. (принимаются студентом по усмотрению).

4. КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Для города, указанного в задании, определяются следующие величины:

а) t_{po} – расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления [1,2], °С ;

б) t_{pv} - расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции [1,2], °С;

в) $t_{cp.o}$ - средняя температура наружного воздуха за отопительный период [1,2], °С;

г) n_o - продолжительность отопительного периода (1,2), ч;

д) продолжительность стояния температур наружного воздуха через интервалы в 5° С, принимается по [1] и вносится в табл. П. 1.

е) $t_{гр}$ - средняя годовая температура грунта на глубине заложения трубопровода теплосети [1,2], °С.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖИЛОЙ ПЛОЩАДИ И КОЛИЧЕСТВА ЖИТЕЛЕЙ

На генплане нумеруются все кварталы и определяются с учетом масштаба их площади $f_{кв}$, м². По заданной плотности жилого фонда определяется жилая площадь кварталов, $f_{ж} = q_{ж} \cdot f_{кв}$, м².

Количество жителей m в каждом квартале находится исходя из нормы жилой площади, приходящейся на 1 человека, принимаемой равной 9-12 м²/чел., т.е. $m = f_{ж} / 9 \div 12$.

6. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК ГОРОДА

6.1. Определение максимальных тепловых потоков:

а) максимальный тепловой поток на отопление жилых зданий определяется по формуле [3]:

$$Q_o^{жс} = q_o \cdot A, \text{ Вт}, \quad (6.1)$$

где q_o - укрупненный показатель максимального теплового потока на отопление жилых зданий на 1 м² общей площади, принимаемой по П. 2 [3], Вт;

A - общая площадь жилых зданий, м²;

б) максимальный тепловой поток на отопление общественных зданий, определяется по формуле [3]:

$$Q_o^o = k_1 \cdot Q_o^{жс} = k_1 \cdot q_o \cdot A, \text{ Вт}, \quad (6.2)$$

где k_1 - коэффициент, учитывающий тепловой поток на отопление общественных зданий (при отсутствии данных следует принимать равным 0,25).

Максимальный тепловой поток на отопление жилых и общественных зданий:

$$Q_o = Q_o^{жс} + Q_o^o = q_o \cdot A + k_1 \cdot q_o \cdot A = q_o \cdot A \cdot (1 + k_1), \text{ Вт}, \quad (6.3)$$

в) максимальный тепловой поток на вентиляцию общественных зданий определяется по формуле [3]:

$$Q_o^o = k_2 \cdot Q_o^o = k_1 \cdot k_2 \cdot q_o \cdot A, \text{ Вт}, \quad (6.4)$$

где k_2 - коэффициент, учитывающий тепловой поток на вентиляцию общественных зданий (при отсутствии данных следует принимать равным: для общественных зданий, построенных до 1985 г., - 0,4; после 1985 г. - 0,6);

г) средний тепловой поток на горячее водоснабжение жилых зданий определяется по [3]:

$$Q_{зв}^{жс} = \frac{1,2 \cdot c \cdot m \cdot a \cdot (55 - t_{хз})}{24 \cdot 3,6}, \text{ Вт}, \quad (6.5)$$

где 1,2 - коэффициент, учитывающий теплоотдачу в помещении от трубопроводов систем горячего водоснабжения (отопление ванных комнат, сушка белья);

c - удельная теплоемкость воды, принимаемая равной 4,187 кДж/(кг·°С);

m - число человек, проживающих в городе;

a - норма расхода воды на горячее водоснабжение при температуре 55° С на одного человека в сутки, принимаемая в зависимости от степени комфортности зданий в соответствии с [3], л;

$t_{хз}$ - температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период (при отсутствии данных принимается равной 5° С);

д) средний тепловой поток на горячее водоснабжение, потребляемый в общественных зданиях при температуре 55° С, принимается в размере 25 л/сут на 1 чел;

ж) суммарный средний тепловой поток на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий.

$$Q_{зв} = Q_{зв}^{жс} + Q_{зв}^o = \frac{1,2 \cdot c \cdot m \cdot (a + \vartheta) \cdot (55 - t_{хз})}{24 \cdot 3,6}, \text{ Вт}, \quad (6.6)$$

з) максимальный тепловой поток на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий определяется по [3]:

$$Q_{\text{св.мак}} = 2,4 \cdot Q_{\text{св}}, \text{ Вт} \quad (6.7)$$

Все расчеты по определению жилой площади, количества жителей и максимальных тепловых потоков должны быть произведены для каждого квартала и сведены в табл. П. 2.

6.2. Определение средних тепловых потоков:

а) средний тепловой поток на отопление определяется по формуле [3]

$$Q_{\text{o.ср}} = Q_{\text{o}} \cdot \left(\frac{t_{\text{в}} - t_{\text{ср.о}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{ро}}} \right), \text{ Вт}, \quad (6.8)$$

где Q_{o} - максимальный тепловой поток на отопление, Вт;

$t_{\text{в}}$ - средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, принимаемая для жилых и общественных зданий равной 18°C ;

$t_{\text{ср.о}}$ - средняя температура наружного воздуха за период со среднесуточной температурой воздуха 8°C и менее (отопительный период), $^{\circ}\text{C}$ (принимается по [1]);

$t_{\text{ро}}$ - расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, $^{\circ}\text{C}$ (принимается по [1]);

б) средний тепловой поток на вентиляцию, определяется по формуле [3]:

$$Q_{\text{в.ср}} = Q_{\text{в}} \cdot \left(\frac{t_{\text{в}} - t_{\text{ср.о}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{рв}}} \right), \text{ Вт}, \quad (6.9)$$

где $Q_{\text{в}}$ - максимальный тепловой поток на вентиляцию общественных зданий, Вт;

$t_{\text{в}}$ - средняя температура внутреннего воздуха в общественных отапливаемых зданиях, принимается равной 18°C ;

$t_{\text{рв}}$ - расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции, $^{\circ}\text{C}$, принимается по [1];

в) средний тепловой поток на горячее водоснабжение в отопительный период принимается по формуле [3];

г) средний тепловой поток на горячее водоснабжение в летний (неотопительный) период определяется по формуле [3]

$$Q_{\text{св}}^{\text{л}} = Q_{\text{св}} \cdot \left(\frac{55 - t_{\text{х3}}^{\text{л}}}{55 - t_{\text{х3}}} \right) \cdot \beta, \text{ Вт}, \quad (6.10)$$

где $Q_{ГВ}$ - средний тепловой поток на горячее водоснабжение в отопительный период, Вт;

$t_{хз}^л$ - температура холодной (водопроводной) воды в неотапительный (летний) период (при отсутствии данных принимается равной 15°C);

β - коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на ГВ в неотапительный период по отношению к отопительному периоду, принимается для жилищно-коммунального сектора равным 0,8 (для курортных, южных городов $\beta=1,5$).

6.3. Определение годовых тепловых потоков:

а) на отопление:

$$Q_o^{год} = 24 \cdot n_o \cdot Q_{o,ср}, \text{ МВт}\cdot\text{ч}, \quad (6.11)$$

где n_o - продолжительность отопительного периода в сутках (принимается по [2]);

$Q_{o,ср}$ – средний тепловой поток на отопление, Вт;

б) на вентиляцию:

$$Q_v^{год} = z \cdot n_o \cdot Q_{v,ср}, \text{ МВт}\cdot\text{ч}, \quad (6.12)$$

где z – усредненное за отопительный период число часов работы системы вентиляции общественных зданий в течение суток (при отсутствии данных должно приниматься равным 16 ч);

$Q_{v,ср}$ - средний тепловой поток на вентиляцию, Вт;

в) на горячее водоснабжение

$$Q_{гв}^{год} = 24 \cdot n_o \cdot Q_{гв} + 24 \cdot (350 - n_o) \cdot Q_{гв}^л, \quad \text{МВт}\cdot\text{ч}, \quad (6.13)$$

где $Q_{ГВ}$ – средний тепловой поток на ГВ в отопительный период, Вт;

$Q_{гв}^л$ - средний тепловой поток на ГВ в летний период, Вт;

350 – число суток в году работы системы горячего водоснабжения;

г) суммарный годовой расход тепла

$$Q^{год} = Q_o^{год} + Q_v^{год} + Q_{гв}^{год}, \text{ МВт}\cdot\text{ч}. \quad (6.14)$$

6.4. Построение графиков теплового потребления:

а) часовой график расхода тепла представлен на рис.1.

Часовой график теплового потребления составляется для определения часового расхода тепла в зависимости от температуры наружного воздуха.

Для построения графика по оси абсцисс откладываются среднесуточные температуры наружного воздуха отопительного периода (от $+8^{\circ}\text{C}$ до t_{po} с интервалом в 5°C), а на оси ординат - максимальные часовые расходы тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

Отопительная нагрузка меняется линейно от 0 (при $t_n = +18^{\circ}\text{C}$) до Q_o (при t_{po}), вентиляционная - от 0 (при $t_n = +18^{\circ}\text{C}$) до Q_v (при t_{pv}), и в диапазоне температур от t_{pv} до t_{po} она остается постоянной и равной Q_v , т.к. на этом участке применяется частичная рециркуляция воздуха, изменение которой компенсирует расход тепла на подогрев наружного воздуха. Нагрузка на горячее водоснабжение остается постоянной в летний период $Q_{гв.мах}$ и в отопительный - $Q_{гв}$.

После построения графиков часовых расходов тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение строится суммарный график: $\Sigma Q = Q_o + Q_v + Q_{гв}$. Линия этого графика используется для построения графика продолжительности тепловой нагрузки;

б) годовой график продолжительности тепловой нагрузки (рис. 1). По оси абсцисс вправо от нуля графика с нарастающим итогом откладывается число часов стояния наружных температур воздуха соответствующего диапазона часового графика, которые берутся из [4], а по оси ординат - суммарный часовой расход тепла при данной наружной температуре.

Точка пересечения перпендикуляров, восстановленных от оси абсцисс, с линиями часовых расходов соответствующих диапазонов наружных температур, проведенных параллельно оси абсцисс, образуют кривую графика продолжительности тепловой нагрузки. Конец кривой графика на оси абсцисс соответствует продолжительности отопительного периода (n_o) в часах для данного города. Площадь, ограниченная осями координат и построенной верхней кривой, равна расходу тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение за отопительный сезон. К сезонной нагрузке достраивается летняя нагрузка на горячее водоснабжение $Q_{гв}^л$.

Число часов работы горячего водоснабжения в году принимается равным $350 \cdot 24 = 8400$ ч. Тогда площадь графика продолжительности обозначает годовой расход тепла $Q^{год}$ на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Для удобства построения оба графика - часового расхода тепла и годового расхода тепла - следует совмещать по оси ординат.

Характер графиков показан на рис.1. Вычислить планиметрированием или другим способом площадь по кривой годового графика (без летней нагрузки) S_o (см^2) и, зная масштаб по осям m_v , МВт/см , m_r , $\text{ч/(год}\cdot\text{см)}$, определить расход тепла за отопительный период:

$$Q_o = S_o \cdot m_v \cdot m_r, \text{ МВт/год.} \quad (6.15)$$

Аналогично определяем расход тепла за летний период $Q_{л}$. Тогда суммарный расход тепла, вычисленный по графику, будет равным $Q^{год} = Q_{от} + Q_{л}$. Сравнить это значение с полученным по формуле (3.13). Расхождение допускается до 5%.

Определить среднечасовой расход тепла за отопительный период:

$$Q_o^{cp} = \frac{Q_o}{n_o}, \text{ МВт,}$$

и число часов использования максимума нагрузки в отопительный период:

$$n_u = \frac{Q_o}{Q_p}, \text{ ч,}$$

где Q_p - расчетная (максимальная) тепловая нагрузка города при t_{po} . Нанести эти величины на годовой график. Определить годовой расход тепла на одного жителя:

$$q_{жс} = \frac{Q^{год}}{m}, \text{ МВт/(чел.год),}$$

где m - число жителей в городе.

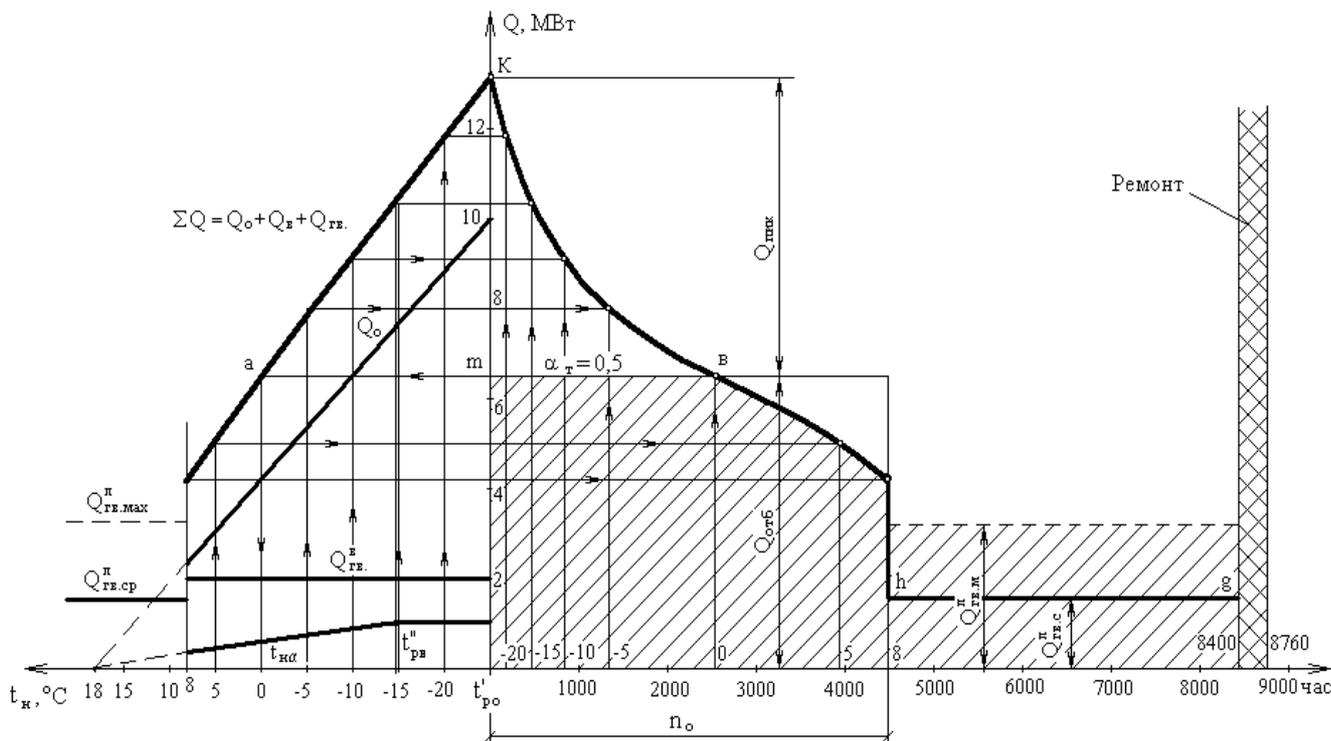


Рис. 1. Годовой график по продолжительности тепловой нагрузки

7. ВЫБОР СХЕМЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТЕПЛА К ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Водяные тепловые сети, как правило, применяются двухтрубные, циркуляционные с совместной подачей воды на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

Система теплоснабжения может быть закрытой или открытой. Она выбирается с учетом местных условий объекта теплоснабжения и качества воды, используемой для горячего водоснабжения.

7.1. Закрытая система теплоснабжения:

а) регулирование отпуска тепла по отопительной нагрузке. В этом случае применяется параллельная или 2- ступенчатая смешанная схема присоединения подогревателей ГВ и нормальный температурный график с точкой излома при 65°C .

Выбор схемы присоединения подогревателей ГВ к тепловым сетям зависит от соотношения максимальных тепловых потоков на горячее водоснабжение ($Q_{\text{ГВ.мах}}$) и отопление (Q'_{o}):

при $\frac{Q_{\text{ГВ.мах}}}{Q'_{\text{o}}} = 0,2 - 1,0$ - 2- ступенчатая смешанная схема,

при остальных соотношениях – одноступенчатая параллельная;

б) регулирование по суммарной нагрузке отопления и горячего водоснабжения. Эта схема применяется, когда соотношение $Q_{\text{ГВ.мах}}/Q'_{\text{o}} \geq 25\%$, т.е. в районе имеется существенная нагрузка горячего водоснабжения. При применении такого метода регулирования становится возможным удовлетворять нагрузку ГВ без дополнительного расхода воды на ГВ ($G_{\text{ГВ}}=0$) за счет надбавки температуры сетевой воды (повышенный температурный график).

Применяется двухступенчатая смешанная схема присоединения установок ГВ к тепловым сетям и повышенный температурный график. Регулятор расхода (РР) устанавливается на входной магистрали к абоненту и настраивается по расходу воды на отопление.

Принципиальная схема закрытой системы теплоснабжения приведены на рис.2.

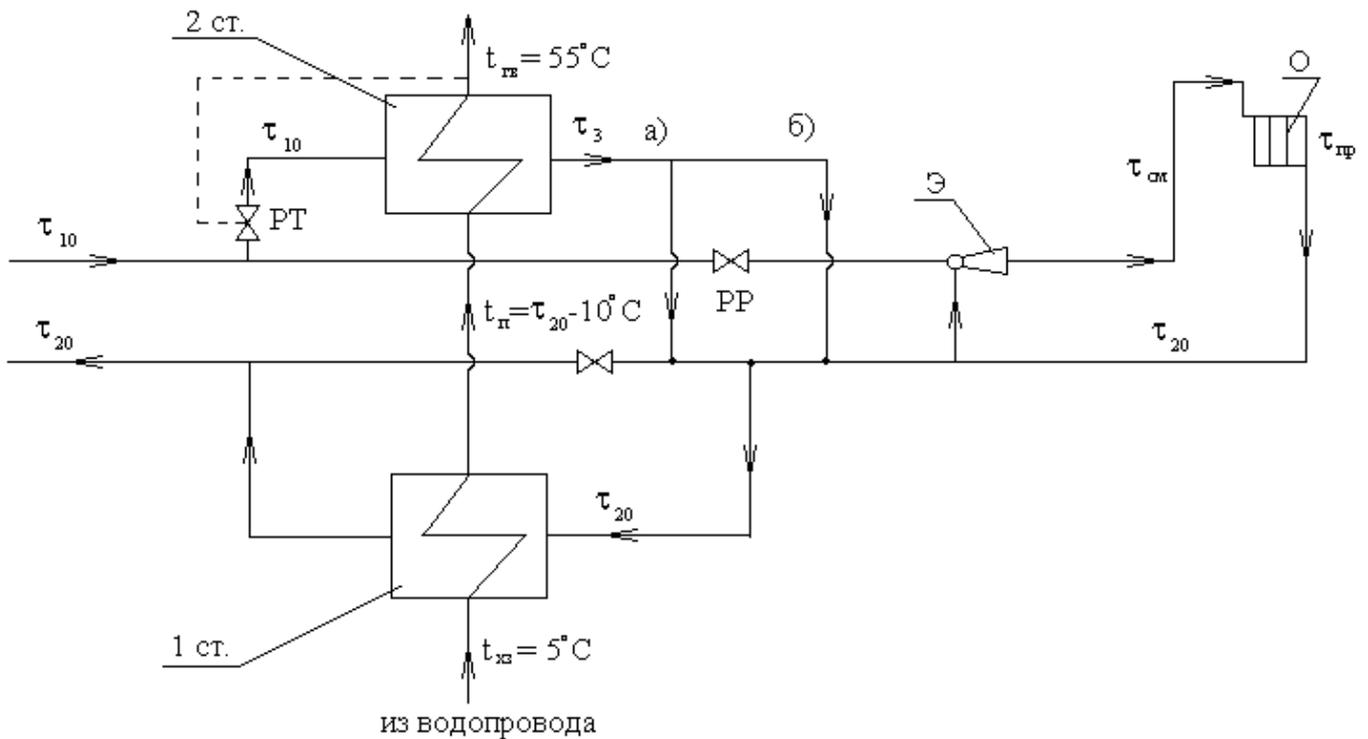


Рис. 2. Принципиальная схема закрытой системы теплоснабжения:

- а) – параллельная схема подключения подогревателей ГВ;
- б) – 2- ступенчатая смешанная схема;
- О – отопительный прибор;
- Э – элеватор смешения системы отопления;
- 1 ст. – первая ступень подогрева воды для ГВ;
- 2 ст. – вторая ступень подогрева воды для ГВ;
- РТ – регулятор температуры;
- РР – регулятор расхода

7.2. Открытая система теплоснабжения:

а) центральное качественное регулирование по отопительной нагрузке.

Отопительная установка и ГВ присоединены к тепловым сетям по принципу «несвязанного» регулирования. Для поддержания постоянного расхода воды в системе отопления перед элеватором устанавливается регулятор расхода (РР). Необходимый расход сетевой воды на ГВ устанавливается регулятором температуры (РТ). В этой системе следует принять нормальный отопительный график с точкой излома при 55°C ;

б) центральное качественное регулирование по суммарной нагрузке отопления и ГВ.

Отопление и ГВ присоединяются по принципу «связанного» регулирования. В этом случае регулятор расхода устанавливается на общей подающей линии, т.е. до места подключения системы ГВ, и поддерживает постоянный расход воды на ввод в целом (G_0).

Расход воды на отопление здесь переменный. На горячее водоснабжение также устанавливается регулятор температуры. Для этой системы применяется «скорректированный» температурный график при качественном регулировании, т.е. постоянном общем расходе воды в подающем трубопроводе.

На схеме ввода должны быть показаны элеватор, подогреватели ГВ, грязевики, регуляторы расхода и температуры, регулятор давления (подпора), основные контрольно-измерительные приборы и запорная арматура. Кроме того, должно быть показано подключение циркуляционного трубопровода ГВ с насосом и обратным клапаном.

Для подключения системы вентиляции разрешается показать только соответствующие штуцеры и арматуру. Системы отопление и вентиляции должны присоединяться к тепловым сетям по зависимой схеме. По независимой схеме они присоединяются для зданий большой этажности (более 12 этажей) и в особых случаях, обусловленных высокими температурами и давлениями в тепловой сети.

Примеры принципиальных схем присоединения потребителей к тепловым сетям можно найти в [5,7].

Принципиальная схема открытой системы теплоснабжения показана на рис.3.

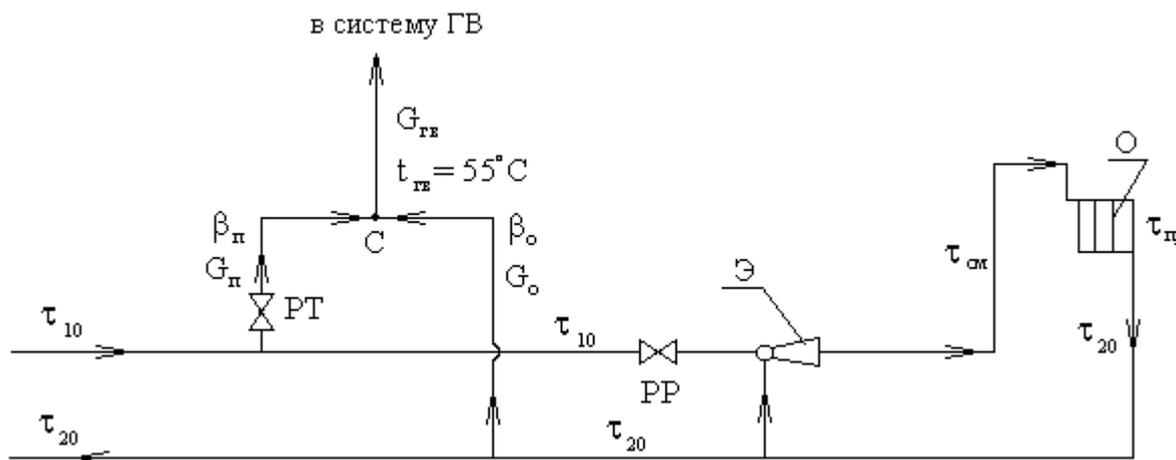


Рис. 3. Принципиальная схема открытой системы теплоснабжения:

- С – смеситель;
- О – отопительный прибор;
- Э – элеватор отопления;
- $\beta_{\text{п}}$ – доля воды из подающей системы теплоснабжения;
- $\beta_{\text{о}}$ – то же из обратной системы теплоснабжения;
- РТ – регулятор температуры;
- РР – регулятор расхода

8. РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛА

В задачу регулирования отпуска тепла входит определение изменения количества тепла, поступающего из тепловой сети в местную систему абонента, в зависимости от температуры наружного воздуха.

Для двухтрубных водяных тепловых сетей принимается центральное качественное регулирование отпуска тепла, которое осуществляется путем изменения температуры теплоносителя при постоянном его расходе. Изменение температуры теплоносителя при изменении температуры наружного воздуха осуществляется на ТЭЦ (в котельной). Различают два графика температур: по отопительной нагрузке (отопительный график температур воды) и по совместной нагрузке отопления и ГВ (повышенный температурный график). В обоих случаях центральное качественное регулирование отпуска теплоты ограничивается наименьшими температурами воды в подающем трубопроводе, необходимыми для подогрева воды, поступающей в системы ГВ потребителей (точки излома температурного графика): для закрытых систем теплоснабжения – не менее 65°C , для открытых систем теплоснабжения – не менее 55°C .

8.1. Построение нормального отопительного температурного графика

Центральное качественное регулирование по отопительной нагрузке принимается в системах при тепловой нагрузке жилищно-коммунального сектора менее 65% от суммарной тепловой нагрузки и доле средней нагрузки горячего водоснабжения менее 15% от расчетной нагрузки отопления.

Температуры сетевой воды в подающем трубопроводе τ_{10} , после системы отопления τ_{20} и после элеватора $\tau_{см}$, в зависимости от наружной температуры воздуха, определяются по формулам [4]:

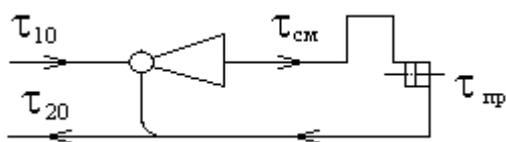
$$\tau_{10} = t_g + (\tau'_{np} - t_g) \cdot \bar{Q}_o^{0,8} + (\tau'_{10} - \tau'_{np}) \cdot \bar{Q}_o, \quad (8.1)$$

$$\tau_{20} = \tau_{10} - (\tau'_{10} - \tau'_{20}) \cdot \bar{Q}_o, \quad (8.2)$$

$$\tau_{см} = \tau_{10} - (\tau'_{10} - \tau'_{см}) \cdot \bar{Q}_o, \quad (8.3)$$

где $\tau'_{np} = \frac{\tau'_{см} + \tau'_{20}}{2} = \frac{95 + 70}{2} = 82,5^{\circ}\text{C}$ - средняя температура воды в отопительных приборах;

$$\bar{Q}_o = \frac{Q_o}{Q'_o} = \frac{t_g - t_n}{t_g - t_{po}} = \frac{18 - t_n}{18 - t_{po}} - \text{относительная тепловая нагрузка отопления};$$



Q_o – расход тепла на отопление при любой (текущей) температуры наружного воздуха t_n , Вт;

Q'_o – максимальный (расчетный) расход тепла на отопление при расчетной $t_n = t_{po}$ температуре наружного воздуха, Вт. Индекс « ' » в приведенных формулах относится к наружной температуре для проектирования отопления t_{po} .

Например, при температурном графике 150/70° С в формулы необходимо подставлять: $\tau'_{10}=150^\circ \text{ С}$; $\tau'_{20}=70^\circ \text{ С}$; $\tau'_3=95^\circ \text{ С}$; $\tau'_{np}=82,5^\circ \text{ С}$; $t_b=18^\circ \text{ С}$.

Точка излома температурного графика делит отопительный период на два диапазона. 1 – в интервале наружных температур $t_n=8^\circ \text{ С} \div t'''_n$, 2 – в интервале температур $t'''_n \div t_{po}$. Граница между диапазонами (точка излома τ''') находится графически в точке пересечения кривой $\tau_{10}=f(t_n)$ с горизонтальной линией, соответствующей $\tau_{10}=65^\circ \text{ С}$ для закрытых систем теплоснабжения и $\tau_{10}=55^\circ \text{ С}$ для открытых систем. В диапазоне наружных $t'''_n \div t_{po}$ (t'''_n – температура в точке излома) осуществляется центральное качественное регулирование, при этом расход сетевой воды на отопление остается постоянным.

Так, для температурного графика $\tau_1/\tau_2=150^\circ/70^\circ \text{ С}$ расчетные уравнения (8.1 – 8.3) принимают вид:

$$\tau_{10} = 18 + 64,5 \cdot \left(\frac{18 - t_n}{18 - t_{po}} \right)^{0,8} + 67,5 \cdot \left(\frac{18 - t_n}{18 - t_{po}} \right), \quad (8.4)$$

$$\tau_{20} = \tau_{10} - 80 \cdot \left(\frac{18 - t_n}{18 - t_{po}} \right), \quad (8.5)$$

$$\tau_{cm} = \tau_{10} - 55 \cdot \left(\frac{18 - t_n}{18 - t_{po}} \right). \quad (8.6)$$

Задаваясь значениями температур наружного воздуха в диапазоне $t_{po} \div 8^\circ \text{ С}$ (через интервал в 5° С) и значениями t_{po} для своего города, получим расчетные температуры воды в тепловых сетях и данные расчета сведем в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Расчетные температуры воды в тепловой сети

$t_n, ^\circ \text{ С}$	$t_b, ^\circ \text{ С}$	$\frac{18-t_n}{18-t_{po}}$	$\left(\frac{18-t_n}{18-t_{po}} \right)^{0,8}$	$64,5 \cdot \left(\frac{18-t_n}{18-t_{po}} \right)^{0,8}$	$67,5 \cdot \left(\frac{18-t_n}{18-t_{po}} \right)$	$\tau_{10}, ^\circ \text{ С}$	$80 \cdot \left(\frac{18-t_n}{18-t_{po}} \right)$	$\tau_{20}, ^\circ \text{ С}$	$55 \cdot \left(\frac{18-t_n}{18-t_{po}} \right)$	$\tau_{cm}, ^\circ \text{ С}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
t_{po}	18									
-30	18									
-25	18									
-20	18									
-15	18									
-10	18									
-5	18									
0	18									
5	18									
10	18									
15	18									
18	18	0	0	0	0	18	0	18	0	18

По полученным данным табл. 8.1 строим температурный график воды в тепловых сетях в зависимости от температуры наружного воздуха. Для этого по оси абсцисс откладываем температуру наружного воздуха (t_n), а по оси ординат – температуры воды в тепловой сети (τ_{10}, τ_{20}) и абонентской установке (τ_{cm}).

Точка излома температурного графика находится графически при пересечении кривой $\tau_{10} = f(t_n)$ с горизонтальной линией, соответствующей $\tau_{10} = 65^\circ\text{C}$ для закрытых и $\tau_{10} = 55^\circ\text{C}$ для открытых систем теплоснабжения.

Точка излома температурного графика делит отопительный период на два диапазона: 1 диапазон в интервале температур наружного воздуха $t_n = +8^\circ\text{C} \div t''_n$ (количественное регулирование); 2 диапазон – в интервале температур $t''_n \div t'_{po}$ (качественное регулирование).

Построенный температурный график качественного регулирования отпуска тепла по отопительной нагрузке показывает, что с понижением температуры наружного воздуха отпуск тепла потребителям увеличивается. При этом расход воды в сетях остается постоянным ($G = \text{const}$), а температура воды – увеличивается ($\tau = \text{var}$) и достигает своего максимума при расчетной температуре наружного воздуха для проектируемого на отопление (t'_{po}). Индексы на рис. 4,5 относятся:

- ' _____ при t'_{po} (расчетная температура для отопления);
- '' _____ при t''_{dv} (расчетная температура для вентиляции);
- ''' _____ при t'''_n (расчетная температура для излома температурного графика);
- _____ при t_n (при любой температуре наружного воздуха).

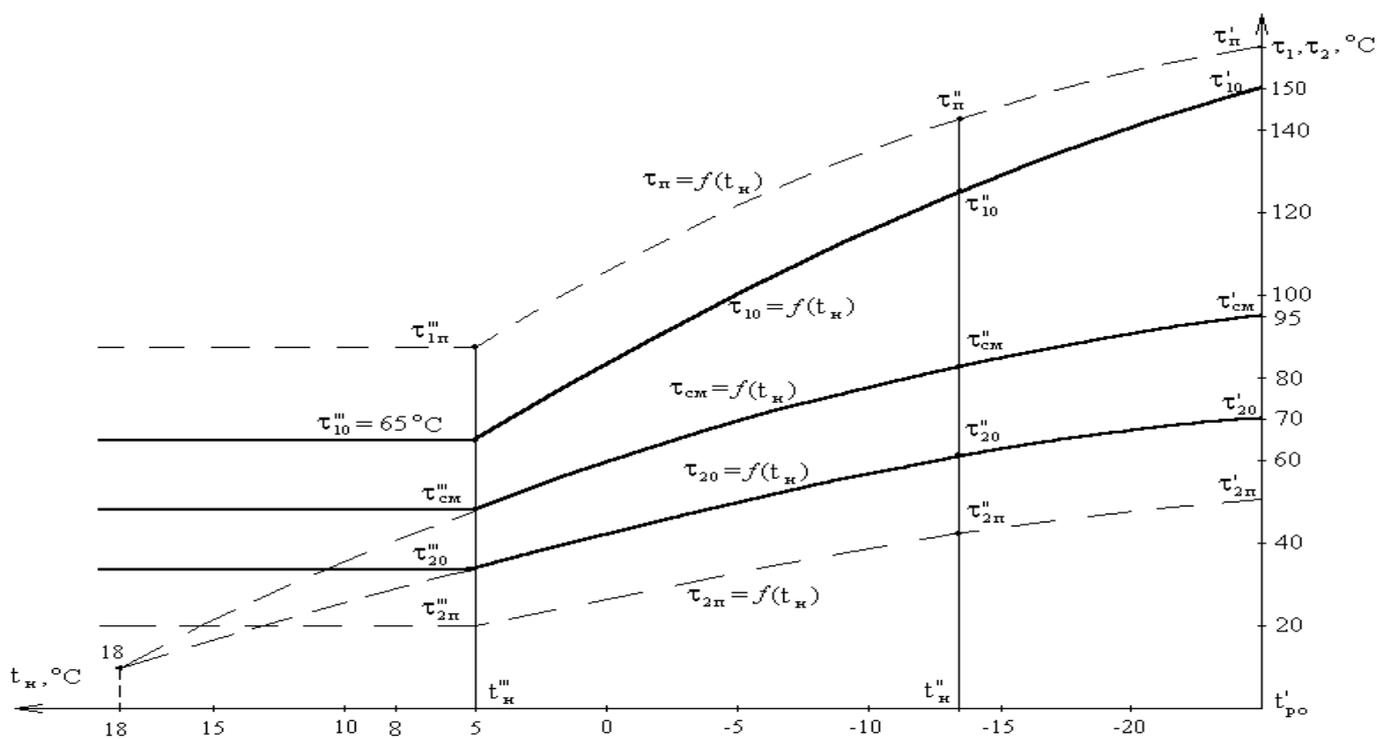


Рис. 4. Отопительный (τ_{10}) и повышенный (τ_{1n}) температурные графики отпуска тепла потребителям

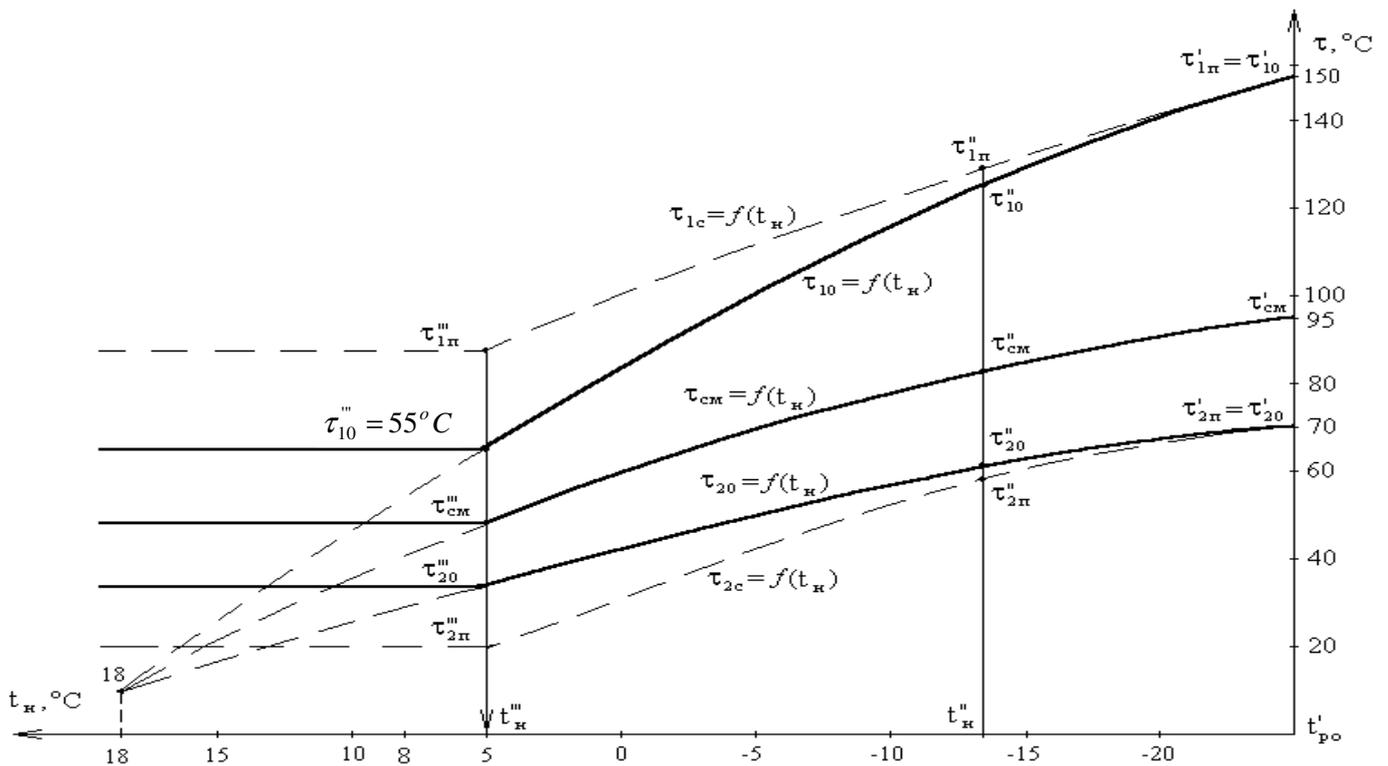


Рис. 5. Отопительный (τ_{10}) и скорректированный (τ_{1c}) температурные графики отпуска тепла потребителям

8.2. Построение повышенного температурного графика для закрытой системы теплоснабжения

Повышенный температурный график применяется в закрытых системах теплоснабжения при соотношении тепловых нагрузок $\frac{Q_{26.}}{Q_o} > 15\%$, когда регулирование отпуска осуществляется по суммарной нагрузке отопления и ГВ.

Режим регулирования рассчитывается из условия постоянного расхода сетевой воды на тепловой пункт, равного отопительному. Расход сетевой воды на ГВ при этом не учитывается, т.е. $G_{ГВ} = 0$.

Расчет графика состоит в определении температур сетевой воды в подающей $\tau_{1п}$ и обратной $\tau_{2п}$ магистралях в зависимости от температуры наружного воздуха. В качестве расчетного принимается «балансовый» расход тепла на горячее водоснабжение, равный $Q_{ГВ}^б = K_б \cdot Q_{ГВ}$, где $K_б = 1,2$ - балансовый коэффициент, учитывающий неравномерность суточного графика горячего водоснабжения.

Предварительно строится нормальный отопительный график $\tau_{10} = f(t_n)$ и $\tau_{20} = f(t_n)$.

Для произвольной температуры наружного воздуха $t_n = t'''_n$ и "балансового" расхода тепла на горячее водоснабжение, температуры сетевой воды по повышенному графику определяются по формулам

$$\tau_{1n} = \tau_{10} + \rho_{\delta} \cdot (\tau'_{10} - \tau'_{20}) \cdot \left(1 - \left(\frac{\tau_{20} - t_x}{\tau'''_{20} - t_x} \right) \cdot Q''_{\delta} \right); \quad (8.7)$$

$$\tau_{2n} = \tau_{20} - \rho_{\delta} \cdot (\tau'_{10} - \tau'_{20}) \cdot \left(\frac{\tau_{20} - t_x}{\tau'''_{20} - t_x} \right) \cdot Q''_{\delta}, \quad (8.8)$$

где $\rho_{\delta} = \frac{Q'_{\delta}}{Q'_o} = \frac{K_{\delta} \cdot Q_{\delta}}{Q'_o} = K_{\delta} \cdot \rho_{cp}$ - отношение "балансовой" нагрузки ГВ к расчетной на отопление;

$\rho_{cp} = \frac{Q_{\delta}}{Q'_o}$ - типичное для данного района теплоснабжения отношение среднечасовой нагрузки ГВ к расчетной на отопление (определяется из табл. п. 2), $\rho = 0,25$;

τ'_{10} и τ'_{20} - расчетные температуры сетевой, воды, принятые при построении отопительного графика;

$\tau'''_{20} = \tau'''_{нб} - \delta$ - производительность нижней ступени подогревателя в долях от суммарной нагрузки ГВ обеих ступеней;

$\tau'''_{нб} = \tau'''_{20} - \delta$ - температура водопроводной воды после нижней ступени подогревателя при балансовой нагрузке в точке излома графика;

$\delta t''' = 5 \div 7^{\circ} \text{C}$ - подогрев воды в нижней ступени;

τ'''_{20} - принимаются в точке излома отопительного графика;

τ_{10} и τ_{20} - температуры воды в подающей и обратной линиях по отопительному графику при t_n , для которых определяются $\tau_{1п}$ и $\tau_{2п}$;

t_g , t_x - температуры горячей и холодной водопроводной воды. Результаты сводятся в табл П. 3, по которой строится повышенный температурный график, приведенный на рис. 5.

8.3. Построение «скорректированного» температурного графика для открытой системы теплоснабжения

Скорректированные температурные графики применяются в открытых системах теплоснабжения при соотношении тепловых нагрузок $0,15 \leq \frac{Q_{\delta}}{Q_o} \leq 0,3$,

когда регулирование отпуска осуществляется по суммарной нагрузке отопления и ГВ. Расход воды в подающей линии поддерживается постоянным в течение отопительного сезона и равным расчетному на отопление.

Задача расчета режима центрального регулирования состоит в определении, при различных наружных температурах и балансовой нагрузке горячего водоснабжения $Q_{\text{гв}}^{\delta}$, температур сетевой воды τ_1 и τ_2 в подающей и обратной магистралях.

Методика расчета состоит в следующем.

Определяется относительный расход воды на отопление при любом расходе тепла на отопление Q_o и балансовой нагрузке горячего водоснабжения $Q_{\text{гв}}^{\delta}$ по формуле:

$$\overline{G}_o = \frac{G_o}{G'_o} = \frac{1 - 0,5 \cdot \frac{\rho_{\delta}(\tau'_{\text{см}} - \tau'_{20})}{t_z - t_x}}{1 + \frac{(t_z - t_x) \cdot \rho_{\delta}}{(t_z - t_x) \cdot Q_o} - \frac{(\tau'_{\text{нп}} - t_{\text{г}}) \cdot \rho_{\delta}}{(t_z - t_x) Q_o^{0,25}}}, \quad (8.9)$$

$\tau_{20} > t_{\text{г}}$, в формулу следует подставлять $t_{\text{г}}$. Температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах:

$$\tau_{1c} = t_{\text{г}} + (\tau'_{\text{нп}} - t_{\text{г}}) \cdot \overline{Q}_o^{0,8} + (\tau'_1 - \tau'_{\text{нп}}) \cdot \frac{\overline{Q}_o}{G_o}, \quad (8.10)$$

$$\tau_{2c} = t_{\text{г}} + (\tau'_{\text{нп}} - t_{\text{г}}) \cdot \overline{Q}_o^{0,8} + 0,5 \cdot (\tau'_{\text{см1}} - \tau'_{20}) \cdot \frac{\overline{Q}_o}{G_o}. \quad (8.11)$$

Предварительно строится нормальный отопительный график. Точка излома скорректированного графика принимается при той же температуре, что и у отопительного графика. «Скорректированный» температурный график приводится на рис. 5.

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ВОДЫ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

9.1. На отопление

В диапазоне наружных температур воздуха $t''_{\text{н}} \div t'_{\text{по}}$ осуществляется центральное качественное регулирование отпуска тепла, при этом расход сетевой воды на отопление постоянен и равен [3]:

$$G'_o = \frac{3,6 \cdot Q'_o \cdot 10^3}{c \cdot (\tau'_1 - \tau'_2)}, \text{ Т/ч}, \quad (9.1)$$

$$G''_o = \frac{3,6 \cdot Q''_o \cdot 10^3}{c \cdot (\tau''_1 - \tau''_2)}, \text{ Т/ч}, \quad (9.2)$$

где Q'_o, Q''_o – тепловые потоки на отопление при $t'_{\text{по}}$ и $t''_{\text{н}}$, МВт;

τ''_1 и τ''_2 – температура сетевой воды подающей и обратной магистрали при $t''_{\text{н}}$;

τ'_1 и τ'_2 – температура сетевой воды подающей и обратной магистрали при $t'_{\text{по}}$.

В диапазоне наружных температур $+8 \div t''_н$ температура сетевой воды остается постоянной ($\tau_1 = \tau''_1 = 65^\circ\text{C}$) и регулирование отопительной нагрузки осуществляется местными пропусками (количественное регулирование). При этом переменный расход воды в сети определяется по формуле

$$G_o = G''' \cdot \frac{t_g - t_n}{t_g - t_n''}, \text{ Т/ч,} \quad (9.3)$$

индекс «'''» относится к точке излома температурного графика.

Результаты расчета сводятся в табл. П. 4.

9.2. На вентиляцию

В диапазоне наружных температур воздуха $t''_н \div t'_{po}$ осуществляется центральное качественное регулирование отпуска тепла с рециркуляцией нагретого воздуха, при этом расход сетевой воды на вентиляцию определяется по формуле

$$G'_g = \frac{3,6 \cdot Q'_g \cdot 10^3}{c \cdot (\tau'_1 - \tau'_2)}, \text{ Т/ч,} \quad (9.4)$$

$$G''_g = \frac{3,6 \cdot Q''_g \cdot 10^3}{c \cdot (\tau''_1 - \tau''_2)}, \text{ Т/ч,} \quad (9.5)$$

где $Q'_в, Q''_в$ – тепловые потоки на вентиляцию при t'_{po} и $t''_н$, МВт;

τ''_1 и τ''_2 – температура сетевой воды подающей и обратной магистрали при $t''_н$;

τ'_1 и τ'_2 – температура сетевой воды подающей и обратной магистрали при t'_{po} .

В диапазоне наружных температур $t''_н \div t'''_н$ осуществляется качественное регулирование отпуска тепла, при этом расход сетевой воды на вентиляцию остается постоянным и определяется по формуле

$$G'''_g = \frac{3,6 \cdot Q'''_g \cdot 10^3}{c \cdot (\tau'''_1 - \tau'''_2)}, \text{ Т/ч,} \quad (9.6)$$

где $Q'''_в$ – тепловой поток на вентиляцию при $t'''_н$, МВт

τ'''_1 и τ'''_2 – температура сетевой воды подающей и обратной магистрали при $t'''_н$.

В диапазоне наружных температур $+8 \div t'''_н$ температура сетевой воды остается постоянной ($\tau_1 = 65^\circ\text{C}$) и регулирование отопительной нагрузки осуществляется местными пропусками (количественное регулирование). При этом переменный расход воды в сети определяется по формуле [3]

$$G_g = G'''_g \cdot \frac{t_g - t_n}{t_g - t_n''}, \text{ Т/ч.} \quad (9.7)$$

Результаты расчета сводятся в табл. П. 4.

9.3. На горячее водоснабжение

9.3.1. Закрытая система теплоснабжения

а) параллельная схема присоединения подогревателей

В диапазоне наружных температур воздуха $t'_{po} \div t'''_n$ расход сетевой воды на горячее водоснабжение определяется по формуле [3]

$$G'_{zg} = \frac{3,6 \cdot Q'_{zg} \cdot 10^3}{c \cdot (\tau'_1 - \tau'_3)}, \text{ Т/ч,} \quad (9.8)$$

$$G'''_{zg} = \frac{3,6 \cdot Q'''_{zg} \cdot 10^3}{c \cdot (\tau'''_1 - \tau'''_3)}, \text{ Т/ч,} \quad (9.9)$$

где $Q'_{гв}$, $Q'''_{гв}$ – тепловые потоки на горячее водоснабжение при t'_{po} и t'''_n , МВт;

τ'''_1 и τ'_1 – температура сетевой воды в подающем трубопроводе при t'''_n и t'_{po} , °С;

τ'''_3 и τ'_3 – температура сетевой воды в подающем трубопроводе после бойлера горячего водоснабжения, $\tau'_3 = \tau'''_3 = 30^\circ\text{С}$.

В диапазоне наружных температур $+8 \div t'''_n$ температура сетевой воды остается постоянной ($\tau_1 = 65^\circ\text{С}$) и расход сетевой воды на бойлере системы горячего водоснабжения тоже постоянный $G_{гв} = G'''_{гв}$;

б) двухступенчатая смешанная схема присоединения подогревателей к тепловой сети (рис. 2).

В диапазоне наружных температур воздуха $t'''_n \div t'_{po}$ расход сетевой воды на горячее водоснабжение определяется по формуле [3]

$$G'_{zg} = \frac{3,6 \cdot Q'_{zg} \cdot 10^3}{c \cdot (\tau'_1 - \tau'_2)} \cdot \left(\frac{55 - t'_n}{55 - t_{xz}} + 0,2 \right), \text{ Т/ч,} \quad (9.10)$$

$$G'''_{zg} = \frac{3,6 \cdot Q'''_{zg} \cdot 10^3}{c \cdot (\tau'''_1 - \tau'''_2)} \cdot \left(\frac{55 - t'''_n}{55 - t_{xz}} + 0,2 \right), \text{ Т/ч,} \quad (9.11)$$

где $Q'_{гв}$, $Q'''_{гв}$ – тепловые потоки на горячее водоснабжение при t'_{po} и t'''_n , МВт;

t'''_n и t'_n – температура водопроводной воды на выходе из 1 ступени подогревателя сетевой воды,

$$t'_n = \tau'_2 - 10^\circ\text{С}, \quad (9.12)$$

$$t'''_n = \tau'''_2 - 10^\circ\text{С}, \quad (9.13)$$

τ'_2 и τ'''_2 – температура сетевой воды в обратном трубопроводе на входе в 1 ступень подогревателя при t'_{po} и t'''_n ,

$$\tau'_2 = 70^\circ\text{С},$$

τ'''_2 – температура сетевой воды в обратном трубопроводе в точке излома температурного графика при t'''_n ,

$$10^\circ\text{С} – \text{термическое сопротивление бойлера, } ^\circ\text{С},$$

t_{x3} – расчетная температура холодной водопроводной воды в значении отопительный период года, $t_{x3}=+5^{\circ}\text{C}$.

При повышенном температурном графике расход воды на горячее водоснабжение не учитывается, т.е. $G_{ГВ}=0$.

9.3.2. Открытая система теплоснабжения

В открытой системе теплоснабжения воду на горячее водоснабжение отбирают непосредственно из подающей и обратной линии тепловой сети (рис.3).

В диапазоне наружных температур воздуха $t''_н \div t'_{ро}$ расход сетевой воды на горячее водоснабжение определяется по формуле [3]

$$G'_{зв} = \frac{3,6 \cdot Q'_{зв} \cdot 10^3}{c \cdot (55 - t_{x3})}, \text{ Т/ч}, \quad (9.14)$$

$$G'''_{зв} = \frac{3,6 \cdot Q'''_{зв} \cdot 10^3}{c \cdot (55 - t_{x3})}, \text{ Т/ч}, \quad (9.15)$$

где $Q'_{ГВ}$ и $Q'''_{ГВ}$ – тепловые потоки на горячее водоснабжение при $t'_{ро}$ и $t'''_н$, МВт.

Поскольку тепловые потоки на горячее водоснабжение в отопительный период при $t'''_н$ и $t'_{ро}$ одинаковы, то суммарный расход сетевой воды

$$G_{зв} = G_{зв}^n + G_{зв}^o = \beta_n \cdot G_{зв} + \beta_o \cdot G_{зв} = G_{зв} \cdot (\beta_n + \beta_o) = G_m \text{ или } \beta_n + \beta_o = 1.$$

Доля воды, поступающей из подающего и обратного трубопроводов тепловой сети, определяется по формуле [3]:

$$\beta_n = \frac{55 - \tau_2}{\tau_1 - \tau_2}, \quad (9.16)$$

$$\beta_o = 1 - \beta_n. \quad (9.17)$$

В диапазоне наружных температур воздуха $t''_н \div t'_{ро}$ эти значения принимают вид:

$$\beta_n = \frac{55 - (55)}{150 - 70} = \frac{0}{80} = 0;$$

$$\beta_o = 1 - 0 = 1;$$

$$\beta'''_н = \frac{55 - \tau'''_2}{\tau'''_1 - \tau'''_2} = \frac{55 - \tau'''_2}{55 - \tau'''_2} = 1;$$

$$\beta'''_о = 1 - \beta'''_н = 1 - 1 = 0.$$

Так, при наружной температуре воздуха $t'_{ро}$ вся вода в систему ГВ поступает из обратного трубопровода тепловой сети ($\beta'_о=0$)(при этом регулятор РТ на подающей магистрали полностью закрыт), при $t'''_н$ – из подающего трубопровода тепловой сети ($\beta'''_н=1$)(при этом регулятор РТ на подающей магистрали полностью открыт для прохода сетевой воды).

На всем диапазоне температур наружного воздуха $t''_н \div t'_{ро}$ часть воды поступает из подающего (β_n) и обратного (β_o) трубопровода тепловой сети. Но при этом $\beta_n + \beta_o = 1$.

В диапазоне температур наружного воздуха $+8^{\circ}\text{C} \div t''_n$ температура воды в тепловой сети остается постоянный ($\tau_1 = \tau''_1 = 55^{\circ}\text{C}$) и расход сетевой воды на горячее водоснабжение также постоянен и равен расходу в точке излома температурного графика, т.е. $G_{\text{ГВ}}^{\text{г}} = G_{\text{ГВ}}^{\text{н}}$ и водозабор осуществляется только из подающей магистрали тепловой сети, т.к. $\beta_{\text{п}} = 1$.

Этот расход сетевой воды, поступающей в систему ГВ, складывается из расхода из подающей линии тепловой сети $G_{\text{ГВ}}^{\text{п}}$ и обратной линии тепловой сети $G_{\text{ГВ}}^{\text{о}}$, т.е. $G_{\text{ГВ}} = G_{\text{ГВ}}^{\text{п}} + G_{\text{ГВ}}^{\text{о}}$. Количество сетевой воды, отбираемой из подающего и обратного трубопроводов, определяется по формулам:

$$G_{\text{ГВ}}^{\text{п}} = \beta_{\text{п}} \cdot G_{\text{ГВ}}, \text{ т/ч}, \quad (9.18)$$

$$G_{\text{ГВ}}^{\text{о}} = \beta_{\text{о}} \cdot G_{\text{ГВ}}, \text{ т/ч}. \quad (9.19)$$

9.4. Расход сетевой воды в неотапливаемый (летний) период года

9.4.1. Закрытая система теплоснабжения

В неотапливаемый (летний) период года потребителями сетевой воды является только системы горячего водоснабжения абонентов, т.к. системы отопления и вентиляции отключаются при температуре наружного воздуха $t_n \geq +8^{\circ}\text{C}$.

Расход сетевой воды (т/ч) на ГВ в 2-трубных водяных тепловых сетях определяется по формуле [3]:

$$G_{\text{зв}}^{\text{л}} = \beta \cdot G_{\text{зв.мах}}^{\text{л}}, \quad (9.20)$$

где β – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотапливаемый период по отношению к отопительному периоду, принимается для жилищно-коммунального сектора равным 0,8 (для курортных и южных городов $\beta = 1,5$);

$G_{\text{ГВ.мах}}^{\text{л}}$ – максимальный сетевой расход воды (т/ч) на горячее водоснабжение в летний период для всех схем присоединения,

$$G_{\text{зв.мах}}^{\text{л}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{зв.мах}}^{\text{л}} \cdot 10^3}{c \cdot (\tau''_1 - \tau''_3)}, \quad (9.21)$$

где $Q_{\text{ГВ.мах}}^{\text{л}}$ – максимальный тепловой поток на горячее водоснабжение в летний период года, τ''_1 – температура сетевой воды, поступающей в подогреватель ГВ, в летний период года, $\tau''_1 = 65^{\circ}\text{C}$;

τ''_3 – температура сетевой воды, выходящей из подогревателя ГВ, $\tau''_3 = 30^{\circ}\text{C}$. [3].

Двухступенчатая схема подключения подогревателя ГВ в летние период года переходит на параллельную схему, т.к. система отопления отключается и первая ступень подогревателя ГВ не работает и производят переключение 2-ступенчатой схемы на 1-ступенчатую параллельную.

9.4.2. Открытая система теплоснабжения

Расход сетевой воды на ГВ (т/ч) в двухтрубных открытых водяных тепловых сетях определяется по формуле [3]

$$G_{ГВ}^л = \beta \cdot G_{ГВ.маx}^л,$$

где $G_{ГВ.маx}^л$ – максимальный расход сетевой воды (т/ч) на ГВ в летний период года определяется по формуле

$$G_{ГВ.маx}^л = \frac{3,6 \cdot Q_{ГВ.маx}^л \cdot 10^3}{c \cdot (55 - t_{хл})}, \quad (9.22)$$

где $Q_{ГВ.маx}^л$ – максимальный тепловой поток на ГВ в летний период года, МВт (из формулы (4.10));

55°C – расчетная температура горячей воды, поступающей в систему ГВ;

$t_{хл}$ – расчетная температура холодной водопроводной воды в летний период, $t_{хл} = +15^\circ\text{C}$.

Полученные значения расходов сетевой воды на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение сводим в табл. П. 4 и строим график потребления за весь период года (рис. 6,7).

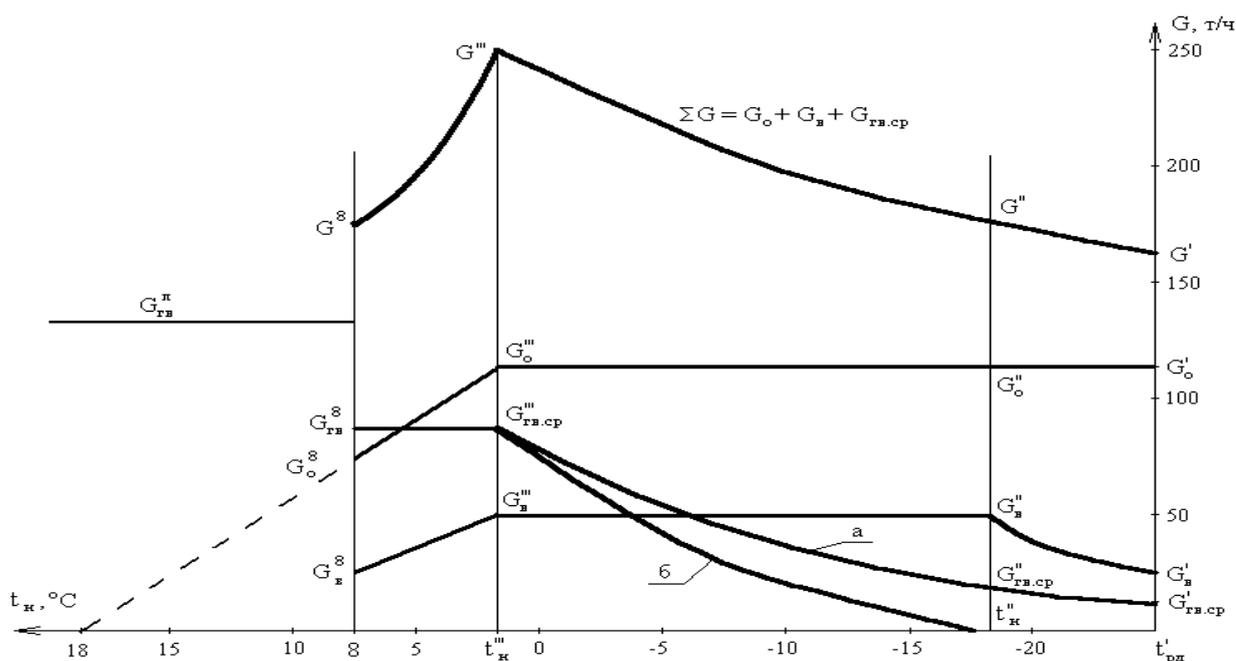


Рис. 6. Графики расходов сетевой воды в закрытой системе теплоснабжения:

а – параллельная схема подключения подогревателей к тепловой сети,
б – двухступенчатая схема

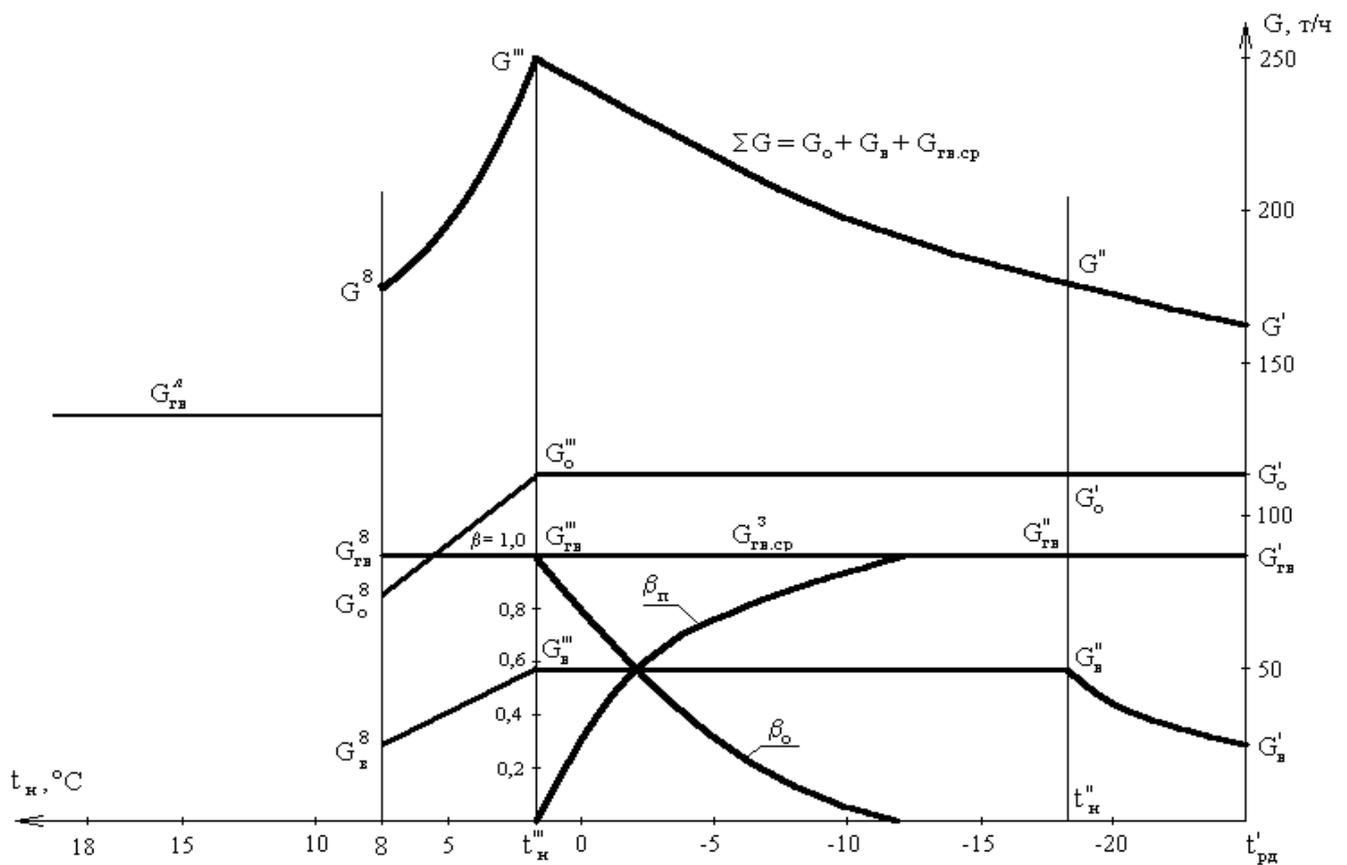


Рис. 7. Графики расходов сетевой воды в открытой системе теплоснабжения

10. ТРАССА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

От заданного на генплане места расположения источника тепла необходимо определить направление прокладки трубопроводов, т.е. разработать план трассы тепловых сетей от источника к каждому из тепловых потребителей (кварталу). При этом следует руководствоваться указаниями соответствующих разделов [3]. Учитывая, что до 70% капиталовложений в сети расходуется на строительные-монтажные и земляные работы, необходимо тщательно проработать варианты трассы и профиля прокладки сетей с целью сокращения начальных вложений и сроков строительства. Трасса должна иметь наименьшую длину и проходить в зоне с максимальной тепловой плотностью.

Выбранная схема тепловых сетей вместе с высокой экономичностью затрат на исполнение должна отвечать современным требованиям срока службы и надежности эксплуатации.

При тепловой нагрузке города от 50 до 150 МВт диаметр магистральной линии не превышает 800 мм со сроком ликвидации аварии до 24 часов, поэтому в этом случае принимается тупиковая схема тепловых сетей с постепенным

уменьшением диаметров по мере снижения нагрузки. С целью уменьшения аварийных утечек воды и сокращения времени наполнения труб сетевой водой после ликвидации аварии по длине магистрального трубопровода располагают секционирующие задвижки, с помощью которых производят двухстороннее отключение участков сети при авариях. Секционирующие задвижки устанавливаются на расстоянии 1÷1,5 км по трассе. На магистральных направлениях с диаметром трубы более 600 мм допускается увеличение расстояния между секционирующими задвижками до 3 км, если ТЭЦ располагает мощной водоподогревательной станцией, способной заполнить секционный участок подпиточной водой за время не более 5 час.

При тепловых нагрузках более 150 МВт диаметры магистральных трубопроводов могут превышать 800 мм со сроком ликвидации аварии более 24 часов. В этом случае подачу тепла следует предусматривать по двум магистралям с обеспечением надежности и резервирования централизованного теплоснабжения систем большой протяженности. Для этого присоединение распределительных сетей к магистральным трубопроводам производят посредством контрольно-распределительных пунктов (КРП), на которых должны размещаться: секционирующие задвижки, головные задвижки распределительных сетей, задвижки на блокирующих связях (блокирующие переемычки) между смежными магистралями и резервными источниками теплоснабжения (районными котельными). При необходимости в КРП могут размещаться насосные подкачивающие или смесительные установки, а также водоподогреватели. При диаметрах магистралей до 800 мм блокировочные переемычки можно не устанавливать, поскольку на время непродолжительной аварии (до 24 часов) допускается отключение потребителей с использованием аккумулирующей способности отапливаемых зданий. Диаметры блокировочных переемычек рассчитывают на пропуск аварийного расхода воды, принимаемого не менее 70% от расчетного. Переемычки используют для аварийной и резервной подачи избытков тепла между магистралями. По ним производится также переброс теплоносителя от резервных источников тепла, например, пиковых котельных района (ПКР). Блокировочная переемычка может быть однострубной, и использоваться попеременно как подающая, так и обратная линия. Для этого в КРП производят соответствующее присоединение переемычки к магистральным трубам. Присоединение распределительных сетей к магистральным осуществляется в КРП с обеих сторон секционирующей задвижки.

Благодаря такому двухстороннему питанию обеспечивается непрерывное теплоснабжение при повреждении любого участка магистрали.

При трассировке тепловых сетей следует стремиться к двухсторонней нагрузке магистралей. В каждый квартал, как правило, предусматривается по одному вводу. Подключение противоположных кварталов целесообразно производить в одной общей камере. При нанесении на генплан трассы тепловых сетей необходимо указывать диаметры и длины участков. Узловые камеры пронумеровать. У каждого квартала поставить его суммарную тепловую нагрузку.

11. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

11.1. Определение расчетных расходов сетевой воды

Количество сетевой воды, по которому производится гидравлический расчет тепловых сетей, определяется в соответствии с принятым методом регулирования отпуска тепла, схемой присоединения абонентских подогревателей ГВ, наличием у подогревателей баков-аккумуляторов.

Суммарные расчетные расходы сетевой воды (кг/ч) в двухтрубных тепловых сетях в открытой и закрытой системах теплоснабжения при качественном регулировании отпуска теплоты следует определять по формуле [3]:

$$G_p = G'_o + G'_в + k_3 \cdot G_{гв.ср} , \quad (11.1)$$

где G'_o – максимальный расход воды на отопление при t'_{po} , Вт;

$G'_в$ – максимальный расход воды на вентиляцию при $t'_{рв}$, Вт;

$G_{гв.ср}$ – средний расход воды на горячее водоснабжение за отопительный период, Вт;

k_3 – коэффициент, учитывающий долю среднего расхода воды на горячее водоснабжение (при регулировании по нагрузке отопления), следует принимать по табл. 11.1. При регулировании по совмещенной нагрузке отопления и ГВ коэффициент принимается равным 0.

Таблица 11.1

Система теплоснабжения с тепловым потоком	Значение коэффициента k_3
Открытая, МВт	
100 и более	0,6
менее 100	0,8
Закрытая, МВт	
100 и более	1,0
менее 100	1,2

Примечание. Для закрытых систем теплоснабжения при регулировании по нагрузке отопления и тепловым потоком менее 100 МВт при наличии баков-аккумуляторов у потребителей коэффициент k_3 следует принимать равным 1.

Для потребителей при $\frac{Q_{гв.мах}}{Q_o} > 1,0$ при отсутствии баков-аккумуляторов, а

также с тепловым потоком 10 МВт и менее суммарный расход воды следует определять по формуле

$$G_p = G'_o + G'_в + G_{гв.мах} \quad (11.2)$$

Расчетный расход воды (кг/ч) в двухтрубных водяных тепловых сетях в неотапительный (летний) период года следует определять по формуле [3]

$$G_p^л = \beta \cdot G_{гв.мах}^л . \quad (11.3)$$

Перед гидравлическим расчетом составляется расчетная схема магистральных и распределительных тепловых сетей. На схеме должны быть показаны источники тепла, трасса тепловых сетей с нумерацией участков между ответвлениями, длины расчетных участков и расходы теплоносителя.

11.2. Определение диаметров трубопроводов и потерь напора в тепловых сетях

Целью гидравлического расчёта тепловой сети является определение диаметров трубопроводов и потерь давления по длине трассы при известных расходах теплоносителя. Расчетный расход воды на каждом участке сети определяется как сумма расчетных расходов на кварталы, присоединенные к данному участку сети. Эти расходы берутся из табл. П. 4.

Гидравлический расчет выполняется по таблицам [4] и сводится в табл. П.5.

Гидравлический расчет производится для основной магистрали и одного ответвления. Главная магистраль выбирается как самая длинная от источника тепла к конечному потребителю. Точки присоединения ответвлений к главной магистрали нумеруются от источника тепла к концу трассы (например, ТЭЦ–1, 1–2 и т.д.). Первым расчетным участком должен быть участок, начинающийся от ТЭЦ.

Удельные потери на трение должны определяться на основе технико-экономических расчетов. Ввиду сложности этих расчетов допускается принимать: для магистральных сетей $R_l \leq 80$ Па/м (8 мм в. ст./п.м.); для ответвлений и распределительных тепловых сетей $R_l \leq 300$ Па/м (30 мм в. ст./п.м.) (при этом скорость движения воды в трубах $W \leq 1,5$ м/с). Потери давления в местных сопротивлениях выражаются через линейные потери давления с помощью эквивалентной длины участка $l_э$, на которых линейное падение давления равно потерям в местных сопротивлениях.

Суммарные потери давления в трубопроводе определяются по формуле [3]:

$$\Delta p = \Delta p_{л} + \Delta p_{м} = R_l \cdot l + R_l \cdot l_э = R_l \cdot (l + l_э) = R_l \cdot l_{пр}, \text{ Па}, \quad (11.4)$$

где $l_{пр}$ – суммарные линейные и местные потери.

Суммарные потери напора определяются нарастающим потоком согласно выражению $\Delta H = \sum_i^n \Delta p_i$, где Δp_i – потеря напора на i -том участке; n – количество участков. Данные этой графы используются при построении пьезометрического графика.

С целью сокращения однотипных расчетов разрешается ограничиться гидравлическим расчетом только главной магистрали и одного ответвления. Невязка суммарных потерь давления в основной магистрали, начиная от источника присоединения ответвления и суммарных потерь давления, в ответвлении не должна превышать 10 – 15%.

При выполнении гидравлического расчета сможет руководствоваться литературой [4].

Окончательный гидравлический расчет производят при разработке монтажной схемы тепловой сети, где определяют все гидравлические сопротивле-

ния сети (задвижки, компенсаторы, переходы труб с диаметра на диаметр, углы и повороты трассы и т.д.) и находят их гидравлические сопротивления (l_3). Суммируя их, получают линейные и местные сопротивления по участкам и затем уточняют гидравлический расчет тепловой сети и данные сводят в бланк гидравлического расчета (табл.П. 5).

12. МОНТАЖНАЯ СХЕМА ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Разработать монтажную схему для одной главной магистрали и ответвлений от нее.

Составление монтажной схемы заключается в расстановке на трассе неподвижных опор, компенсаторов, тепловых камер и запорной арматуры.

Подающий трубопровод на схеме располагается с правой стороны по ходу воды от источника тепла.

Узлы теплофикационные (тепловые камеры) устанавливаются в местах подключения кварталов к тепловым сетям и при установке сальниковых компенсаторов на теплопроводах.

Расстояние между камерами разбивается подвижными опорами на компенсационные участки. В каждой камере устанавливаются неподвижные опоры. Расстояние между неподвижными опорами выбирается в зависимости от диаметра труб и типа компенсаторов (табл.П. 7). При $d_y < 250$ мм принять П-образные, а при $d_y > 250$ мм – сальниковые компенсаторы.

Все естественные повороты трассы теплосети под углом менее 130° должны быть использованы для самокомпенсации температурных удлинений трубопроводов. Повороты трассы под углом 130° и более закрепляются неподвижными опорами.

При подземной прокладке в городах применяются, в основном, сальниковые и П-образные компенсаторы, при надземной прокладке П-образные компенсаторы, а на низких опорах - сальниковые.

На всех ответвлениях от магистрали должна устанавливаться запорная арматура. На трубопроводах $d_y \geq 100$ мм предусматриваются секционирующие задвижки на расстоянии не более 1000 м друг от друга. Допускается увеличивать расстояние между секционирующими задвижками для $d_y = 350 - 500$ мм до 1500 м, а для $d_y \geq 600$ мм – до 3000 м.

Необходимо стремиться по возможности совмещать секционирующие задвижки с узловыми камерами. Перед секционирующими задвижками со стороны ТЭЦ предусмотреть перемычку между подающей и обратной магистралями диаметром, равным 0,3 диаметра трубопровода, с установкой двух задвижек и контрольным спускным вентилем между ними $d_y = 25$ мм. В высших точках трубопроводов (на монтажной схеме в тепловых камерах) должны быть показаны воздушники, а в нижних – спускники.

На схеме показать диаметры труб, компенсаторов, номера камер, воздушники и спускную арматуру, привязку теплосети, расстояние между неподвижными опорами, установку компенсаторов показать на генплане, согласно рекомендациям и указаниям [4,7].

13. ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ ГРАФИК ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

По результатам гидравлического расчета строится пьезометрический график для главной магистрали и ответвления (рис. 8).

За нулевую отметку рекомендуется принимать место установки сетевых насосов. По горизонтальной оси откладывается длина трассы (M_r 1:10 000), а по вертикальной - напор (M_v 1:500 или 1:1000).

По известным горизонталям на генплане на график наносится профиль местности для магистрали и ответвления. На профиле в принятом масштабе наносят высоты зданий и линию статического давления на 3–5 м выше высоты зданий. Построение пьезометров подающей и обратной магистралей производится на основании полученных потерь напора на участках (см. табл. П. 7).

Напор у наиболее удаленного потребителя принимать не менее 200 Па (20 м в. ст.). Потеря напора в подогревателях и пиковых котлах ТЭЦ принимается равной 300–400 Па (30–40 м в. ст.). На графике наносятся линия статики и линия "невскипания".

Построенный пьезометрический график должен удовлетворять следующим техническим условиям:

а) давление в местных системах отопления зданий не должно быть более 0,6 МПа (60 м в. ст.).

Если в некоторых зданиях это давление превышает 60 м, то их местные системы присоединяются по независимой схеме;

б) давление на всасе сетевых насосов должно быть не менее 5 м, во избежание кавитации насосов (вскипание горячей воды из-за низкого давления);

в) давление в обратной магистрали как в статическом, так и в динамическом (при работе сетевых насосов) режимах не должно быть ниже статической высоты зданий.

Если для некоторых зданий этого достигнуть не удастся, то после системы отопления зданий необходимо установить регулятор «подпора»;

г) пьезометрическое давление в обратной магистрали должно быть не менее 5 м для предупреждения подсоса воздуха в систему;

д) давление в любой точке подающей магистрали должно быть выше давления насыщения при данной температуре теплоносителя (условие «невскипания»), т.е. пьезометр подающей магистрали должен располагаться выше линии «невскипания». Например, при температуре воды в сети 150° С подающий пьезометр должен отстоять от уровня земли на расстоянии не менее 38 м;

е) полный напор за сетевыми насосами должен быть ниже давления, допускаемого по условиям прочности трубок сетевых подогревателей типа БО - 140М и ПСВ-230М. При теплоснабжении от водогрейных котельных эта величина может достигать до 250 м.

Пьезометрические графики ответвлений необходимо построить, исходя из условия, чтобы потери напора от источника тепла до конечных потребителей главной магистрали и ответвлений были бы примерно равны. Это может потребовать некоторой корректировки полученных ранее диаметров труб ответвлений. Пьезометрический график определяет полный (отсчитанный от одного общего горизонтального уровня) или пьезометрический (отсчитанный от уровня прокладки сети трубопровода) напор, а также располагаемый напор в отдельных точках тепловой сети и абонентских систем.

Рекомендации и примеры построения пьезометрических графиков приводятся в литературе [4, 5, 7] .

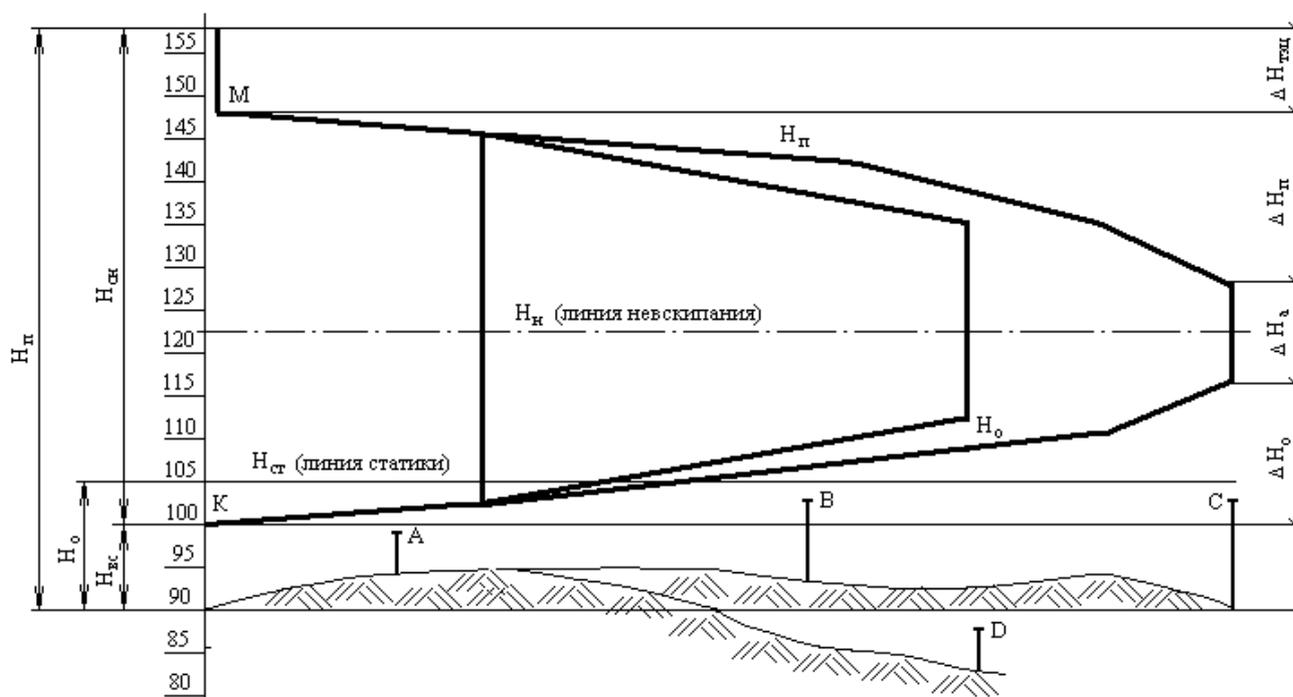


Рис. 8. Пьезометрический график водяной тепловой сети

14. СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

14.1. Выбор способа прокладки

В городах по архитектурным соображениям рекомендуется принимать подземную прокладку теплопроводов (бесканальную или в непроходных каналах). Студенту предоставляется право принимать конструкцию прокладки по

своему усмотрению, согласовав с руководителем. Для тепловых сетей с $d_y \leq 400$ мм должна предусматриваться преимущественно бесканальная прокладка [3].

При проектировании непроходных каналов тепловых сетей рекомендуется применять конструкции унифицированных сборных железобетонных каналов (серия ИС–01–04) типа Кл, Клс, Кс. На рис. 18 [4] и табл. П.12 приведены конструкции каналов для двухтрубных ТС и даны их размеры. Унифицированные одноячейковые каналы применяются при диаметре 700 - 900 мм.

При высоком уровне грунтовых вод необходимо предусматривать попутный дренаж.

На незастроенной территории (например, транзитный участок от ТЭЦ до города) можно применить как подземную, так и надземную прокладку на низких опорах.

14.2. Продольный профиль теплосети

Построить продольный профиль одного из участков монтажной схемы в масштабе $M_T 1:1000$; $M_B 1:50$ (по указанию руководителя).

На профиле должны быть указаны отметки поверхности земли (планировочные и черные), дна канала, низа трубопровода (только для б/к прокладки), заглубления до верха конструкции канала, уклон и диаметры трубопроводов, дренажи. Под профилем изобразить план трассы с камерами всех характерных точек; указать расстояние между неподвижными опорами; диаметр трубопроводов, компенсаторы, места установки воздушников и спускников, тип прокладки. Показать также наименьшее расстояния в свету по горизонтали и вертикали до других инженерных коммуникаций и сооружений (водопровод, канализация, газопровод, кабель и др.).

Рекомендации по построению продольного профиля теплосети можно найти в [4,7].

14.3. Теплофикационная камера

Разработать компоновочный чертеж одной из камер, выбранной по построенному продольному профилю.

На чертеже камеры должна быть решена установка неподвижной опоры, запорной арматуры, сальниковых компенсаторов, присоединения ответвлений.

Габариты камеры необходимо определять с учетом нормативных расстояний от оборудования до строительных конструкций [4] и табл.П.13. Для сбора и удаления проникшей в камеру воды предусматривается приямок. Для спуска в камеру обслуживающего персонала предусматривается не менее двух люков и металлические лестницы. Камера должна быть показана в двух проекциях: план и разрез (М 1:10).

Пример компоновки камер можно найти в [5, 4, 7].

15. ТЕПЛОФИКАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ТЭЦ

В проекте необходимо определить теплопроизводительность основных сетевых подогревателей и пиковых водогрейных котлов, необходимую производительность деаэраторов подпиточной воды и емкость баков-аккумуляторов горячей воды (для открытой системы), подобрать сетевые, подпиточные насосы, выбрать тип теплофикационных турбин.

15.1. Подбор сетевых и подпиточных насосов

Производительность сетевых насосов принимается для закрытых и открытых систем теплоснабжения по суммарному расчетному часовому расходу сетевой воды (формула (9.1)):

$$G_p = G_o + G_b + k_3 \cdot G_{гв}, \text{ т/ч}$$

Напор сетевых насосов определяется по формуле

$$H_n = \Delta H_{п} + \Delta H_o + \Delta H_a + \Delta H_T, \text{ Па}, \quad (15.1)$$

где ΔH_T – потери напора в подогревательной установке источника тепла;
 $\Delta H_{п}$, ΔH_o – потери напора в подающем и обратном трубопроводах главной магистрали,

ΔH_a – располагаемый напор у конечного потребителя (задается $\Delta H_a = 20$ м в. ст.) или непосредственно из пьезометрического графика.

Напор сетевого насоса для летнего периода определяется по формуле

$$H_n^л = H_n \cdot \left(\frac{G_{гв}^л}{G_p} \right)^2, \text{ Па}, \quad (15.2)$$

где $G_{гв}^л$ – расход воды в летний период, формула (9.3);

G_p – то же в зимний период, формула (9.1).

Основные технические характеристики сетевых насосов приведены в табл.П. 9.

Часовая производительность подпиточных насосов в закрытой системе принимается равной величине утечки в количестве 5% объема воды в трубопроводах тепловой сети и местных систем. В жилых районах объем воды в системе теплоснабжения можно принимать 10 – 12 м³ на 1 ГДж/ч расчетного расхода тепла.

В открытых системах производительность подпиточных насосов принимается равной сумме максимального часового расхода горячей воды и расхода воды на компенсацию утечки.

Напор подпиточных насосов определяется из пьезометрического графика по линии статики. В табл. П.12 приведены характеристики некоторых насосов, которые можно использовать в качестве подпиточных.

Количество насосов должно приниматься:

- а) сетевых насосов не менее двух, из которых один является резервным, если требуется установка четырех насосов, то резервный не предусматривается;
- б) подпиточных – в закрытых системах не менее двух и в открытых системах – не менее трех, из которых один резервный.

15.2. Выбор типа турбин и пиковых водогрейных котлов

Покрывание годового графика тепловых нагрузок (рис. 1) производится теплофикационными турбинами с отопительным отбором и пиковыми водогрейными котлами.

Коэффициент теплофикации принять $\alpha_T = 0,4 \div 0,6$. Максимальная тепловая мощность отборов турбин $Q_{отб} = \alpha_T \cdot Q_{ТЭЦ}$, где $Q_{ТЭЦ} = Q_p$ – расчетная тепловая нагрузка города (без учета тепловых потерь в сетях). Тогда расчетная пиковая нагрузка $Q_{пик} = Q_{ТЭЦ} - Q_{отб}$. Показать на годовом графике $Q_{пик}$ и $Q_{отб}$.

Для покрытия пиковой нагрузки следует использовать водогрейные котлы типа КВГМ с теплопроизводительностью 126, 210, 420 ГДж/ч.

15.3. Покрывание годового графика по продолжительности тепловой нагрузки паром различных параметров

При выполнении экономических расчетов приходится определять годовой расход топлива на ТЭЦ, который зависит от выработки электрической энергии на тепловом потреблении. Последняя, в свою очередь, связана с давлением пара в отборе, изменяющемся в течение года. Для решения этих задач базовая часть годового графика по продолжительности тепловой нагрузки разбивается на отдельные площадки, покрываемые паром различных параметров.

В проекте по принятому коэффициенту теплофикации (линия АВ) определяется температура наружного воздуха $t_{н\alpha}$ (расчетная температура загрузки отборов, при которой вступает в работу пиковая мощность (точка а, рис. 1)). По температурному графику, который для удобства построений наносится в левом квадрате годового графика, находится соответствующая этому режиму температура сетевой воды за основными подогревателями (точка в). Из этой точки проводится линия, параллельная температуре обратной воды, которая характеризует изменение температуры сетевой воды τ_0 за основными подогревателями в зависимости от наружной температуры. По этой температуре определяется температура в отборе с учетом подогрева δt как $t_{п} = \tau_0 + \delta t$, где $\delta t = 5 \div 10^\circ\text{C}$. Из таблицы насыщенного водяного пара по $t_{п}$ находится давление отборного пара при любой наружной температуре воздуха. Например, мини-

мальное давление в отборе определяется температурой сетевой воды в точке излома температурного графика $\tau''_{10} = 70^\circ\text{C}$.

Температура пара должна быть несколько выше, пусть $\delta t = 5^\circ\text{C}$, тогда $t_n = 70 + 5 = 75^\circ\text{C}$, чему соответствует давление пара в отборе $0,4 \text{ кг/см}^2$. Перенесем температуру τ''_{10} на Q (точка а) и далее на годовой график (точка в) получим область, m-S-H-g, которая покрывается паром с давлением $0,4 \text{ кг/см}^2$. Температура пара, соответствующая точке "а", будет 75°C и с давлением $0,4 \text{ кг/см}^2$.

Этим давлением покрывается площадь графика в в-h-g. Аналогичные построения можно сделать при других наружных температурах (или τ_0). Максимальное давление в отборе определяется при расчетной температуре наружного воздуха t_{po} (точка К) и равно примерно $1,4 \text{ кг/см}^2$.

По годовому графику легко определить доли годового отпуска тепла из отборов турбин и пиковых котлов по отношению к суммарной нагрузке.

15.4. Выбор основных сетевых подогревателей на ТЭЦ

Тип и количество подогревателей разрешается определять как по коэффициенту теплофикации, так и по расходу и температурам сетевой воды (на входе в подогреватель – τ_2 , на выходе – τ_0). По известному расходу воды G_p предварительно выбираем ближайший тип подогревателя по табл. П. 10.

Расчет проводится для максимального зимнего режима, соответствующего расчетной температуре наружного воздуха для отопления.

По максимальному давлению отопительного отбора, но не более $2,5 \text{ ата}$, определяется температура насыщенного пара t_n , поступающего в подогреватель.

Далее определяются:

– средняя температура сетевой воды

$$\tau_{cp} = 0,5 \cdot (\tau_0 - \tau_2); \quad (15.3)$$

– средняя разность температур

$$\Delta t_{cp} = \frac{\tau_0 - t_2}{2,3 \cdot \lg \frac{t_n - \tau_2}{t_n - t_0}}; \quad (15.4)$$

– скорость воды в трубах

$$W_{mp} = \frac{G_p \cdot 10}{3600 \cdot f_{mp} \cdot \rho_v} \leq 2,5 \text{ м/с}, \quad (15.5)$$

где ρ_v – плотность воды при τ_{cp} , $^\circ\text{C}$;

– коэффициент теплоотдачи от трубы к воде

$$\alpha_v = (1230 + 20 \cdot \tau_{cp} - 0,041 \cdot \tau_{cp}^2) \cdot \frac{W_{cp}^2}{d_{вн}^{0,2}} \cdot 1,16, \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}; \quad (15.6)$$

– средняя температура стенки трубок

$$t_{ct} = 0,5 \cdot (t_b + \tau_{cp}); \quad (15.7)$$

– температура пленки конденсата

$$t_{пл} = 0,5 \cdot (t_{п} + t_{ct}); \quad (15.8)$$

– разность температур пара и стенки

$$\theta = t_{п} - t_{ct}; \quad (15.9)$$

– коэффициент теплоотдачи от пара к трубкам

$$\alpha_n = \frac{5500 + 65 \cdot t_{пл} - 0,2 \cdot t_{пл}^2}{(H\theta)^{0,25}} \cdot 1,16, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}); \quad (15.10)$$

– коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_s} + \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}); \quad (15.11)$$

где β – коэффициент, учитывающий загрязнение трубок, $\beta = 0,8$;

$\lambda_{ct} = 100 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ – коэффициент теплопроводности для латуни;

δ_{ct} – толщина стенки трубок;

– необходимая поверхность нагрева

$$F = \frac{c \cdot G \cdot (\tau_0 - \tau_2) \cdot 10^3}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{Q_{омб} \cdot 10^3}{K \cdot \Delta t_{cp}}, \text{ м}^2 \quad (15.12)$$

(должна быть меньше, чем у выбранного типа подогревателя).

15.5. Выбор деаэраторов подпиточной воды и баков-аккумуляторов

В закрытых системах теплоснабжения подпитка тепловых сетей может осуществляться из деаэраторов питательной воды паровых котлов.

В открытых системах теплоснабжения необходимо предусмотреть установку отдельного деаэратора подпиточной воды. Тип деаэратора выбирается по расходу подпиточной воды, равному $G_{под} = G_{гв}^M + G_{ут}$, где $G_{гв}^M$ – максимальный расход воды на горячее водоснабжение; $G_{ут}$ – расход утечки сетевой воды.

В проекте можно принимать деаэраторы струйного типа ДСА производительностью 25, 75, 100, 200, 300 т/ч. Давление в деаэраторе 1,2 ата.

Для снижения температуры подпиточной воды до 60-80°С после деаэратора устанавливается подогреватель химочищенной воды (охладитель деаэрированной воды).

В открытой системе обязательна установка на ТЭЦ не менее двух баков-аккумуляторов горячей воды, емкость которых можно принимать равной (6÷8) $G_{гв}^{cp}$. Баки включаются после деаэратора и должны быть закрытого типа с паровой подушкой.

Должно быть также показано и подключение потребителей к тепловой сети (отопление, вентиляция и горячее водоснабжение).

На теплофикационное оборудование составить экспликацию, в которой указать тип, количество и краткую техническую характеристику.

На рис. 9 представлена принципиальная схема ТЭЦ с теплофикационной турбиной (2) и турбогенератором (3). Турбина имеет регулируемый отбор пара, используемый для теплофикации. Давление пара в отборе изменяется в пределах от 0,03 до 0,25 МПа, что обеспечивает подогрев сетевой воды от 60 до 120°C. Вода из тепловой сети с температурой τ_2 подается сетевыми насосами (12) через теплофикационные подогреватели (10), где происходит ее нагрев до температуры τ_1 . Количество подогревателей определяется на основании теплового расчета. Далее вода подается или непосредственно, или через пиковые водогрейные котлы (11) в тепловую сеть. Подогрев воды в пиковом котле производится в том случае, если ее температура после сетевых подогревателей недостаточна для удовлетворения присоединенной к сети нагрузки. Утечка воды из тепловой сети, а для открытых систем теплоснабжения – расход воды на нужды горячего водоснабжения, восполняются химочищенной деаэрированной водой, которая из бака-аккумулятора (15) подается подпиточными насосами (16) через регулятор подпитки (17) во всасывающий коллектор сетевых насосов (12). Для деаэрации подпиточной воды используют атмосферный деаэратор (14), питаемый паром из нерегулируемого отбора. Обычно такая схема деаэрации применяется в закрытой системе теплоснабжения. В открытых системах, где величина подпитки высока, деаэрация воды осуществляется в вакуумных деаэраторах. Турбина содержит развитую регенеративную систему для подогрева конденсата. Конденсатный насос (5) забирает конденсат из конденсатора (4) и подает его через эжекторный подогреватель и регенеративные подогреватели низкого давления (6) в стационарный деаэратор повышенного давления (7). Из деаэратора питательная вода подается питательным насосом (8) в котел (1) через регенеративные подогреватели высокого давления (9). Конденсат из сетевых подогревателей (10) подается конденсатным насосом непосредственно в поток питательной воды. Для восполнения потерь конденсата в основном контуре служит химводоочистка.

15.7. Насосные подстанции

При сложном рельефе местности, с большой разностью геодезических отметок, нередко возникает необходимость сооружения в тепловых сетях насосных подстанций на обратной (при значительном понижении рельефа) и подающей магистрали (при повышенном рельефе).

Вопрос о необходимости установки насосных подстанций решается в процессе разработки пьезометрического графика.

Насосная станция на обратной магистрали служит для снижения давления у конечных абонентов с целью их защиты от недопустимо высокого давления в обратной магистрали (не более 60 м).

Подстанция на подающей магистрали служит для повышения располагаемого перепада давлений у потребителей верхней зоны и снижения давления у головных потребителей.

В проекте необходимо выбрать место размещения подстанций. Подстанция на обратной магистрали размещается на таком месте, чтобы давление у потребителей нижней зоны и у потребителей за подстанцией (по ходу воды) было бы не более 60 м в. ст.

Место размещения подстанции на подающей магистрали выбирается из условия обеспечения потребителей верхней зоны необходимым располагаемым напором. В случае необходимости, чтобы предотвратить недопустимо высокое давление потребителей нижней зоны, на обратной магистрали устанавливается дросселирующий орган (регулятор давления "до себя").

Далее требуется произвести выбор подкачивающих насосов. Напоры насосов берутся непосредственно из пьезометрических графиков.

Расходы на подстанции на обратной магистрали определяются потребителями нижней зоны, а на подающей – потребителями верхней зоны.

Под пьезометрическим графиком изображается схема сети с насосной подстанцией и необходимыми устройствами автоматики для поддержания стабильного гидравлического режима.

16. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ СЕТИ

16.1. Выбор толщины теплоизоляционного слоя

На участке теплотрассы, для которой построен продольный профиль, необходимо выбрать толщину тепловой изоляции подающего и обратного трубопроводов по заданной норме тепловых потерь.

Полное термическое сопротивление, с учетом покровного слоя, определяется по формуле

$$R_n = \frac{\tau_{cp} - t_0}{q_n}, \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}, \quad (16.1)$$

где τ_{cp} – среднегодовая температура теплоносителя при температурном графике 150/70° С для подающей магистрали $\tau_{1cp} = 90^\circ \text{С}$, для обратной $\tau_{2cp} = 50^\circ \text{С}$. При других температурных графиках ее можно вычислить из выражения

$\tau_{cp} = \frac{\tau_1 \cdot n_1 + \tau_2 \cdot n_2 + \dots}{n_1 + n_2 + \dots}$, где τ_2 – температура воды в сети по графику температуры;

n_1, n_2 – число часов работы тепловой сети при соответствующих температурах теплоносителя; t_0 – расчетная температура окружающей среды: для подземной

прокладки в непроходимых каналах или бесканально – средняя за год температура почвы на глубине заложения оси трубопровода; q_n – норма тепловых потерь (табл.п. 14). Термическое сопротивление основного слоя изоляции определяют как разность $R_{из} = R_{п} - R_{ип}$, где $R_{из} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из}} \cdot \ln \frac{d_{из}}{d_n}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, где $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности изоляции, при температуре теплоносителя до 150°C можно принимать не более $0,14 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$. Более подробно о выборе теплоизоляционных материалов в [4,3]; $R_{ин} = \frac{1}{\alpha_2 \cdot \pi \cdot d_{из}}$ – термическое сопротивление на наружной поверхности изоляции (при прокладке в непроходных каналах); при бесканальной прокладке $R_{ин} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{сп}} \cdot \ln \frac{4 \cdot h}{d_{из}}$; здесь $\alpha_2 = 8,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции; $d_{из} = d_n + 2 \cdot \delta_{из}$ – наружный диаметр изоляции, м; d_n – наружный диаметр трубы, м; h – глубина заложения оси трубопровода, м; $\lambda_{сп}$ – коэффициент теплопроводности грунта, принимают для влажного грунта – $1,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$, средней влажности – $1,16 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$, сухого – $0,58 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$.

Необходимо предварительно задаться толщиной изоляции и определить $R_{ип}$ и $R_{из}$.

Тогда толщина основного изоляционного слоя

$$d_{из} = \frac{e^{2\pi \cdot \lambda_{из} \cdot R} - 1}{2} \cdot d_n, \text{ м} \quad (16.2)$$

Это значение $d_{из}$ можно получить по номограмме рис. 16 [4]. Полученное значение $d_{из}$ сравнивается с предварительно принятым, и если расхождение более $\pm 5\%$, то делается второе приближение.

Толщина теплоизоляционной конструкции для водяных сетей в непроходных каналах (включая покровный слой) не должна превышать предельной величины [3].

условный диаметр, d_y , мм	25	50	100	150	200	250	300	350	400	500 – 1400
толщина изоляции, $\delta_{из}$, мм	60	80	90	100	100	100	100	100	110	120

Предельная толщина теплоизоляционной конструкции при бесканальной прокладке не нормируется.

16.2. Определение тепловых потерь в непроходном канале

Выбрав толщину изоляции определяют теплотери.

Эквивалентный диаметр канала: $d_3 = P/\pi$, м, где P – периметр канала, м.

Термическое сопротивление подающего и обратного трубопроводов

$$R_1 = R_{u1} + R_{n1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_u} \cdot \ln \frac{d_{u1}}{d_n} + \frac{1}{\pi \cdot d_{u1} \cdot \alpha_2}, \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}; \quad (16.3)$$

$$R_2 = R_{u2} + R_{n2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_u} \cdot \ln \frac{d_{u2}}{d_n} + \frac{1}{\pi \cdot d_{u2} \cdot \alpha_2}, \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}; \quad (16.4)$$

где d_{u1} , d_{u2} , d_n – наружные диаметры изоляции и трубопровода, м.

Суммарное термическое сопротивление внутренней поверхности канала, стенки канала и грунта

$$R = R_k + R_{nk} + R_{zp} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_k} \cdot \ln \frac{d_{эн}}{d_3} + \frac{1}{\pi \cdot d_3 \cdot \alpha_2} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{zp}} \cdot \ln \frac{4 \cdot h}{d_{эн}}, \quad (16.5)$$

где $d_{эв}$, $d_{эн}$ – эквивалентные диаметры по внутренним и наружным размерам канала, м;

λ_k – коэффициент теплопроводности стенки канала (можно принимать равным 1,2 Вт/м · °С), температура воздуха в канале

$$t = \frac{\frac{\tau_1}{R_1} + \frac{\tau_2}{R_2} + \frac{t_{zp}}{R}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R}}, \text{ °C}, \quad (16.6)$$

где τ_1 , τ_2 , t_{zp} – среднегодовые температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах сети и грунта.

Удельные потери подающего и обратного трубопровода

$$q_1 = \frac{\tau_1 - t_k}{R_1}; \quad q_2 = \frac{\tau_2 - t_k}{R_2} \text{ Вт/м}. \quad (16.7)$$

Суммарные удельные потери тепла

$$q = q_1 + q_2, \text{ Вт/м}. \quad (16.8)$$

Полученные значения удельных потерь тепла q_1 и q_2 не должны превышать нормативных по [4].

16.3. Определение тепловых потерь при бесканальной прокладке

Термическое сопротивление подающего и обратного трубопроводов

$$R_1 = R_{u1} + R_{zp} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{u1}} \cdot \ln \frac{d_{u1}}{d_n} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{zp}} \cdot \ln \frac{4 \cdot h}{d_{u1}}, \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}; \quad (16.9)$$

$$R_2 = R_{u2} + R_{zp} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{u2}} \cdot \ln \frac{d_{u2}}{d_n} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{zp}} \cdot \ln \frac{4 \cdot h}{d_{u2}}, \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}; \quad (16.10)$$

где d_{u1} и d_{u2} – наружные диаметры изоляции, м.

Условное термическое сопротивление

$$R_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{zp}} \cdot \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot h}{b} \right)^2}, \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}; \quad (16.11)$$

где b – горизонтальное расстояние между осями труб, м.

Удельные тепловые потери подающего и обратного трубопроводов

$$q_1 = \frac{(\tau_1 - t_{ep}) \cdot R_2 - (\tau_2 - t_{ep}) \cdot R_0}{R_1 \cdot R_2 - R_0^2}, \text{ Вт/м} \quad (16.12)$$

$$q_2 = \frac{(\tau_2 - t_{ep}) \cdot R_1 - (\tau_1 - t_{ep}) \cdot R_0}{R_1 \cdot R_2 - R_0^2}, \text{ Вт/м} \quad (16.13)$$

Суммарные удельные потери

$$q = q_1 + q_2, \text{ Вт/м.} \quad (16.14)$$

Полученные значения удельных потерь тепла q_1 и q_2 не должны превышать нормативных по [4].

17. МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

В курсовом проекте механические расчеты ограничиваются подбором и расчетом на прочность П-образного и Г-образного компенсаторов, расчетом усилий, действующих на подвижные и неподвижные опоры тепловых сетей.

17.1. Расчет и выбор П-образного компенсатора

Пусть заданы геометрические размеры компенсатора: вылет – H и ширина – B , см. Определить максимальные изгибающие напряжения на спинке по формулам:

– для гнутых колен (радиусом $R = 4 \cdot d_n$)

$$\sigma_{из} = \frac{\Delta \cdot l \cdot E \cdot d_n \cdot H \cdot m}{2 \cdot A}, \text{ кг/см}^2, \quad (17.1)$$

– для жестких сварных колец ($R = 0$)

$$\sigma_{из} = \frac{\Delta \cdot l \cdot E \cdot d_n \cdot H}{2 \cdot A}, \text{ кг/см}^2, \quad (17.2)$$

где $\Delta = \alpha \cdot (\tau_1 - t_m) \cdot l$ – тепловые удлинения трубопровода, см;

$\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ – коэффициент линейного расширения, $1/^\circ\text{C}$;

τ_1 – расчетная температура теплоносителя, $^\circ\text{C}$;

t_m – температура воздуха при монтаже (принимается равной расчетной наружной температуре для отопления, $t_m = t_{po}$), $^\circ\text{C}$;

l – расстояние между неподвижными опорами, см;

$E = 2 \cdot 10^6$ – модуль упругости стали, кг/см^2 ;

d_n – наружный диаметр трубы, см;

m – коэффициент концентрации напряжений для гнутых отводов, определяется по [4]

$$m = \frac{2}{3K} \cdot \sqrt{\frac{5 + 6 \cdot h^2}{18}},$$

где при $h \leq 1$ $K = h/1,65$ – коэффициент понижения жесткости гнутых отводов;

$h = \frac{R \cdot \delta}{r_{cp}^2}$ – коэффициент трубы (R – радиус отвода), δ – толщина

стенки трубы, $r = \frac{d_n - \delta}{2}$ – средний радиус трубы;

$$A = \frac{1}{K} \cdot (3,14 \cdot R \cdot H^2 - 2,28 \cdot R^2 \cdot H + 1,4 \cdot R^3) + 0,67 \cdot H^3 + B \cdot H^2 - 4 \cdot R \cdot H^2 + 2 \cdot R^2 \cdot H - 1,33 \cdot R^3, \text{ см} \quad (15.3)$$

Для жестких сварных отводов ($R = 0$) имеем $A = 0,67 \cdot H^3 + B \cdot H^2$, см^3 ;

– для гнутых компенсаторов $P_k = \frac{\Delta \cdot l \cdot E \cdot Y}{A}$, кг;

– для сварных компенсаторов:

$$P_k = \frac{\Delta \cdot l \cdot E \cdot Y}{A},$$

где $Y = 0,05 \cdot (d_n^4 - d_b^4)$ – момент инерции трубы, см^4 .

Для уменьшения изгибающего компенсационного напряжения в рабочем состоянии трубопровода, для участков с гибкими компенсаторами, производят предварительную растяжку трубопровода в холодном состоянии при монтаже (обычно на $0,5 \Delta$). При расчетах на компенсацию учитывают не полное, а расчетное тепловое удлинение путем введения коэффициента ϵ , учитывающего величину предварительной растяжки компенсатора, возможную неточность расчета и релаксацию компенсационных напряжений

$$\Delta x_n = \epsilon \cdot \Delta, \text{ см}, \quad (17.4)$$

где $\epsilon = 0,5$ – учет предварительной растяжки компенсатора.

Для облегчения трудоемких расчетов на компенсацию тепловых удлинений участков трубопроводов с П-образными компенсаторами построены номограммы, в которых вылет компенсатора H и сила упругой деформации P_k определяются в зависимости от величины расчетного теплового удлинения Δx_n и размера спинки компенсатора B [4].

Эти номограммы построены для различных диаметров, при условии равенства прилегающих свободных плеч, учитываемых в расчетах по обе стороны компенсатора ($l_n = 40 \cdot d_y$), допустимое изгибающее напряжение на спинке компенсатора (σ)_д = 1 100 кг/см².

Определяя Δx_n и задаваясь длиной спинки B , находят H и P_k , имеющую минимальное значение, рис. 131 [4].

Если заданы габариты компенсатора, по номограмме находят его расчетную компенсирующую способность Δx_n и по ней определяют полное тепловое удлинение, которое может скомпенсировать компенсатор заданных габаритов.

Как правило, П-образные компенсаторы применяются при подземной прокладке тепловых сетей для диаметров труб $d_n \leq 273$ мм.

17.2. Расчет участка естественной компенсации

В проекте должна использоваться угловая (естественная) компенсация температурных удлинений, если угол, образуемый трубами, не превышает 130° .

Расчет Г-образного компенсатора заключается в определении максимального изгибающего напряжения, силы упругой деформации и боковых смещений сторон трубопровода.

Максимальное изгибающее напряжение на участке с угловой конфигурацией возникает в заделке короткого плеча и определяется по формуле

$$\sigma_{из} = \frac{1,5 \cdot \Delta \cdot l_n \cdot E \cdot d_n}{l_n^2 \cdot \cos \beta} \cdot \left(n + 1 + \left(\frac{n+3}{n+1} \right) \cdot \sin \beta \right), \text{ кг/см}^2, \quad (17.5)$$

где $\Delta = \alpha \cdot \Delta \tau \cdot l$ – удлинение короткого плеча, см;

$\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ коэффициент линейного расширения металла, $1/^\circ\text{C}$;

$\Delta \tau = \tau_1 - t_n$ – превышение расчетной температуры теплоносителя над температурой воздуха, $^\circ\text{C}$;

l_k – длина короткого плеча, см;

d_n – наружный диаметр трубопровода, см;

$E = 2 \cdot 10^5$ кг/см² – модуль упругости стали;

$n = l_d / l_k$ – соотношение длины длинного и короткого плеча;

$\beta = \varphi - 90^\circ$, φ – угол поворота трассы.

Приведенная формула не учитывает гибкости отводов и применяется для сварных поворотов при $l_k \geq 40 \cdot d_n$. Максимальная длина меньшего компенсирующего плеча принимается до 50 м. Полученные по формулам напряжения необходимо сравнить с допускаемыми, которые принимаются равными $800 \div 900$ кг/см². Можно решать и обратную задачу, т.е. по допускаемым напряжениям определять необходимую длину короткого плеча.

Максимальное боковое смещение короткого и длинного плеча.

$$f_k = \frac{\Delta \cdot l_k \cdot (n + \sin \beta)}{\cos \beta}, \quad f_d = \frac{\Delta \cdot l_k \cdot (1 + n \cdot \sin \beta)}{\cos \beta}, \text{ см} \quad (17.6)$$

Максимальное боковое смещение сторон теплопроводов учитывается при укладке трубопроводов в канале, чтобы расстояние от стенок канала к трубе было больше боковых смещений f_k и f_d .

Для облегчения расчетов используются номограммы и табл. [4].

17.3. Расчет и выбор сальниковых компенсаторов

Расчет и выбор сальниковых компенсаторов производится по [4]. Для диаметров трубопроводов тепловых сетей $d_y > 273$ мм при подземной прокладке

применяются преимущественно сальниковые компенсаторы. Их размещают, как правило, в тепловых камерах.

17.4. Расчет и выбор неподвижных и подвижных опор

В тепловых сетях применяются подвижные и неподвижные опоры. Подвижные опоры могут быть скользящие, катковые, роликовые, подвесные и др. При подземной прокладке в непроходных каналах рекомендуется применять скользящие опоры на бетонных подушках, при надземной – катковые. На участках бесканальной прокладки трубопроводов подвижные опоры не устанавливаются. Пролеты между подвижными опорами трубопроводов на бетонных подушках приведены в табл. П. 8. На рис. 31 [4] приведены конструкции скользящих опор и их основные размеры. Неподвижные опоры предусматриваются при всех способах прокладки тепловых сетей.

Места установки неподвижных опор совмещают, как правило, с узлами отклонения труб, местами установки на трубопроводах запорной арматуры, сальниковых компенсаторов, грязевиков и др. оборудования. Конструкции неподвижных опор и их основные размеры приведены на рис. 26 [4].

17.4.1. Расчет и выбор неподвижных опор

Определить результирующее осевое усилие на одну из промежуточных неподвижных опор (по указанию руководителя).

Основной нагрузкой на неподвижные опоры является горизонтальная нагрузка, возникающая под действием следующих сил:

- трения в подвижных опорах;
- трения в сальниковых конденсаторах;
- трения о грунт при бесканальной прокладке;
- упругой деформации гибких компенсаторов или самокомпенсации;
- внутреннего давления при применении неуровновешенных сил внутреннего давления.

Неподвижные опоры подразделяются на концевые, размещающиеся перед заглушкой или поворотом, т.е. в конце трубопровода, и промежуточные, размещающиеся между двумя смежными участками.

Горизонтальная нагрузка на концевую неподвижную опору определяется как сумма сил, действующих на опору с одной стороны; на промежуточную опору как разность сил, действующих с каждой стороны, при этом меньшая сумма сил принимается с коэффициентом 0,7. При равенстве суммы сил, действующих на опору с обеих сторон, в качестве расчетной принимается одна из сумм с коэффициентом 0,3.

Силы трения в подвижных опорах труб определяют по формуле

$$N_{\text{тр}} = \mu \cdot q \cdot L, \text{ Н.} \quad (17.7)$$

Силы трения в сальниковых компенсаторах определяют по формуле

$$N_c = \frac{4000 \cdot n}{F_c} \cdot l_c \cdot d_c \mu_c \cdot \pi, \text{ Н.} \quad (17.8)$$

Неуравновешенные силы внутреннего давления при применении сальниковых компенсаторов на участках трубопроводов, имеющих запорную арматуру, переходы, углы поворота или заглушки, определяются по формуле

$$N_p = P_p \cdot F_c, \text{ Н} \quad (17.9)$$

Силы упругой деформации при гибких компенсаторах и при самокомпенсации P_k , определяется расчетом труб на компенсацию тепловых удлинений (см. расчет П-образного компенсатора).

Суммарная горизонтальная нагрузка на неподвижную опору равна

$$N_z = N_{\text{тр}} + N_c + N_p + P_k = \mu \cdot q \cdot L + \frac{4000 \cdot n}{F_c} \cdot l_c \cdot d_c \mu_c \cdot \pi + P_p \cdot F_c + P_k, \text{ Н,} \quad (17.10)$$

где q – вес 1м трубопровода в рабочем состоянии (вес трубы, воды, изоляции), Н.м;

L – длина трубопровода от неподвижной опоры до компенсатора или угла поворота трассы при самокомпенсации, м;

μ – коэффициент трения в подвижных опорах труб, для скользящих опор $\mu = 0,3$;

n – число болтов компенсатора;

l_c – длина слоя набивки по оси сальникового компенсатора, м;

d_c – наружный диаметр патрубка сальникового компенсатора, м;

μ_c – коэффициент трения набивки о металл, принимаемый равным 0;

F_c – площадь поперечного сечения набивки сальникового компенсатора, определяемая по формуле

$$F_c = 0,785 \cdot (d_2^2 - d_b^2), \text{ м}^2; \quad (17.11)$$

d_b – внутренний диаметр корпуса сальникового компенсатора, м;

P_p – рабочее давление теплоносителя, Па (но не менее $0,5 \cdot 10^6$ Па);

P_k – сила упругой деформации, определяется из расчета П-образного компенсатора.

Неподвижные опоры должны рассчитываться на наибольшую горизонтальную нагрузку при различных режимах работы трубопроводов, в том числе при открытых и закрытых задвижках.

Сводка различных схем установок неподвижных опор и расчетных формул для определения горизонтальных нагрузок, действующих на неподвижную опору при наиболее часто встречающихся схемах расчетных участков тепловых сетей, приведена в [4]. По максимальным горизонтальным усилиям выбирают тип неподвижной опоры: лобовую, щитовую или с одно- или двухсторонними упорами. Конструкции неподвижных опор приведены в [4]. Для подземной канальной прокладки тепловых сетей используют, как правило, неподвижные

опоры, лобовые или с одно- и двухсторонними упорами. Для бесканальной прокладки – щитовые опоры.

17.4.2. Расчет и выбор подвижных опор

Подвижные опоры тепловых сетей устанавливаются для поддержания трубопроводов в горизонтальном положении.

Вертикальная нормальная нагрузка на опору трубы определяется по формуле

$$P_v = q \cdot l, \text{ Н}, \quad (17.12)$$

где q – вес 1м трубопровода в рабочем состоянии (вес трубы, воды, изоляции), Н/м;

l – пролет между подвижными опорами, м.

Горизонтальные нормативные осевые P_o и боковые нагрузки P_b на подвижные опоры труб от сил трения в опорах следует определять по формулам

$$P_o = \mu_o \cdot q \cdot l, \text{ Н}; \quad (17.13)$$

$$P_b = \mu_b \cdot q \cdot l, \text{ Н}; \quad (17.14)$$

где – μ_o , μ_b – коэффициенты трения в опорах при перемещении опоры вдоль оси трубопровода и под углом к оси, принимаемым по табл. 1 [3].

По величине вертикальной нагрузки на одну опору определяется тип подвижной опоры: скользящая, роликовая или катковая. Конструкции подвижных опор приведены в [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее учебное пособие признано оказать помощь студентам при проектировании, строительстве и эксплуатации систем централизованного теплоснабжения города.

Материалы учебного пособия позволяют студентам самостоятельно принимать эффективные решения при реализации инженерных систем теплоснабжения. В дальнейшем эксплуатация подобных систем будет с наименьшими затратами органического топлива, что в свою очередь обеспечит снижение вредных выбросов в окружающую среду.

Учебно-методическое пособие может использоваться при курсовом, дипломном, а также реальном проектировании систем теплоснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 23-01-1999. Строительная климатология. Госстрой России, 2000.-10 с.
2. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Госкомитет РФ по строительству.- М., 2004.-54с
3. СНиП 41-02-2003. Тепловые сети. Госкомитет РФ по строительству. М., 2003.- 38 с.
4. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей/ под ред. А.А. Николаева. - М., 1985.- 360 с.
5. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е.Я. Соколов.- 8 изд. перераб.- М.: «Термина» 2005. – 442 с.
6. ГОСТ 21.605–82. Тепловые сети. Рабочие чертежи. М.: СИ, 1983.–213 с.
7. Козин, В.Е. Теплоснабжение / В.Е. Козин [и др.]. – М.: Высшая школа, 1980.–213 с.
8. Копко, В.М. и др. Теплоснабжение (курсовое проектирование)/ В.М. Копко [и др.]. - М.: Высшая школа, 1985.–139 с.

Приложение

Таблица П.1

Продолжительность стояния температур наружного воздуха [1]

Город	Температура наружного воздуха, °С			Продолжительность отопительного периода, сут.	Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха, ч													
	t_{po}	t_{pv}	$t_{cp.o}$		n_o	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	8

Таблица П.2

Сводная таблица расчетных тепловых потоков

Виды расхода	Род потребления, МВт		
	Жилые здания	Общественные здания	Всего
отопление			
вентиляция			
горячее водоснабжение			
Итого:			

Таблица П.3

Расчет повышенного и скорректированного температурных графиков сетевой воды

Наименование	Размерность	Значение расчетных величин при характерных температурах наружного воздуха, t_n , °С													
		$t_n = t_{po}$	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+8	
τ_{10}	°С														
τ_{20}	°С														
$\tau_{1п}$	°С														
$\tau_{2п}$	°С														
\overline{Q}_0	–														
\overline{G}_0	–														
τ_{1c}	°С														
τ_{2c}	°С														

Таблица П.4

Расчетные расходы теплоносителя по участкам тепловой сети

Номер участка	Расход теплоносителя, т/ч				
	G_o	G_B	$G_{гв.ср}$	ΣG	летний период $G_{гв}^л$
Расчетная магистраль					
ТЭЦ – УТН					
УТ1 – УТ2					
УТ2 – УТ3					
УТ3 – УТ4					
и т.д.					
Итого					
Ответвление от расчетной магистрали					
УТ8 – УТ10					
и т.д.					

Таблица П.5

Бланк гидравлического расчета водяной тепловой сети

Номер участка	Расход воды	Длина участка			Труба, мм		Скорость воды	Потери давления		
	G	l	l_3	$l_{пр}$	d_y	$d_n \times S$	W	R_e	ΔP	ΔH
	т/ч	м	м	м	мм	мм	м/с	Па/м	Па	Па
Расчетная магистраль										
ТЭЦ – УТ1										
УТ1 – УТ2										
УТ2 – УТ3										
УТ3 – УТ4										
и т.д.										
Ответвление от расчетной магистрали										
УТ8 – УТ10										
и т.д.										

Таблица П.6

Технические характеристики стальных труб для тепловых сетей

Условный диаметр, d_y , мм	Наружный диаметр, d_n , мм	Внутренний диаметр, d_B , мм	Толщина стенки, мм	Условный диаметр, d_y , мм	Наружный диаметр, d_n , мм	Внутренний диаметр, d_B , мм	Толщина стенки, мм
32	38	33	2,5	400	426	414	6,0
40	45	40	2,5	450	480	469	5,0
50	57	50	3,5	500	529	517	6,0
70	76	69	3,5	500	529	515	7,0
80	89	82	3,5	600	630	616	7,0
100	108	100	4,0	600	630	614	8,0
125	133	125	4,0	700	720	706	7,0

Условный диаметр, d_y , мм	Наружный диаметр, d_n , мм	Внутренний диаметр, d_b , мм	Толщина стенки, мм	Условный диаметр, d_y , мм	Наружный диаметр, d_n , мм	Внутренний диаметр, d_b , мм	Толщина стенки, мм
150	159	150	4,5	700	720	704	8,0
175	194	184	5,0	700	720	702	9,0
209	219	207	6,0	800	820	804	8,0
250	273	259	7,0	900	920	902	9,0
300	325	307	9,0	1200	1220	1198	11,0
350	377	359	9,0	1200	1220	1192	14,0
350	377	357	10,0	1400	1420	1398	11,0
400	426	408	9,0	1400	1420	1392	14,0

Таблица П.7

Расстояние между неподвижными опорами водяных тепловых сетей, м

Условный диаметр трубы, d_y , мм	Компенсаторы	
	П-образные	сальниковые
50	60	–
70	70	–
80	80	–
100	80	70
125	90	70
150	100	80
175	100	80
200	120	80
250	120	100
300	120	100
350	140	120
400	160	140
450	160	140
500	180	140
600	200	160
700	200	160
800	200	160
900	200	160
1000	200	160

Расстояние между н.о. на участке самокомпенсации принимать не более 60% от указанных в таблице для П-образных компенсаторов.

Таблица П.8

Пролеты между подвижными опорами трубопроводов

Условный диаметр труб, d_y , мм	Пролет, м	Условный диаметр труб, d_y , мм	Пролет, м
40	2,5	250	7,0
50	3,0	300	8,0
70	3,0	350	8,0
80	3,5	400	8,5
100	4,0	450	9,0
125	4,5	500	10,0
150	5,0	600	10,0
175	6,6	700	10,0
200	6,0	800	10,0

Таблица П.9

Технические характеристики сетевых насосов

Тип насоса	Расход, G , м ³ /ч	Напор, Н/МПа	Давление на входе в насос, МПа (атм.)	Температура воды, °С
СЭ – 160 – 50	160	50	0,39 (4)	120
СЭ – 160 – 70	160	70	0,39 (4)	То же
СЭ – 160 – 100	160	100	0,39 (4)	– " –
СЭ – 320 – 110	320	110	0,39 (4)	– " –
СЭ – 500 – 70	500	70	1,57 (16)	– " –
СЭ – 500 – 140	500	140	1,57 (16)	– " –
СЭ – 800 – 55	800	55	1,08 (11)	– " –
СЭ – 800 – 100	800	100	1,08 (11)	– " –
СЭ – 800 – 160	800	160	1,57 (16)	180
СЭ – 1250 – 45	1250	45	1,08 (11)	То же
СЭ – 1250 – 70	1250	70	1,08 (11)	– " –
СЭ – 1250 – 100	1250	100	1,57 (16)	– " –
СЭ – 1250 – 140	1250	140	1,57 (16)	– " –
СЭ – 1600 – 50	1600	50	2,45 (25)	– " –
СЭ – 1600 – 80	1600	80	1,57 (16)	– " –
СЭ – 2000 – 100	2000	100	1,57 (16)	– " –
СЭ – 2000 – 140	2000	140	1,57 (16)	– " –
СЭ – 2500 – 60	2500	60	2,45 (25)	– " –
СЭ – 2500 – 180	2500	180	1,57 (16)	– " –
СЭ – 3200 – 70	3200	70	0,98 (10)	– " –
СЭ – 3200 – 100	3200	100	0,98 (10)	120
СЭ – 3200 – 160	3200	160	0,98 (10)	То же
СЭ – 5000 – 70	5000	70	0,59 (6)	– " –
СЭ – 5000 – 100	5000	100	1,57 (16)	180
СЭ – 5000 – 160	5000	160	0,98 (10)	120

Таблица П.10

Технические характеристики сетевых подогревателей на ТЭЦ

Тип подогревателя	Поверхность нагрева, F, м ²	Площадь проходного сечения по воде, f _{пр} , м ²	Н, МПа	Расход воды, G, т/ч	Давление, Мпа		Расчетная теплопроизводительность, Q, МВт
					в трубках (вода)	в корпусе (пар)	
1. Вертикальные подогреватели.							
ПВС – 90 – 7 – 15	90	0,0518	0,0131	350	1,5	0,7	16,4
ПВС – 125 – 7 – 15	125	0,0724	0,0131	500	1,5	0,7	23,5
ПВС – 200 – 7 – 15	200	0,115	0,0183	800	1,5	0,7	37,5
ПВС – 315 – 3 – 23	315	0,138	0,012	725	2,3	0,3	42,5
ПВС – 315 – 14 – 23	315	0,138	0,0125	1130	2,3	1,4	106,2
ПВС – 500 – 3 – 23	500	0,219	0,0123	1150	2,3	0,3	67,5
ПВС – 500 – 14 – 23	500	0,219	0,0119	1800	2,3	1,4	167,8
2. Горизонтальные подогреватели							
ПСГ – 800 – 2 – 8	800	0,234	–	2000	0,8	0,2	46,9
ПСГ – 1320 – 2 – 8	1320	0,351	–	3000	0,8	0,2	70,4
ПСГ – 2340 – 2 – 8	2340	0,585	–	5000	0,8	0,2	129,0
ПСГ – 4500 – 2 – 8	4500	1,05	–	9000	0,8	0,2	234,6

Таблица П.11

Характеристика подпиточных насосов

Марка насосов	Производительность, G, м ³ /ч	Напор Н, МПа	Марка насосов	Производительность G, м ³ /ч	Напор Н, МПа
2К – 6	10 – 30	0,3 – 0,24	4К – 6	65 – 135	0,98 – 0,73
2К – 6 ²	10 – 30	0,28 – 20	6К – 12	110 – 200	0,23 – 0,17
4К – 8	70 – 109	0,48 – 0,37	8К – 12	220 – 340	0,32 – 0,25
4К – 12	70 – 120	0,37 – 0,88	8К – 18	220 – 360	0,21 – 0,15
4К – 18	60 – 100	0,26 – 0,19	6НДВ	250 – 216	0,54 – 0,42
6К – 8	110 – 190	0,37 – 0,31	8НДВ	600 – 400	0,35 – 0,32
3К – 6	30 – 70	0,62 – 0,45	12НДВ	1260	0,64

Таблица П.12

Основные типы железобетонных каналов для тепловых сетей

Условный диаметр трубы, d_y , мм	Марка канала	Размеры канала, мм			
		внутренние		наружные	
		ширина	высота	ширина	высота
25 – 50	КЛ 60 – 30	600	300	850	440
70 – 80	КЛ 60 – 45	600	4500	850	600
100 – 150	КЛ 90 – 45	900	4500	1150	630
	КЛ 90 – 60	600	600	850	750
175 – 200	КЛ 60 – 60	900	600	1150	780
250 – 300	КЛ 120 – 60	1200	600	1450	780
350 – 400	КЛ 150 – 60	1500	600	1800	850
	КЛ 210 – 60	2100	600	2400	890
450 – 500	КЛс 90 – 90	900	900	1060	1070
	КЛс 120 – 90	1200	900	1400	1070
	КЛс 150 – 90	1500	900	1740	1070
600 – 700	КЛс 120 – 120	1200	1200	1400	1370
	КЛс 150 – 120	1500	1200	1740	1470
	КЛс 210 – 120	2100	1200	2380	1470
450 – 800	КС 120 – 120	900	900	1380	1090
	КС 150 – 120	1200	900	1680	1090
	КС 210 – 120	1500	900	1980	1110
	КС 300 – 150	2100	900	2580	1180
	КС 360 – 180	900	1200	1680	1390
600	КС 420 – 210	1200	1200	1680	1390
		1500	1200	1980	1410
700		2100	1200	2580	1480
800		3000	1500	3610	1950
900		3600	1800	4300	2280
1000		4200	2100	4940	2640

Таблица П.13

Сборные железобетонные камеры для тепловых сетей.

Размеры камер, м		Высота, м		Число составляющих элементов, шт.
внутренние	наружные	внутренняя	наружная	
1,8 × 1,8	2,1 × 2,1	1,8	2,13	4
		2,6	2,8	5
		3,3	3,55	6
		4,0	4,26	7
		4,7	4,97	8
2,6 × 2,6	2,86 × 2,85	1,8	2,11	3
		2,0	2,31	3
		3,3	3,61	4
		4,6	4,91	5
3,0 × 3,0	3,26 × 3,26	1,8	2,13	3
		2,0	2,31	3

Размеры камер, м		Высота, м		Число составляющих элементов, шт.
внутренние	наружные	внутренняя	наружная	
		3,4	3,71	4
		4,8	5,11	5
2,5 × 4,0	2,87 × 4,32	2,2	3,02	8
		4,4	5,23	12
4,0 × 4,0	4,32 × 4,32	1,8	2,67	10
		2,2	3,02	10
		4,4	5,23	14
4,0 × 5,5	4,32 × 5,75	2,2	3,02	12
		4,4	5,23	16
4,0 × 7,0	4,32 × 7,19	2,2	3,02	14
		4,4	5,23	18

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Исходные данные к проекту	3
2. Состав и объем проекта	3
3. Характеристика города	4
4. Климатологические данные	5
5. Определение жилой площади и количества жителей	5
6. Расчет тепловых нагрузок города	5
6.1. Определение максимальных тепловых потоков.....	5
6.2. Определение средних тепловых потоков.....	6
6.3. Определение годовых тепловых потоков.....	7
6.4 Построение графиков теплового потребления.....	8
7. Выбор схемы присоединения потребителей тепла к тепловой сети	11
7.1. Закрытая система теплоснабжения.....	11
7.2. Открытая система теплоснабжения.....	12
8. Регулирование отпуска тепла	14
8.1. Построение нормального отопительного температурного графика.....	14
8.2. Построение повышенного температурного графика для закрытой системы теплоснабжения.....	17
8.3. Построение «скорректированного» температурного графика для открытой системы теплоснабжения.....	18
9. Определение расходов воды в тепловых сетях	19
9.1. На отопление.....	19
9.2. На вентиляцию.....	20
9.3. На горячее водоснабжение.....	21
9.3.1. Закрытая система теплоснабжения.....	21
9.3.2. Открытая система теплоснабжения.....	22
9.4. Расход сетевой воды в неотопливаемый (летний) период года.....	23
9.4.1. Закрытая система теплоснабжения.....	23
9.4.2. Открытая система теплоснабжения.....	24
10. Трасса тепловых сетей	25
11. Гидравлический расчет тепловых сетей	27
11.1. Определение расчетных расходов сетевой во- ды.....	27
11.2 Определение диаметров трубопроводов и потерь напора в тепловых сетях.....	28

12. Монтажная схема тепловой сети.....	29
13. Пьезометрический график водяной тепловой сети.....	30
14. Строительные конструкции тепловых сетей.....	31
14.1. Выбор способа прокладки.....	31
14.2. Продольный профиль теплосети.....	32
14.3. Теплофикационная камера.....	32
15. Теплофикационное оборудование ТЭЦ.....	33
15.1. Подбор сетевых и подпятничных насосов.....	33
15.2. Выбор типа турбин и пиковых водогрейных котлов.....	34
15.3. Покрытие годового графика по продолжительности паром различных параметров.....	34
15.4. Выбор основных сетевых подогревателей на ТЭЦ.....	35
15.5. Выбор деаэраторов подпиточной воды и баков-аккумуляторов.....	36
15.6. Принципиальная тепловая схема ТЭЦ.....	37
15.7. Насосные подстанции.....	38
16. Тепловой расчет сети.....	39
16.1. Выбор толщины теплоизоляционного слоя.....	39
16.2. Определение тепловых потерь в непроходном канале.....	40
16.3. Определение тепловых потерь при бесканальной прокладке.....	41
17. Механические расчеты тепловой сети.....	42
17.1. Расчет и выбор П-образного компенсатора.....	42
17.2. Расчет участка естественной компенсации.....	42
17.3. Расчет и выбор сальниковых компенсаторов.....	44
17.4. Расчет и выбор неподвижных и подвижных опор.....	45
17.4.1. Расчет и выбор неподвижных опор.....	45
17.4.2. Расчет и выбор подвижных опор.....	47
Заключение.....	47
Библиографический список	48
Приложение.....	49

Учебное издание

**ВАСИЛИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ ГОНЧАР
ДМИТРИЙ МИХАЙЛОВИЧ ЧУДИНОВ**

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДА

Учебное пособие

Подписано в печать 06.11. 2015. Формат 60×84 1/16. Уч.-изд. л. 3,6.

Усл.- печ. л. 3,7.

394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84