Основная задача систем теплоснабжения состоит в подаче тепла:

- промышленным потребителям – на технологические процессы и нужды отопления, приточной вентиляции и кондиционирования воздуха;
- коммунальным – на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

Теплоснабжающие системы отвечают за подачу тепла до теплового пункта, к которому присоединяется местная система теплопотребления. Распределение же теплоносителя по внутренним системам отопления, вентиляции и горячего водоснабжения является обязанностью владельцев зданий.

В соответствии с этим порядком теплоснабжающие системы должны обеспечивать:

- бесперебойную круглогодичную подачу тепла всем потребителям с минимальным перерывом для производства ремонтных работ в летний период;
- поддержание на вводах потребителей необходимых параметров теплоносителя;
- соблюдение такого режима регулирования и обслуживания, при котором бы достигалась максимальная экономия тепла во всей системе теплоснабжения.

Каждая система теплоснабжения состоит из следующих основных элементов:

- источника тепловой энергии;
- тепловой сети;
- абонентских вводов;
- местных систем потребителей тепла.

Работа всех этих элементов основана на ряде тесно сплетающихся явлений и законов физики, химии, механики, гидравлики, термодинамики и теплопередачи. Изучение всего комплекса теоретических, технических и экономических вопросов, связанных с конструированием, расчетом, монтажом и эксплуатацией устройств для производства и передачи тепловой энергии к потребителям, а также рациональным ее использованием, и составляет содержание учебной дисциплины «Источники и системы теплоснабжения».

При расчете и проектировании любой системы теплоснабжения часто требуется на основе существующих стандартных и нормативных методик:

- оценить материальные и тепловые балансы объектов системы теплоснабжения;

- определить расходы и необходимые параметры теплоносителей для всех присоединяемых к этой системе потребителей;
- выполнить расчет принципиальных тепловых схем источников теплоснабжения;
- произвести тепловой и гидравлический расчет элементов системы теплоснабжения, гидравлические расчеты тепловых сетей и т.д.

Расчетные зависимости

Падение давления в трубопроводе может быть представлено как сумма двух слагаемых: линейного падения и падения в местных сопротивлениях.

$$\Delta p = \Delta p_{л} + \Delta p_{м}, \text{ Па}, \tag{1}$$

где $\Delta p_{л}$ – падение давления вследствие трения на участках трубопровода, Па;

$\Delta p_{м}$ – падение давления в арматуре (вентилях, задвижках, кранах и т.д.) и других элементах оборудования, (коленах, шайбах, переходах и т.п.).

Формулы для гидравлического расчета трубопроводов водяных тепловых сетей [2, 5] приводятся ниже.

Суммарные потери давления в трубопроводах на трение и в местных сопротивлениях

$$\Delta P = R\, l_{пр}, \text{ Па}, \tag{2}$$

где $l_{пр}$ – приведенная длина трубопровода, м;

$$l_{пр} = l + l_{е}, \text{ м}, \tag{3}$$

здесь l – длина участка трубопровода по плану, м.

Эквивалентная длина местных сопротивлений $l_{е}$, м

$$l_{е} = \sum \zeta \frac{D_i}{\lambda} \text{ м}, \tag{4}$$

где $\sum \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений;

D_i – внутренний диаметр, м;

λ – коэффициент гидравлического трения.

Удельные потери давления на трение

$$R = 6,27 \cdot 10^{-8} \lambda \frac{G_d^2}{D_i^5 \rho}, \text{ Па/м}, \tag{5}$$

где G_d – суммарный расчетный расход сетевой воды в двухтрубных тепловых сетях открытых и закрытых систем теплоснабжения, кг/ч;

ρ – средняя плотность теплоносителя на рассчитываемом участке, кг/м^3.

Внутренний диаметр труб

$$D_i = \sqrt[5]{\frac{6,27 \cdot 10^{-8} \lambda G_d^2}{R\rho}}, \text{ м}, \qquad (6)$$

Коэффициент гидравлического трения:

- для области квадратичного закона (при $\mathrm{Re} \geq \mathrm{Re}_{\text{пр}}$)

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,14 + 2\lg\frac{D_i}{k_э}\right)}; \qquad (7)$$

- для любых значений числа Рейнольдса (приближенно)

$$\lambda = 0,11\left(\frac{k_э}{D_i} + \frac{68}{\mathrm{Re}}\right)^{0,25}, \qquad (8)$$

где $k_э$ – коэффициент эквивалентной шероховатости, м.

Предельное число Рейнольдса, характеризующее границы переходной области и области квадратичного закона

$$\mathrm{Re}_{\text{пр}} = 560\frac{D_i}{k_э}. \qquad (9)$$

Предельная скорость, т.е. скорость потока, при которой (и выше) имеет место квадратичная зависимость падения давления от расхода.

$$w_{\text{пр}} = 568\frac{\nu_i}{k_э}, \text{ м/с}. \qquad (10)$$

Конструктивный гидравлический расчет двухтрубной водяной сети

Конструктивный гидравлический расчет тепловой сети рекомендуется проводить по принятой величине удельной линейной потери давления.

В задачу расчета входит определение диаметров трубопроводов участков сети, потерь напора по участкам и напора сетевых насосов. Расчет ведется по таблицам или номограммам гидравлического расчета [2, 5].

Рекомендуется при расчете величину удельной линейной потери давления принимать:

- для магистральных сетей $\Delta P \leq 80$ Па/м;
- для распределительной сети и ответвления к зданиям ΔP=150÷300 Па/м.

Гидравлический расчет проводится в следующей последовательности:

1. Вычерчивается расчетная схема тепловой сети, нумеруются участки сети, на расчетные участки сети наносятся длины и расчетные расходы воды.

2. Выбирается главная (расчетная) магистраль (наиболее удаленная от источника тепла).

3. По суммарному расчетному расходу сетевой воды на участке по номограмме или таблице определяется стандартный диаметр трубопровода, соответствующий допустимым значениям удельной линейной потери давления или напора. Фиксируется значение $\Delta P_л$ ($\Delta h_л$), соответствующее выбранному стандартному диаметру трубопровода.

4. Гидравлический расчет рекомендуется начинать с последнего участка. По известному диаметру трубопровода на участке и приняв тип прокладки сети (подземная в непроходных каналах или надземная) выбирается тип компенсатора: сальниковый или П-образный. Принимая расстояние между неподвижными или подвижными опорами определяется количество компенсаторов [3, 5, 10].

5. Определяется эквивалентная длина местных сопротивлений $l_э$, в зависимости от характера сопротивления и диаметра трубопровода [5].

6. Определяется потеря давления или напора на расчетном участке по формуле:

$$\Delta P_{уч} = \Delta p_л\,(l + l_{экв}) = \Delta p_л\, l_р, \text{ Па/м} \tag{11}$$

или

$$\Delta h_{уч} = \Delta h_л\,(l + l_{экв}) = \Delta h_л\, l, \text{ прм вод. ст.,} \tag{12}$$

где $l_{пр}$ – приведенная длина участка трубопровода.

В расчетах двухтрубных закрытых тепловых сетей принимается, что потери давления (напора) в подающем трубопроводе равны потерям давления (напора) в обратном трубопроводе.

1. По окончании расчета участков тепловой сети определяется суммарная потеря давления (напора) в главной (расчетной) магистрали тепловой сети:

$$\Delta P_с^р = \sum_1^n \Delta P_{уч}, \text{ Па} \tag{13}$$

или

$$\Delta H_с^р = \sum_1^n \Delta h_{уч}, \text{ м вод. ст.} \tag{14}$$

Результаты гидравлического расчета заносятся в табл. 5.

Таблица 5

№	Расход воды	Длина участка, м			Диаметр	Скорость воды	Потеря удельная	Потери на участке	Примечание
		по плану	эквивалентная	приведенная					
	G	l	$l_{экв}$	$l_{пр}$	d	w	$\Delta p_л$	ΔP	Δh
	т/ч	м	м	м	м	м/с	Па/м	Па	м вод. ст.
Главная расчетная магистраль									
1									
2									
3									
I. Ответвление I								$\sum\Delta p$	$\sum\Delta h$
I. Ответвление II								$\sum\Delta p_о$	$\sum\Delta h_{отв}$
								$\sum\Delta p_о$	$\sum\Delta h_{отв}$

8. Находится необходимый располагаемый напор сетевых насосов:

$$\Delta H_{сн} = \Delta H_{ТПУ} + \Delta H_{с}^{р} + \Delta H_{цтп}, \text{ м вод. ст.,} \qquad (15)$$

где $\Delta H_{ТПУ}$ – потери напора в подогревателях сетевой воды ТЭУ, принимается $\Delta H_{ТПУ}$ = 15 ÷ 20 м вод. ст.;

$\Delta H_{цтп}$ – располагаемый напор на ЦТП, принимается $\Delta H_{цтп}$ =20÷25 м вод. ст.

При расчете ответвлений на ЦТП необходимо соблюдать условие:

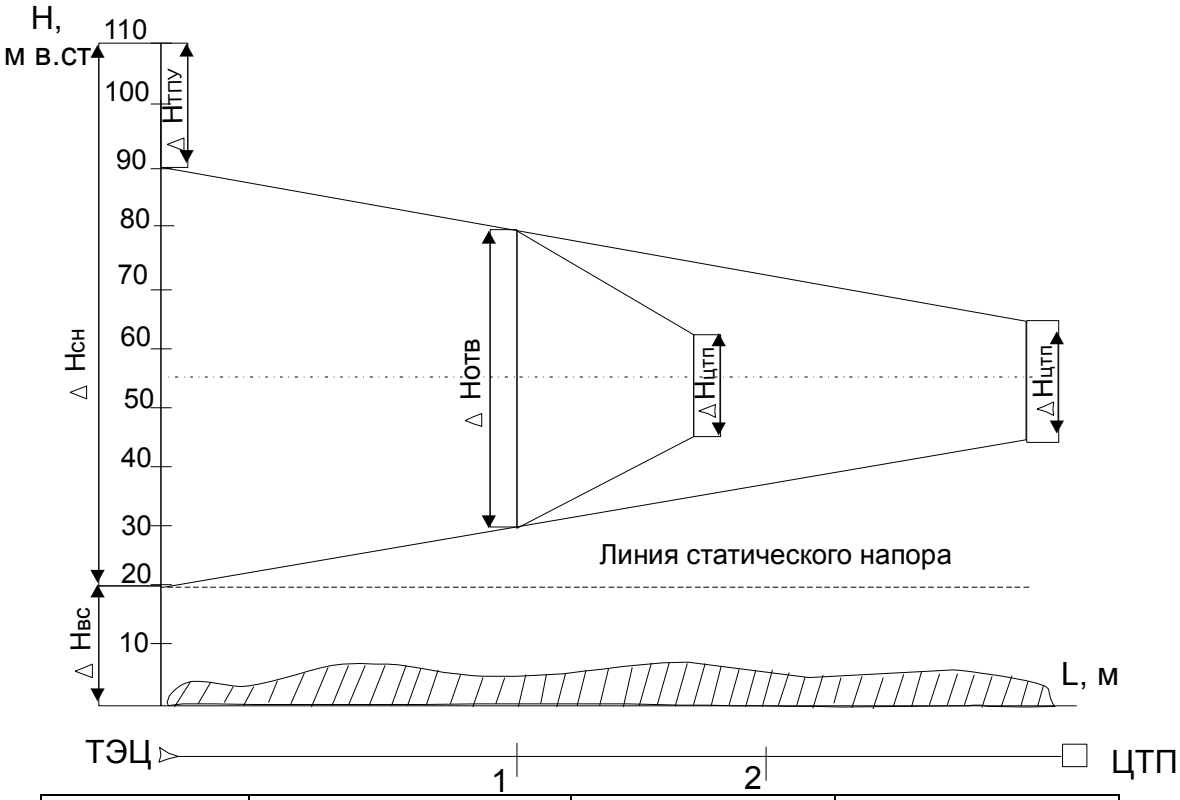
$\Delta H_{отв} \geq \Delta H_{отв}^{пот} \div \Delta H_{цтп}$, м вод. ст.;

$\Delta H_{отв}^{пот}$ – потери напора в ответвлении, м;

$\Delta H_{цтп}$ – располагаемый напор в магистрали в точке присоединения ответвления определяется из пъезометрического графика главной магистрали.

Построение пьезометрического графика

Вид пьезометрического графика показан на рис. 1.



L, м			
G, кг/с			
D, мм			
Δ*h*, м			

Рис. 1. Пьезометрический график
главной магистрали и одного ответвления

Пьезометрический график строится в масштабе по результатам гидравлического расчета с привязкой к рельефу местности в следующей последовательности:

1. Вычерчивается схема тепловой сети однолинейная в масштабе.

2. От условной линии отсчета наносится рельеф местности. Для этого откладываются геодезические отметки местности *Z*, которые нанесены на схему тепловой сети. При этом минимальная отметка *Z* принимается за относительный ноль. Принимается, что ось трубопровода сети совпадает с рельефом местности.

3. Откладывается высота всасывания $H_{вс}$ сетевых насосов от оси трубопровода. Высота всасывания эквивалентна напору в обратном

трубопроводе на всасывании сетевых насосов и может быть принята в пределах 15–30 м вод. ст.

4. Откладывается напор сетевых насосов $\Delta H_{\text{сн}}$ и фиксируется располагаемый напор на коллекторах ТЭЦ.

$$\Delta H_{\text{тэц}} = \Delta H_{\text{сн}} - \Delta \text{Н}_{\text{ТПУ}}, \text{ м вод. ст.} \qquad (16)$$

5. Строятся линии напоров в подающем и обратном трубопроводах подающей и обратном трубопроводах главной магистрали.

На графике показываются значения располагаемых напоров (перепадов давления) на ЦТП и в точках присоединения ответвлений – $\Delta H_{\text{ЦТП}}, \Delta H_{\text{ОТВ}}$.

6. Выбирается величина статического давления и на пьезометрическом графике наносится линия статического напора.

Поверочный гидравлический расчет

Цель поверочного расчета – определение потерь давления на участках трубопроводов двухтрубной водяной сети и располагаемых напоров на тепловых вводах потребителей. Методика предназначена для действующей сети.

Перед гидравлическим расчетом составляется расчетная схема тепловой сети с нанесением на ней длин и диаметров трубопроводов, местных сопротивлений и расчетных расходов теплоносителей по всем участкам сети.

Расчет производится, начиная от концевых участков (то есть участков без предшественников). Далее рассчитывается расход для тех участков, которые являются предшествующими для концевых участков. Если участок не содержит тепловых вводов, тогда расход воды для этого участка определяется как сумма расходов воды предыдущих участков.

Ниже приводится последовательность гидравлического расчета. Потери напора на i-м участке трубопровода определяются:

$$\Delta H_i = \beta \Delta h_{\text{тр}(i)} L \cdot 10^{-3} + \Delta h_{\text{м}}, \text{ м}, \qquad (17)$$

где β – поправочный коэффициент, применяемый при коэффициенте эквивалентной шероховатости отличном от $K_{\text{э}} = 0{,}5$ мм;

L – длина трубопровода на i-м участке, м;

$\Delta h_{\text{тр}}$ – удельные линейные потери напора на трение, мм/м:

$$\Delta h_{\text{тр}} = \frac{0{,}102 \lambda w^2 \rho}{\left(2 d_{\text{вн}}\right)}, \text{ мм/м}, \qquad (18)$$

где $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубопровода, м;

λ – коэффициент гидравлического трения.

Скорость теплоносителя w находится из уравнения неразрывности:

$$w = 4G_d / \left(3{,}6\pi D_i^2 \rho\right), \text{ м/с.} \tag{19}$$

Потери напора $\Delta h_{\text{м}}$ в местных сопротивлениях

$$\Delta h_{\text{м}} = \sum \zeta w^2 \rho / (2), \text{ м.} \tag{20}$$

Потери напора на участке на двух трубопроводах (закрытые системы)

$$\Delta H_i = 2\Delta H_i, \text{ м.} \tag{21}$$

Потери напора от источника тепла на i-м участке

$$\Delta H_{\text{и}} = \sum_{1}^{i-1} \Delta H_i + \Delta H_i, \text{ м.} \tag{22}$$

Располагаемый напор в конце участка

$$\Delta H_{\text{к}(i)}^{\text{р}} = \Delta H_{\text{н}(i)}^{\text{р}} - \Delta H_{2(i)}, \text{ м,} \tag{23}$$

где $\Delta H_{\text{к}(i)}^{\text{р}}$ – располагаемый напор в конце участка, м;

$\Delta H_{\text{н}(i)}^{\text{р}}$ – располагаемый напор в начале участка, м;

$\Delta H_{2(i)}$ – потери напора в 2 трубопроводах (подающем и обратном) на данном участке.