

Лекция № 17

17.1. Гидравлические режимы работы тепловых сетей

Для определения давлений и напоров в различных точках теплоснабжающей системы строят графики давлений. На оси абсцисс (рис. 17.1) откладывают длины теплопроводов, а на оси ординат - геодезические отметки высоты систем потребителей и давления.

При построении графика давлений в тепловых сетях следует добиваться выполнения технических условий.

При построении графиков давлений следует рассматривать статическое и динамическое состояния теплоснабжающей системы.

График давлений при статическом состоянии выражается горизонтальной прямой, проведенной по наивысшей отметке статического давления на абонентском вводе. Линия статического давления для подающей и обратной магистралей одна.

Линии динамического давления для подающей и обратной магистралей различны. Линия динамического давления подающей магистрали берет свое начало от точки, характеризующей на оси ординат давление после водоподогревательной установки ТЭЦ. Линия динамического давления обратной магистрали берет свое начало от точки, характеризующей давление в обратном коллекторе источника теплоснабжения. Уклоны линий динамического давления всегда направлены по ходу теплоносителя и характеризуют падение давления в магистралях. Тангенсы углов наклона линий динамического давления равны удельным потерям давления на каждом данном отрезке магистрали. Положение линий динамического давления относительно оси абсцисс по вертикали определяется оптимальным давлением в обратном коллекторе сети.

При построении линий давлений следует иметь в виду, что давление в системе потребителя определяется давлением в обратной магистрали и примерно равно ему. При закрытии задвижки за системой можно поднять давление в системе до давления в подающей линии. Таким образом, минимально возможное давление в местной системе равно давлению в обратной линии теплосети, а максимальное - в подающей линии.

На рис. 17.1 приведен примерный график давлений тепловой сети, имеющей 8 потребителей. Среди потребителей - высотный дом (абонент 2). Согласно плану сети на графике давлений построен профиль трассы 0абвгде и т.д. За нулевую отметку принята отметка оси сетевого насоса. На профиле трассы вертикальными отрезками показаны высоты местных систем, соответствующие их статическим давлениям.

Все системы, кроме системы 8, работают на высокотемпературной воде по схеме присоединения с подмешиванием. Высотный дом изолирован гидравлически от сети присоединением через водоподогреватель. В системе 7 собственная высота меньше высоты давления паров воды перед

смесителем, а статическое давление выше высоты самой системы и равно высоте давления паров перегретой воды. Система 8 работает на высокотемпературной воде без подмешивания, ее статическая высота также превышает фактическую высоту системы на величину, соответствующую давлению паров перегретой воды. В данном примере эта система после гидравлической изоляции высотного дома дала наиболее высокий уровень статического давления и определила его.

Линия динамического давления обратной магистрали АБ имеет своим началом давление в точке Б, которая выбрана с некоторым превышением против статического давления системы 8. Уклон этой линии по ходу теплоносителя определяется потерей давления на трение и равен величине отрезка АИ. Точка пересечения линии статического давления с линией динамического давления в обратной магистрали называется нейтральной точкой: в этой единственной точке графика давление остается неизменным при любом расходе теплоносителя.

Линия динамического давления в подающей магистрали ВГ также имеет уклон по ходу теплоносителя, соответствующий потере давления в трубах. Общая потеря давления на трение в подающей магистрали выражается отрезком ВД. Начальная точка В этой линии определяется давлением за водоподогревательной установкой. Потеря давления в установке обозначается отрезком ВЕ. Отрезок АЕ равен напору, развиваемому насосом во время работы сети с расчетной циркуляцией.

Расстояние между линиями динамического давления подающей и обратной магистралей на конце графика (т.е. отрезок ИД или ГБ) соответствует потере давления на вводе или напору на вводе абонента.

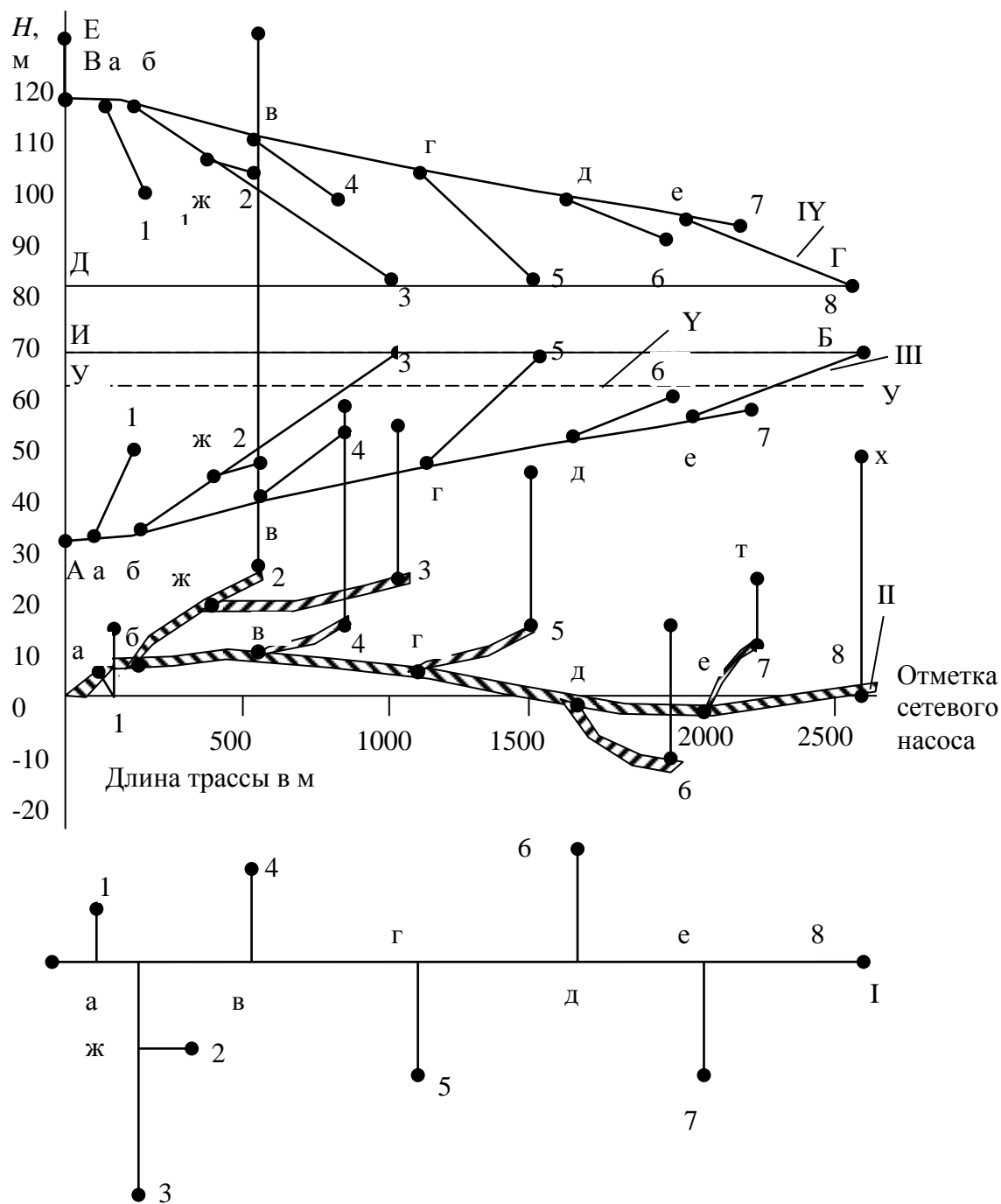


Рис. 6.4. График давлений водяной сети:

I – план сети; II – профиль сети; III – график давлений обратной магистрали; IY – график давлений подающей магистрали; Y – линия статического давления системы; 1 - 8 – номера абонентов; а-ж – узловые точки сети; вертикальные отрезки от точек 1,2,3 и т.д. на профиле сети – высота абонентских систем

Таким образом, напор сетевого насоса складывается из следующих потерь на трение в магистралях (АИ+ДВ), на вводе к абоненту ИД и потерь

водоподогревательной установки ВЕ. Напор насоса двухтрубной сети не зависит от рельефа местности, профиля трассы и высоты систем потребителей. От динамических линий магистрали отходят линии давления в ответвлениях к потребителям (а1, б2, ж3, в4, г5, д6, е7, е8).

В некоторых из них располагаемый в узлах ответвлений напор используется полностью (б3, г5 и е7). В других на вводах остается избыточный напор, который должен погаситься задвижками, диафрагмами или соплами элеваторов. Все потребители, кроме б, как при статическом, так и при динамическом режимах оказываются под давлением, не превышающим предельно допустимого (6 ати). Потребитель б, оказавшийся под давлением 8 ати, присоединяется через водоподогреватель, так же как и потребитель 2 (высотный дом), присоединенный по той же схеме с целью защиты всей сети от его высокого статического давления.

Потребитель 4 имеет статическое давление более высокое, чем в его обратной линии, - у него устанавливается автоматический регулятор подпора для обеспечения залива системы. Потребитель 3 при работе сети не нуждается в подпоре, однако, эта необходимость появляется, если, например, систему потребителя выключить задвижкой на подающей линии (например, авторегулятором местных пропусков). Таким образом, и у потребителя 3 должен устанавливаться автоматический регулятор подпора. На основе последнего случая следует сделать вывод, что регуляторы подпора должны устанавливаться у всех потребителей, статические высоты которых оказываются выше линии динамического давления в обратной магистрали (а не в ответвлении от нее). Все остальные потребители в приведенном примерном графике давлений присоединяются по открытой схеме без специальной защиты.

На рис. 17.2 показаны линии давлений абонентов 1, 2, 3, 4, 5, 6 при наличии подстанции.

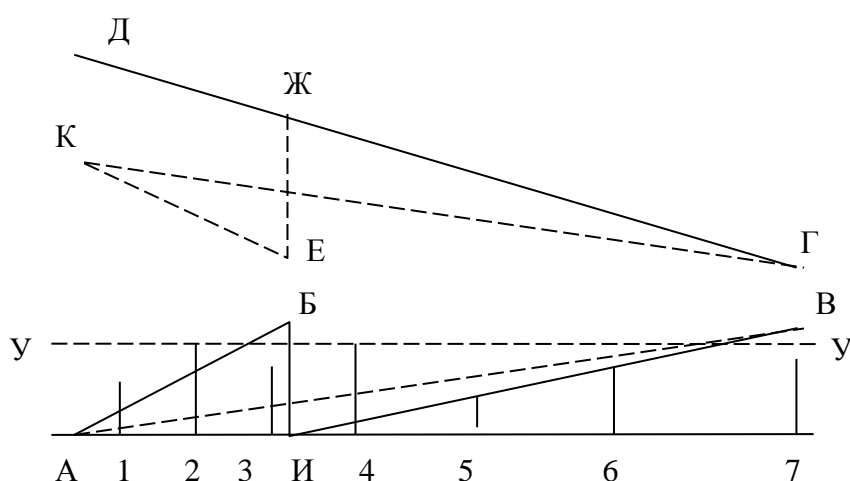


Рис. 17.2. График давлений в водяной сети при наличии подстанции

Если бы подстанций не было, то уровень давлений обратной магистрали представлен был линией АВ, а подающей магистрали - линией КГ. При введении подстанции в середине обратной магистрали можно удвоить допустимое удельное падение напора; тогда уровень давлений обратной магистрали выразится ломаной линией АБИВ, а подающей магистрали (при одинаковых диаметрах труб) - линией ДГ. Если в целях снижения давлений на подающей магистрали также поставить подстанцию, то ее уровень давлений примет вид КЕЖГ. С необходимостью установки насосной подстанции на обратной магистрали приходится встречаться в том случае, когда трасса после насосной станции имеет уклон. Если разность геодезических отметок насосной станции и нижних точек трассы равна или превышает допустимое для абонентов давление, установка подстанций на обратной магистрали обязательна, подающая же магистраль при этом не требует устройства подстанции.

На рис. 6.6 приведен график давлений при двух насосных подстанциях на обратной магистрали, что позволяет допустить работу с большим удельным падением напора в трубах. В точках Б и Г устанавливаются подстанции; уровень давлений обратной магистрали выражается ломаной линией ОАБВГД, а уровень давлений подающей магистрали, имея одинаковое с обратной удельное падение напора, - линией ЕЖ. Для устранения недопустимого давления в низших точках, когда статический уровень давления превышает 6 ати, создают ступенчатый статический уровень, как это показано в приведенной схеме (рис. 6.6) (у-у и у₁ - у₁). Осуществляется ступенчатый статический уровень при помощи автоматических клапанов, отключающих нижнюю часть сети от верхней в момент остановки насосов.

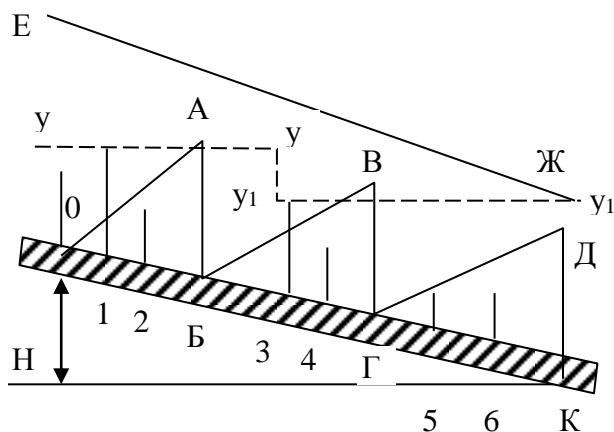


Рис. 17.3. График давлений в водяной сети при двух насосных подстанциях на обратной магистрали

Отключение должно произойти при этом как по прямой, так и по обратной магистрали, причем импульсом должно явиться повышение

давления в обратной магистрали. При подъеме профиля насосной подстанции на обратной магистрали делать обычно не приходится, т.к. располагаемое падение напора в этом случае обычно достаточно. Но на подающей линии в целях снижения давления в главной подающей магистрали иногда целесообразно бывает поставить насосную подстанцию. В практических условиях, при установке одной-двух подстанций на магистрали, экономия энергии составляет 15 – 25 %.

Случайная остановка насосов на подстанции ведет обычно к значительному повышению давления в обратной магистрали у конечных абонентов. Для устранения этого предусматриваются специальные автоматические устройства.

Профиль трассы теплосети получают на основании геодезических отметок. В числителе репера указывается геодезическая разность высот местности $H_{Гі}$ и станции $H_{Гс}$: $\Delta H_{Г} = H_{Гі} - H_{Гс}$, а в знаменателе - геодезическая отметка местности по отношению к уровню моря. Пьезометрический график позволяет определить значения пьезометрических напоров воды в подающем и обратном трубопроводах, характеризующих потенциальную энергию жидкости относительно уровня земли :

$$H_{\text{пьезом}} = H_i - \Delta H_{Г}, \text{ м}, \quad (17.1)$$

где H_i - напор жидкости, приведенной к уровню нулевого отсчета.

При завышенном напоре воды в обратном коллекторе ($H_{\text{коллек}} > 20 \text{ м}$) и наличии насосной станции на обратной магистрали теплосети осуществляется корректировка обратной пьезометрической линии на участке от насосной станции до источника путем ее параллельного снижения до достижения значения напора $H_{\text{коллек}} = 20 \text{ м}$.

Корректировка пьезометрического графика характеризует снижение напора насосной станции на величину уменьшения напора воды в обратном коллекторе котельной.

С целью установления надежного гидродинамического режима работы системы теплоснабжения на пьезометрическом графике указывается минимально допустимый напор воды в подающей линии теплосети, определяющий ее вскипание. Линия минимального допустимого напора H_{min}^p эквидистантна профилю местности и располагается по отношению к нему на высоте

$$H_{\text{min}}^p = 10^6 [(t_{\text{max}} / 179)^4 - P_0] / (\rho g), \text{ м}, \quad (17.2)$$

где P_0 - атмосферное давление, равное 0,1013 Мпа;

t_{max} - максимальная температура воды в подающей линии теплосети, °С.

При использовании в системе теплоснабжения водогрейных котлов должна быть обеспечена надежность эксплуатации, предусматривающая защиту от вскипания воды в котлах. Это достигается поддержанием напора

воды на нагнетании сетевых насосов. Указанный напор вычисляется по формуле

$$H_{\text{сн}} \geq 10^6 [(t_k'' + 25/179)^4 + \Delta P_k - \Delta P_0] / (\rho g) \quad , \text{ м}, \quad (17.3)$$

где t_k'' - максимальная температура воды на выходе из водогрейного котла (приблизительно равна максимальной температуре воды в подающем трубопроводе);

ΔP_k - потеря давления воды в водогрейном котле, $0,15 \leq \Delta P_k \leq 0,25$ Мпа.

В случае невыполнения условия (17.3) требуется увеличить напор на всасе сетевых насосов на величину недостатка. Это приведет к увеличению напора во всех точках теплосети на ту же величину.

По энергетическим показателям (расходу электроэнергии на привод насосов) установка насосных станций как на подающей, так и обратной линиях сети является положительным фактором, т.к. расход воды в трубопроводах сети в местах установки насосных станций всегда меньше, чем в котельной, однако сооружение насосных станций требует дополнительных капиталовложений.

На пьезометрический график горизонтальной линией наносится статический напор сети, который создается подпиточными насосами при выключенных сетевых насосах.

Статический напор воды определяется максимальной разностью между верхней отметкой абонентов, присоединенных к сети по зависимой схеме, и уровнем нулевого отсчета $H_{\text{стат}} \geq (H_{\text{здан}} - H_{\Gamma})_{\text{завис}} = \max$, где $H_{\text{здан}}$ - высота здания; для жилых зданий принимается 3 метра на этаж.

Пьезометрический график позволит установить работоспособность системы теплоснабжения, выбрать сетевые и подпиточные насосы, а также схемы присоединения абонентов к теплосети (зависимую, независимую, с регулятором подпора, элеватором, насосами смешения и т.д.).

По величине напора сетевого насоса и расходу воды в прямой линии сети выбираются сетевые насосы.

По величине напора насосной станции и расходу воды на участке сооружения насосной станции выбираются насосы насосной станции.

На основании значений материальной характеристики сети (M) и суммарной длины (bL) определяются капиталовложения в тепловую сеть

$$K_{\text{тс}} = a(bL) + bM, \quad \text{руб.}, \quad (17.4)$$

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{тс}} / (bL), \quad \text{руб./м}, \quad (17.5)$$

где $K_{\text{тс}}$ - капиталовложения в теплосеть, руб;

$K_{\text{уд}}$ - удельные капиталовложения в теплосеть, руб./м;

a, b - стоимостные коэффициенты теплосети.

На основании значений условной материальной характеристики сети (MYS) и длины сети (bL) определяются годовая потеря теплоты в окружающую

среду $Q_{\text{тп}}$, стоимость потерянной в окружающую среду теплоты $S_{\text{тп}}$, удельная стоимость годовых теплопотерь

$$S_{\text{тп}} = Z_{\text{т}} Q_{\text{тп}}, \text{ руб./год}, \quad (17.6)$$

$$S_{\text{уд}} = S_{\text{тп}} / (bL), \text{ руб./}(год \cdot м), \quad (17.7)$$

где $Q_{\text{тп}}$ - годовая потеря теплоты в окружающую среду Гкал (ГДж);

$S_{\text{тп}}$ - стоимость потерянной в окружающую среду теплоты, руб./год;

$S_{\text{уд}}$ - удельная стоимость годовых теплопотерь, руб./}(год \cdot м);

$Z_{\text{т}}$ - стоимость тепловой энергии, руб./ГДж.

На основании результатов расчета величины напоров насосов и расходов воды определяется годовой расход электроэнергии на привод сетевых, подпиточных насосов установленных на насосной станции:

$$\mathcal{E} = 100 \cdot [G_{\text{пр}} \cdot H_{\text{сн}} + 1,28 \cdot G_{\text{подп}} \cdot H_{\text{стат}} + G_{\text{с}} \cdot H_{\text{нс}}], \text{ кВт ч/год}, \quad (17.8)$$

где $G_{\text{пр}}, G_{\text{подп}}, G_{\text{с}}$ - расходы воды в коллекторе станции, подпиточной воды в теплосети, на участке расположения насосной станции, кг/с;

$H_{\text{пр}}, H_{\text{стат}}, H_{\text{нс}}$ - напоры сетевых, подпиточных насосов и станции, м в.ст .

Удельный расход электрической энергии на привод насосов

$$E_{\text{пр}} = \frac{\mathcal{E} \cdot 10^3}{G_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{в}}^{\text{п}} - t_{\text{о}}^{\text{п}})^{0,3}}, \text{ кВт ч/ГДж}, \quad (17.9)$$

где $t_{\text{в}}^{\text{п}}$ - температура воздуха внутри помещений, °С;

$t_{\text{о}}^{\text{п}}$ - расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, °С;

На основании значений условной материальной характеристики теплосети (MYS) и расхода воды на выходе из котельной ($G_{\text{пр}}$) определяется среднегодовое значение коэффициента полезного действия теплосети

$$\eta_{\text{тс}} = \left[1 - 0,1 \alpha_{\text{ут}} (t_{\text{в}}^{\text{п}} - t_{\text{о}}^{\text{п}})^{0,3} \right] \left[\frac{1 - 0,01(MYS)}{G_{\text{пр}} (t_{\text{в}}^{\text{п}} - t_{\text{о}}^{\text{п}})^{0,3}} \right] 10^2, \text{ \%}, \quad (17.10)$$

где $\alpha_{\text{ут}}$ - утечка воды из теплосети; принимается по величине расчетной мощности теплопотребления $\alpha_{\text{ут}} = 0,05$ (кг/с)/МВт.