



ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Лекция 5

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И РАСЧЕТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ

- 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.
- 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.
- Результаты гидравлического расчета используются для построения пьезометрических графиков, выбора схем абонентских вводов, подбора насосного оборудования, определения стоимости тепловой сети и других целей.
- При движении теплоносителя по трубам потери давления складываются из гидравлических сопротивлений трения по длине трубопровода и местных сопротивлений

$$\Delta P = \Delta P_{\text{л}} + \Delta P_{\text{м}}$$



- Гидравлические сопротивления (Па) по длине трубопровода определяются по формуле Вейсбаха — Дарси
$$\Delta P_n = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho w^2}{2},$$
- где λ — коэффициент гидравлического трения; l — длина трубопровода, м; d — внутренний диаметр трубопровода, м; ρ — плотность теплоносителя, кг/м³; w — скорость движения теплоносителя, м/с.
- Коэффициент гидравлического трения в общем случае зависит от числа Рейнольдса (Re) и относительной эквивалентной шероховатости трубы (ka/d).
- Шероховатостью трубы называют выступы и неровности, влияющие при турбулентном движении жидкости на линейные потери давления. В реальных трубах эти выступы и неровности различны по форме, величине и неравномерно распределены по ее длине.



- За эквивалентную шероховатость k условно принимают равномерную зернистую шероховатость, выступы которой имеют одинаковую форму и размеры, а потери давления по длине такие же, как и в реальных трубах.
- Величину эквивалентной шероховатости стенок труб с учетом коррозии рекомендуется принимать: для паропроводов — 0,2 мм; для водяных тепловых сетей — 0,5 мм; для конденсатопроводов — 1 мм.
- Для теплопроводов наружных сетей характерным является турбулентный режим движения теплоносителей.



- Местные гидравлические сопротивления определяются по формуле Вейсбаха

$$\Delta P_{\text{м}} = \zeta \frac{\rho \omega^2}{2},$$

- где ζ — суммарный коэффициент местных сопротивлений на участке трубопровода.
- Местные потери давления можно заменить эквивалентными гидравлическими сопротивлениями по длине, если в уравнение вместо ζ подставить $l_{\text{э}}$ — эквивалентную длину местных сопротивлений, т. е. такую длину прямолинейного трубопровода, линейные потери давления в котором численно равны потерям давления в местных сопротивлениях.



МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТРУБОПРОВОДОВ

- Расчетным участком разветвленной сети принято называть трубопровод, в котором расход теплоносителя не изменяется. Расчетный участок располагается, как правило, между соседними ответвлениями.
- Иногда расчетный участок приходится делить на два или несколько, если в его пределах требуется изменить диаметры труб.
- В первую очередь гидравлический расчет ведут по участкам в направлении главной магистрали, соединяющей источник тепла с наиболее удаленным абонентом.
- В паровых тепловых сетях, когда требуемое давление пара у абонентов различно, неизбежно приходится сначала рассчитывать те трубопроводы, которые соединяют источник тепла с абонентом, требующим максимальное давление пара.



- Пусть число участков вдоль главной магистрали равно n , расчетные расходы теплоносителя
- а располагаемый $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$ ений во всей сети
- Обычно принимают, что давление вдоль главной магис ΔP_c и падает равномерно, т. е.

ТОГДА

$$R_1 = R_2 = \dots = R_n = R_{л. ср}; \quad \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = \alpha_{ср};$$

$$R_{л. ср} = \frac{\Delta P_c}{(1 + \alpha_{ср}) \sum_1^n l}$$

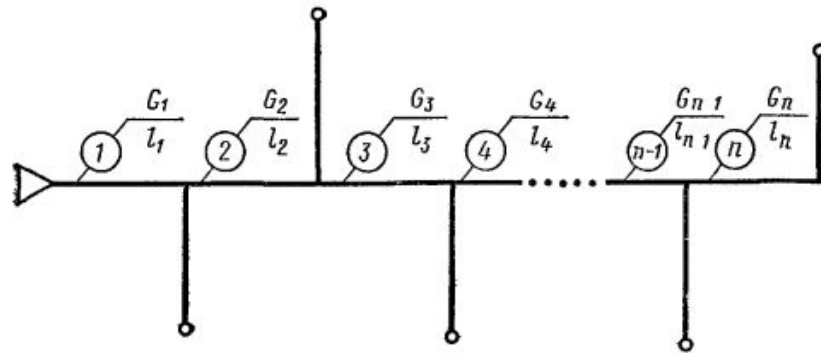


Рис. VI 1. Расчетная схема тепловой сети

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ

- Расчет выполняют в два этапа: предварительный и окончательный.

В предварительном расчете определяют:

- 1) Ориентировочное значение доли потерь давления;

$$\alpha_{\text{ср}} = z \sqrt{G},$$

где z — коэффициент, для водяных сетей $z=0,01$, для паровых сетей $z=0,05 \div 0,1$; G — расход теплоносителя в начальном участке разветвленного теплопровода, т/ч.

- 2) Значение средней удельной потери давления;

□

$$R_{\text{л. ср}} = \frac{\Delta P_{\text{с}}}{(1 + \alpha_{\text{ср}}) \sum_1^n l}.$$

- 3) По известным расходам теплоносителя на участках G_2, \dots, G_n и средней удельной потери давления с помощью таблиц или номограмм — диаметр труб с округлением до стандартных размеров.



ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ

В окончательном расчете уточняются гидравлические сопротивления на всех участках сети при выбранных диаметрах труб следующим образом:

- 1) при округлении диаметров труб до стандартных размеров по тем же таблицам или номограммам определяют фактические значения удельных потерь давления по длине и, если необходимо, скорости теплоносителя;
- 2) определяют эквивалентные длины местных сопротивлений на расчетных участках;
- 3) вычисляют полные потери давления на участках сети
- 4) определяют суммарные гидравлические сопротивления для всех участков расчетной магистрали, которые сравнивают с располагаемым в ней перепадом давления
- Расчет считается удовлетворительным, если гидравлические сопротивления не превышают располагаемый перепад давлений и отличаются от него не более чем на 10%. В этом случае расчетный расход теплоносителя будет обеспечен с ошибкой не более +3,5%. Диаметры труб ответвлений рассчитывают в такой же последовательности.



ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ РАСХОДОМ ВОДЫ И СКОРОСТЬЮ

- В таблицах для гидравлического расчета наружных тепловых сетей плотность воды принимается равной 958,4 кг/м³, что соответствует температуре 100°С. При этих условиях коэффициент кинематической вязкости воды равен
- Зависимость между расходом $0,296 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ и скоростью при данных условиях примет вид

$$G = 2710 w d^2.$$



РАСЧЕТНЫЙ РАСХОД ВОДЫ

- Для магистральных и распределительных трубопроводов расчетный расход воды на горячее водоснабжение в двухтрубных закрытых системах теплоснабжения принимается равным среднечасовому расходу воды за сутки.
- В ответвлениях к отдельным зданиям, а также в распределительных сетях для группы жилых зданий с общим количеством жителей до 6000 чел. за расчетный расход на горячее водоснабжение принимают максимальный часовой расход воды.



ДАВЛЕНИЕ

- Располагаемый перепад давлений в тепловой сети необходимо обосновывать технико-экономическими расчетами.
- При отсутствии данных для экономического обоснования удельные потери давления вдоль главной магистрали рекомендуется принимать до 80 Па/м. Для отдельных участков — по располагаемому давлению, но не более 300 Па/м.
- Диаметры распределительных трубопроводов принимают не менее 50 мм, а ответвлений — не менее 25 мм.
- Неиспользованное в ответвлениях давление рекомендуется погасить в соплах элеваторов или, в крайнем случае, дросселировать шайбами. При этом шайбы следует устанавливать не на общем вводе, а на трубопроводах каждого потребителя тепла данного здания (отопление, вентиляция, горячее водоснабжение).



РАСЧЕТ ПАРОПРОВОДОВ

- При движении пара по трубам его давление и плотность уменьшаются. Это обстоятельство усложняет гидравлический расчет, так как падение давления и средняя плотность пара на участке зависят от искомой величины — диаметра трубопровода. Поэтому гидравлический расчет паропроводов может быть выполнен только методом последовательных приближений.
- В предварительном расчете паропроводов давления в узловых точках рекомендуется определять их условия равномерного падения давления в направлении расчетной магистрали:

$$P_{ki} = P_{ni} - \frac{\Delta P_e}{\sum_1^n l} l_i.$$



- Аналогично находятся примерные температуры пара в узловых точках и средние на участках из расчета, что через каждые 100 м температура перегретого пара уменьшается на 2° С:

$$\Delta t_i = t_{ni} - t_{ki} = 2l_i/100,$$
$$t_{срi} = t_{ni} - \frac{l_i}{100}.$$

Здесь P_{ni} , P_{ki} — давления пара в начале и в конце участка, МПа; ΔP_c — перепад давления во всей сети, МПа; l_i — длина участка, м; n — число участков по направлению расчетной магистрали; Δt_i — перепад температуры пара на участке, °С; t_{ni} , t_{ki} , $t_{срi}$ — начальная, конечная и средняя температуры пара на участке, °С.



МЕТОДИКА РАСЧЕТ ПАРОПРОВОДА

- Предварительный расчет:
- 1. По формуле (VI. 17) определяют ориентировочные давления в узловых точках.
- 2. Определяется табличное значение удельной потери давления по длине в направлении главной магистрали:

$$R_{\text{ср. т}} = \frac{\Delta P_{\text{с}}}{(1 + \alpha_{\text{ср}}) \sum_1^n l} \frac{\rho_{\text{ср.}}}{\rho_{\text{т}}}$$

- 3. По удельной $R_{\text{ср. т}}$ и расходам пара на участках по таблицам или номограммам определяются диаметры труб и уточняются табличные значения $R_{\text{т}}$, соответствующие стандартным диаметрам, а также находятся скорости пара.



Окончательный расчет.

- Окончательный расчет выполняется последовательно по участкам и сводится к более точному определению давлений и температур в узловых точках сети.

- 1. Определяются фактические значения R_i , ω_i

соответствующие $\rho_{cp\ i}$

- 2. Находятся эквивалентные длины местных сопротивлений.
- 3. Определяются потеря давления пара и его давление в конце участка.
- 4. По приложению «Удельные потери тепла q изолированными паропроводами, проложенными в непроходных каналах»
- определяются потери тепла одним метром паропровода и потери тепла в окружающую среду на участке паропровода по формуле

- $Q_{oi} = q_{oi} (t_{cp\ i} - t_o) l_i \cdot 10^{-3}$,
- по формуле определяют действительное падение температуры перегретого пара и температура пара в конце участка.



ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ ГРАФИК

- Распределение давлений в тепловых сетях удобно изображать в виде пьезометрического графика, который дает наглядное представление о давлении или напоре в любой точке тепловой сети и поэтому обеспечивает большие возможности учета многочисленных факторов (рельеф местности, высота зданий, особенности абонентских систем и т. д.) при выборе оптимального гидравлического режима.
- Давление, выраженное в линейных единицах измерения, называется напором давления или пьезометрическим напором. В системах теплоснабжения пьезометрические графики характеризуют напоры, соответствующие избыточному давлению, и они могут быть измерены обычными манометрами с последующим переводом результатов измерения в метры.



УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГРАФИКА

- 1. Давление в непосредственно присоединяемых к сети абонентских системах не должно превышать допустимого как при статическом, так и при динамическом режиме. Для радиаторов систем отопления максимальное избыточное давление должно быть не более 0,6 МПа, что соответствует примерно напору в 60 м.
- 2. Максимальный напор в подающих трубопроводах ограничивается прочностью труб и всех водоподогревательных установок.

Наименование оборудования	Предельно допустимые напоры, м
Стальные водогрейные котлы	250
Чугунные котлы	60
Подогреватели сетевой воды БО и БТ	140
Скоростные подогреватели воды МВН	100
Калориферы	80
Чугунные радиаторы	60
Панели со змеевиками из труб	80



- 3. Напор в подающих трубопроводах, по которым перемещается вода с температурой более 100°C , должен быть достаточным для исключения парообразования. Например, насыщенный пар, находящийся под давлением $0,4\text{ МПа}$, имеет температуру $151,3^{\circ}\text{C}$.
- Если в сети температура воды тоже $151,3^{\circ}\text{C}$, то для исключения ее вскипания давление в сети должно быть больше $0,4\text{ МПа}$. Следовательно, для рассматриваемого случая минимальный напор в подающей сети должен быть $43—45\text{ м}$.
- В связи с неравномерным нагреванием воды в отдельных трубках водогрейных котлов температуру воды в них для определения давления, обеспечивающего неевскипание, следует принимать на 30°C выше расчетной температуры сетевой воды.
- 4. Для предупреждения кавитации напор во всасывающем патрубке сетевого насоса должен быть не меньше 5 м .
- 5. В точках присоединения абонентов следует обеспечить достаточный напор для создания циркуляции воды в местных системах. При элеваторном смешении на абонентском вводе располагаемый напор должен быть не меньше $10—15\text{ м}$. Наличие подогревателей горячего водоснабжения при двухступенчатой схеме требует увеличения напора до $20—25\text{ м}$.



ПРИМЕР

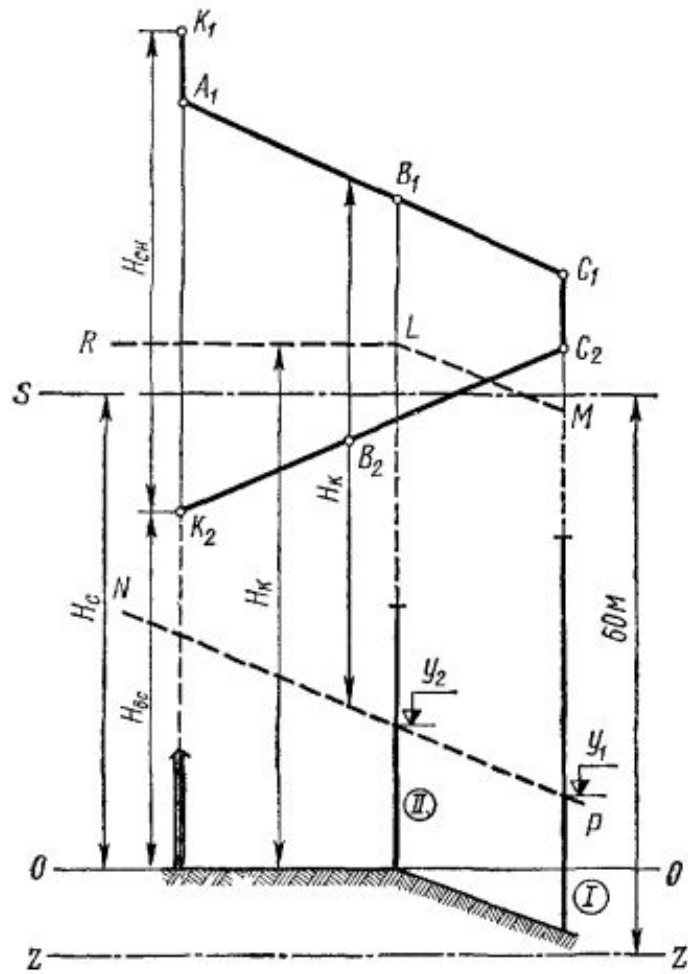


Рис. VI.10. Построение пьезометрического графика



- Сначала строится профиль местности по трассе теплопроводов. На профиле в принятом масштабе наносят высоты зданий. При построении пьезометрических графиков условно принимают, что оси трубопроводов совпадают с поверхностью земли.
- Такая условность вполне оправдана для подземных прокладок, когда заглубление трубопроводов не превышает 1—2 м. В этом случае фактические напоры в трубопроводах будут больше на величину их заглубления. Для воздушных прокладок, наоборот, напоры в трубопроводах будут меньше, и это обстоятельство следует учитывать при определении минимальных давлений, обеспечивающих невозможность вскипания воды в подающих или невозможность возникновения вакуума в обратных трубопроводах.
- Статический напор (линия $s - s$) устанавливают из условия заполнения сетевой водой по возможности всех абонентских систем с запасом в 3—5 м по отношению к самому высокому абоненту. Проведем на 60 м ниже линии $s - s$ горизонталь $z - z$. Тогда в зоне, расположенной между этими линиями, при статическом режиме напор не превышает 60 м и не опасен для чугунных радиаторов систем отопления.



- Предельное положение пьезометрической линии для обратной магистрали при динамическом режиме (линия $K_2V_2C_2$) намечается из следующих соображений:
- а) максимальный пьезометрический напор не должен превышать 60 м в радиаторах нижних этажей систем отопления, присоединяемых по элеваторной схеме;
- б) для защиты систем отопления от опорожнения пьезометрическая линия должна быть не менее чем на 3—5 м выше зданий.
- Действительный уклон пьезометрической линии определяется по данным гидравлического расчета. Потери напора в местной системе конечного абонента соответствуют отрезку C_1C_2
- Отложив от точки C , потери напора в подающей магистрали, проведем для этой магистрали пьезометрическую линию $C_1V_1A_1$. Точка K_1 располагается выше точки A_1 на величину потери напора в станционной подогревательной установке.
- Пьезометрическая линия подающей магистрали должна удовлетворять следующим условиям:
- а) максимальный напор не должен превышать допустимого для труб и подогревательных установок;
- б) минимальный напор не должен допускать вскипания воды.
- Если перечисленные выше условия не могут быть выполнены для всех абонентов, то отдельные местные системы необходимо присоединять по независимой схеме.

