

## Лекция № 15

### 15. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

#### 15.1. Основные задачи

При проектировании тепловых сетей основная задача гидравлического расчета состоит в определении диаметров труб по заданным расходам теплоносителя и располагаемым перепадам давлений во всей сети или в отдельных ее участках (конструкторский расчет).

В процессе эксплуатации тепловых сетей возникает необходимость решения обратных задач по определению расходов теплоносителя на участках сети или давлений в отдельных точках при изменении гидравлических режимов (поверочный расчет).

Таким образом, в задачу гидравлического расчета входит:

- 1) определение диаметров трубопроводов;
- 2) определение падения давления (напора);
- 3) установление величин давлений (напоров) в различных точках сети;
- 4) увязка всех точек системы при статическом и динамическом режимах с целью обеспечения допустимых давлений и требуемых напоров в сети и абонентских системах.

Результаты гидравлического расчета дают исходный материал для решения следующих задач:

- 1) определение капиталовложений, расхода металла (труб) и основного объема работ по сооружению тепловой сети;
- 2) установление характеристик циркуляционных и подпиточных насосов, количества насосов и их размещения;
- 3) выяснение условий работы тепловой сети и абонентских систем и выбор схем присоединения абонентских установок к тепловой сети;
- 4) выбор авторегуляторов для тепловой сети и абонентских вводов;
- 5) разработка режимов эксплуатации.

Для проведения гидравлического расчета должны быть заданы схема и профиль тепловой сети, указаны размещение станции и потребителей и расчетные нагрузки.

#### 15.2. Расчетные зависимости

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

$$\Delta p = \Delta p_{\text{л}} + \Delta p_{\text{м}}, \quad \text{Па}, \quad (15.1)$$

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

$\Delta p_m$  – падение давления в арматуре (вентильях, задвижках, кранах и т.д.) и других элементах оборудования (коленах, шайбах, переходах и т.д.).

Формулы для гидравлического расчета трубопроводов водяных тепловых сетей приводятся ниже.

Суммарные потери давления в трубопроводах на трение и в местных сопротивлениях

$$\Delta P = R l_{np}, \quad \text{Па,} \quad (15.2)$$

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

$$l_{np} = l + l_3, \quad \text{м,} \quad (15.3)$$

где  $l$  – длина участка трубопровода по плану, м.

Эквивалентная длина местных сопротивлений  $l_3$

$$l_3 = \sum \xi \frac{D_i}{\lambda}, \quad \text{м,} \quad (15.4)$$

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

$D_i$  – внутренний диаметр, м;

$\lambda$  – коэффициент гидравлического трения.

Удельные потери давления на трение

$$R = 6,27 \cdot 10^{-8} \lambda \frac{G_d^2}{D_i^5 \rho}, \quad \text{Па/м,} \quad (15.5)$$

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

$\rho$  – средняя плотность теплоносителя на рассчитываемом участке, кг/м<sup>3</sup>.

Внутренний диаметр труб

$$D_i = \sqrt[5]{\frac{6,27 \cdot 10^{-8} \lambda G_d^2}{R \rho}}, \quad \text{м.} \quad (15.6)$$

Коэффициент гидравлического трения:

- для области квадратичного закона (при  $Re \geq Re_{np}$ )

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,14 + 2 \lg \frac{D_i}{k_3}\right)}, \quad \text{Вт/(м К),} \quad (15.7)$$

- для любых значений числа Рейнольдса (приближенно)

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_3}{D_i} + \frac{68}{Re}\right)^{0,25}, \quad \text{Вт/(м К),} \quad (15.8)$$

где  $k_3$  – коэффициент эквивалентной шероховатости, м.

Предельное число Рейнольдса

$$Re_{np} = 560 \frac{D_i}{k_3}. \quad (15.9)$$

Предельная скорость потока

$$w_{np} = 568 \frac{v_i}{k_3}, \quad \text{м/с.} \quad (15.10)$$

### 15.3. 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 аналитически, по таблицам или номограммам гидравлического расчета.

Рекомендуется при расчете величину удельной линейной потери давления принимать:

$$\Delta P_{уч} = \Delta P_{л}(l + l_{эkv}) = \Delta P_{л} l_{np},$$

- для магистральных сетей  $\Delta P \leq 80$  Па/м;

- для распределительной сети и ответвления к зданиям  $\Delta P = 150 \div 300$  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  $\Delta P_{л} (\Delta H_{\partial})$ , соответствующее выбранному стандартному диаметру трубопровода.

4. Гидравлический расчет рекомендуется начинать с последнего участка. По известному диаметру трубопровода на участке и принятому типу 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.

5. Определяется эквивалентная длина местных сопротивлений  $l_3$ , в зависимости от характера сопротивления и диаметра трубопровода, по таблице.

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

$$\Delta P_{уч} = \Delta P_{л}(l + l_{экв}) = \Delta P_{л} l_{пр}, \quad \text{Па/м}, \quad (15.11)$$

или

$$\Delta h_{уч} = \Delta h_{л}(l + l_{экв}) = \Delta h_{л} l_{пр}, \quad \text{Па/м}, \quad (15.12)$$

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.

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

$$\Delta P_c^p = \sum_I^n \Delta P_{уч}, \quad \text{Па/м} \quad (15.13)$$

Или

$$\Delta H_c^p = \sum_I^n \Delta h_{уч}, \quad \text{м в.ст.} \quad (15.14)$$

Результаты гидравлического расчета заносятся в табл. 15.1.

Таблица 15.1

№	Расход воды	Длина участка, м			Диаметр услов.	Скорость воды	Удельные потери	Потери на участке	Примечание
		по плану	эквив. длина	привед. длина					
	$G$	$l$	$l_{экв}$	$l_{пр}$	$D_{(y)}$	$w$	$\Delta P_{л}$	$\Delta P$	$\Delta h$
	т/ч	м	м	м	м	м/с	Па/м	Па	м в.ст
Главная расчетная магистраль									
1									
2									
3									
I. Ответвление I							$\sum_1^n \Delta P_{отв}$	$\sum_1^n \Delta h_{отв}$	
I. Ответвление II							$\sum_1^n \Delta P_{отв}$	$\sum_1^n \Delta h_{отв}$	
							$\sum_1^n \Delta P_{отв}$	$\sum_1^n \Delta h_{отв}$	

8. Находится необходимый располагаемый напор сетевых насосов:

$$\Delta H_{cn} = \Delta H_{mny} + \Delta H_c^P + \Delta H_{цтп}, \quad \text{м в.ст.}, \quad (15.15)$$

где  $\Delta H_{тпу}$  - потери напора в подогревателях сетевой воды ТЭУ, принима-

ется  $\Delta H_{тпу} = 15 \div 20$  м в. ст.;

$\Delta H_{цтп}$  - располагаемый напор на ЦТП, принимается  $\Delta H_{цтп} = 20 \div 25$  м в.ст.

При расчете ответвлений на ЦТП необходимо соблюдать условие:

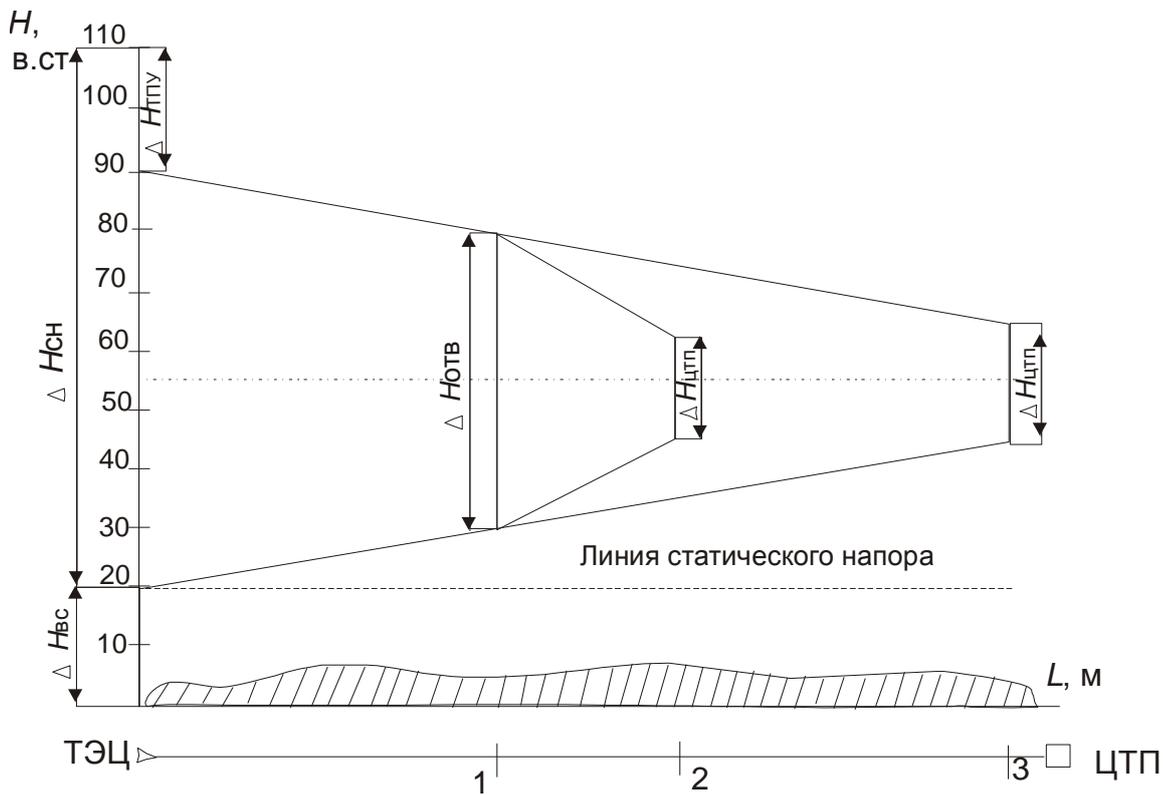
$$\Delta H_{отв} \geq \Delta H_{отв}^{\text{пот}} \div \Delta H_{цтп}, \quad \text{м в. ст.}$$

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

$\Delta H_{цтп}$  - располагаемый напор в магистрали, в точке присоединения ответвления, определяется из пьезометрического графика главной магистрали.

#### 15.4. Построение пьезометрического графика

Вид пьезометрического графика показан на рис. 15.1. Пьезометрический график строится в масштабе по результатам гидравлического расчета с привязкой к рельефу местности и в следующей последовательности.



$L, \text{ м}$			
$G, \text{ кг/с}$			
$D, \text{ мм}$			
$\Delta h, \text{ м}$			

Рис. 15.1. Пьезометрический график главной магистрали и одного ответвления

1. Вычерчивается однолинейная схема тепловой сети 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  $H_{\text{вс}}$  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 в.ст.

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

$$\Delta H_{\text{тэц}} = \Delta H_{\text{сн}} - \Delta H_{\text{мпу}}, \quad \text{м в.ст.} \quad (15.16)$$

5. Строятся линии напоров в подающем и обратном трубопроводах подающей и обратном трубопроводах главной магистрали. На графике показы-

ваются 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.

### 15.5. Поверочный гидравлический расчет двухтрубной водяной сети

Цель поверочного расчета - определение потерь давления на участках трубопроводов двухтрубной водяной сети и располагаемых напоров на тепловых вводах потребителей. Методика предназначена для действующей сети (известны диаметры трубопроводов и расходы теплоносителей по участкам).

Перед гидравлическим расчетом определяется суммарный расчетный расход сетевой воды (на основании результатов расчета тепловых нагрузок заданного района теплоснабжения), складывающийся из расчетных расходов на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

Если отсутствуют проектные данные по объектам теплопотребления, то для определения расхода сетевой воды для каждого объекта (и соответствующего присоединенного к нему участка тепловой сети) по укрупненным показателям рассчитывают тепловые нагрузки данного объекта, а затем из уравнения теплового баланса находится расход сетевой воды на этот объект.

Составляется расчетная схема тепловой сети с нанесением на ней длин и диаметров трубопроводов, местных сопротивлений и расчетных расходов теплоносителей по всем участкам сети (рис. 15.2).

Для заполнения таблицы исходных данных рассчитывается расход воды для участка, как сумма расходов воды для тепловых вводов, входящих в данный участок. Расчет производится, начиная от концевых участков (т.е. участков без предшественников). Далее рассчитывается расход для тех участков, которые являются предшествующими для концевых. Результирующим является расход последнего участка (ближайшего к источнику тепла) перечня в описании наружной сети. Поэтому для ускорения просчета в характеристике наружной сети рекомендуется сначала располагать конечные участки, потом те, которые входят в них. Последним в перечне должен быть участок, определяющий начало тепловой сети. Если участок не содержит тепловых вводов, тогда расход воды для этого участка определяется как сумма расходов воды предыдущих участков (рис. 15.2).

Ниже приводится последовательность гидравлического расчета двухтрубной тупиковой водяной сети.

Потери напора на  $i$ -ом участке трубопровода определяются

$$\Delta H_i = \beta \Delta h_{mp(i)} L 10^{-3} + \Delta h_m, \quad \text{м}, \quad (15.17)$$

где  $\beta$  - поправочный коэффициент, применяемый при коэффициенте эквивалентной шероховатости отличном от  $K_s = 0,5$  мм;

$L$  - длина трубопровода на  $i$ -ом участке, м;

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

$$\Delta h_{mp} = \frac{0,102 \lambda w^2 \rho}{(2 d_{вн})}, \quad \text{мм/м}, \quad (15.18)$$

где  $d_{вн}$  - внутренний диаметр трубопровода, м;

$\lambda$  - коэффициент гидравлического трения.

Тепловые сети, как правило, работают при турбулентном режиме движения теплоносителя в квадратичной области, поэтому коэффициент гидравлического трения определяется по формуле (15.7).

Скорость теплоносителя  $w$  находится из уравнения неразрывности

$$w = 4 G_d / (3,6 \pi D_i^2 \rho), \quad \text{м}. \quad (15.19)$$

Потери напора  $\Delta h_M$  в местных сопротивлениях

$$\Delta h_M = \sum \zeta w^2 \rho / 2, \quad \text{м}. \quad (15.20)$$

Расчетные потери напора от источника тепла определяются из потерь на двух трубопроводах (подающем и обратном) на каждом участке, учитывая структуру наружной тепловой сети.

Потери напора на участке (на двух трубопроводах) равны удвоенным потерям (для закрытых систем теплоснабжения)

$$\Delta H_i = 2 \Delta h_i, \quad \text{м}. \quad (15.21)$$

Потери напора от источника тепла на  $i$ -ом участке определяются с учетом потерь напора на предшествующих участках

$$\Delta H_u = \sum_1^{i-1} \Delta H_i + \Delta H_i, \quad \text{м}. \quad (15.22)$$

Для расчета потерь напора системы  $H_c$  необходимо просчитать сумму значений потерь на последовательности участков от источника до конечного участка (наиболее удаленного от источника тепла). Расчет начинается с наиболее удаленного от источника конечного участка. Далее рассчитывается участок, предшествующий этому конечному, и т.д. до узловой точки, от которой начинается ответвление, и далее до источника. Затем берется конечный участок другого ответвления и проводится расчет сопротивления другой последовательности участков (концевой участок – источник) и т.д., пока не будут рассчитаны все возможные цепочки участков. Значение расчетных потерь напора от источника тепла до каждого конечного участка заносится в базу данных для соответствующего конечного участка.

Располагаемый напор в конце участка

$$\Delta H_{к(i)}^p = \Delta H_{н(i)}^p - \Delta H_{2(i)}, \quad \text{м,} \quad (15.23)$$

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

$\Delta H_{н(i)}^p$  - располагаемый напор в начале участка, м;

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