

ТЕМА 7

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

7.1 Основы гидравлического режима

Гидравлическим режимом определяется взаимосвязь между расходом теплоносителя и давлением в различных точках системы в данный момент времени.

Расчетный гидравлический режим характеризуется распределением теплоносителя в соответствии с расчетной тепловой нагрузкой абонентов. Давление в узловых точках сети и на абонентских вводах равно расчетному. Наглядное представление об этом режиме дает пьезометрический график, построенный по данным гидравлического расчета.

Однако в процессе эксплуатации расход воды в системе изменяется. Переменный расход вызывается неравномерностью водопотребления на горячее водоснабжение, наличием местного количественного регулирования разнородной нагрузки, а также различными переключениями в сети. Изменение расхода воды и связанное с ним изменение давления приводят к нарушению как гидравлического, так и теплового режима абонентов. Расчет гидравлического режима дает возможность определить перераспределение расходов и давлений в сети и установить пределы допустимого изменения нагрузки, обеспечивающие безаварийную эксплуатацию системы.

Гидравлические режимы разрабатываются для отопительного и летнего периодов времени. В открытых системах теплоснабжения дополнительно рассчитывается гидравлический режим при максимальном водоразборе из обратного и подающего трубопроводов.

Расчет гидравлического режима базируется на основных уравнениях гидродинамики. В тепловых сетях, как правило, имеет место квадратичная зависимость падения давления ΔP (Па) от расхода:

$$\Delta P = SV^2, \quad (7.1)$$

где S – характеристика сопротивления, представляющая собой падение давления при единице расхода теплоносителя, Па/(м³/ч)²; V – расход теплоносителя, м³/ч.

Значение характеристики сопротивления находится из совместного решения уравнений (7.1), (6.8), (6.9):

$$S = \frac{\Delta P}{V^2} = \frac{R_s(l+l_2)}{V^2} = A_s \frac{(l+l_2)}{d^{5.25}} R; \quad (7.2)$$

$$A_s = 0,0894 \frac{k_s^{0,25}}{z^{2,25}}, \quad (7.3)$$

где $z = 3600$ с; A_s – постоянный коэффициент, зависящий от шероховатости стенок трубопроводов:

Эквивалентная шероховатость стенки трубы k_s , м	0,0002	0,0005	0,001
$A_s \cdot m^{0,25} \cdot u^2 / c^2$	$8,15 \cdot 10^{-10}$	$10,3 \cdot 10^{-10}$	$12,15 \cdot 10^{-10}$

Как следует из уравнений (7.2) и (7.3), характеристика сопротивления зависит от геометрических размеров сети, шероховатости стенок трубопроводов и плотности теплоносителя. При известных расходах и соответствующим им потерям давления характеристика сопротивления находится из уравнения (7.1).

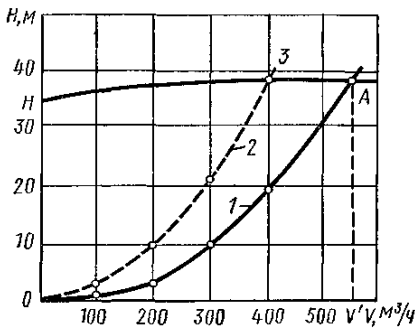


Рис. 7.1. Характеристика тепловой сети и насоса:

1 — расчетная характеристика; 2 — характеристика сети после отключения абонента; 3 — характеристика насоса

При разработке гидравлического режима часто используют линейную единицу давления, называемую напором.

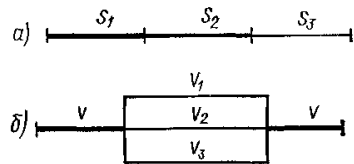


Рис. 7.2. Последовательное (а) и параллельное (б) соединения участков

Графическое изображение потерь напора от расхода является характеристикой сети. Характеристика тепловой сети представляет собой квадратичную параболу, проходящую через начало координат (рис. 7.1). Пересечение характеристики сети с характеристикой насоса (точка *A*) определяет режим работы насоса на данную сеть.

В процессе эксплуатации характеристика сопротивления сети изменяется в связи с присоединением новых абонентов, отключением части нагрузки, при изменении шероховатости стенок трубопроводов.

Определим характеристику сопротивления разветвленной сети, состоящей из ряда последовательно и параллельно соединенных участков. Общие потери давления ΔP в сети, состоящей из последовательно соединенных участков с неизменным расходом V (рис. 7.2,а), складываются из потерь давления на каждом участке

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3, \quad (7.4)$$

где $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$ – потери давления на отдельных участках сети

Выразив потери давления через расход и характеристики сопротивления по формуле (7.1), получим

$$S V^2 = S_1 V^2 + S_2 V^2 + S_3 V^2, \quad (7.5)$$

где S – характеристика сопротивления сети; S_1, S_2, S_3 – характеристики сопротивления ее составных участков.

Отсюда следует

$$S = S_1 + S_2 + S_3. \quad (7.6)$$

Следовательно, суммарная характеристика сопротивления последовательно соединенных участков сети равна сумме характеристик сопротивления этих участков.

При параллельном соединении (рис.7.2,б) общий расход в сети равен сумме расходов на ответвлениях

$$V = V_1 + V_2 + V_3. \quad (7.7)$$

Расход воды согласно выражению (7.1) может быть представлен в виде

$$V = \sqrt{\frac{\Delta P}{S}}; \quad V_1 = \sqrt{\frac{\Delta P_1}{S_1}}; \quad V_2 = \sqrt{\frac{\Delta P_2}{S_2}}; \quad V_3 = \sqrt{\frac{\Delta P_3}{S_3}}; \quad (7.8)$$

Ввиду равенства потерь давления в параллельно соединенных участках сети ($\Delta P = \Delta P_1 = \Delta P_2 = \Delta P_3$) выражение (7.7) примет вид

$$\sqrt{\frac{1}{S}} = \sqrt{\frac{1}{S_1}} + \sqrt{\frac{1}{S_2}} + \sqrt{\frac{1}{S_3}}; \quad (7.9)$$

Величина $1/\sqrt{S}$ представляет собой гидравлический показатель, называемый проводимостью, равный расходу воды при перепаде давления в 1 Па:

$$a = \frac{1}{\sqrt{S}} = \frac{V}{\sqrt{\Delta P}}. \quad (7.10)$$

С учетом зависимости (7.10) получим

$$a = a_1 + a_2 + a_3, \quad (7.11)$$

где a – проводимость сети; a_1, a_2, a_3 – проводимости отдельных ее участков, $\text{м}^3/\text{ч} \cdot \text{Па}^{0,5}$.

Таким образом, суммарная проводимость параллельно соединенных участков равна сумме проводимостей этих участков.

На основе равенств (7.6) и (7.11) определяется характеристика сопротивления разветвленной сети по известным проводимостям или характеристикам сопротивления отдельных ее участков. С помощью полученных зависимостей производится расчет гидравлического режима системы.

7.2 Расчет гидравлического режима

В автоматизированной системе с регуляторами РР для отопления и регуляторами температуры РТ для горячего водоснабжения расход воды у абонентов определяется только величиной их тепловой нагрузки. Постоянство заданного расхода на отопительном вводе поддерживается настрой-

кой регулятора: при уменьшении располагаемого давления на вводе увеличивается степень открытия клапана регулятора.

Расчет гидравлического режима такой системы сводится к определению потерь давления при известных расходах воды.

В случае отсутствия на вводах авторегуляторов изменение расходов и давления в сети вызывает перераспределение расходов в магистральных трубопроводах и на абонентских вводах. Расчет гидравлического режима дает возможность определить расходы воды и соответствующие им потери давления при изменившихся условиях работы системы.

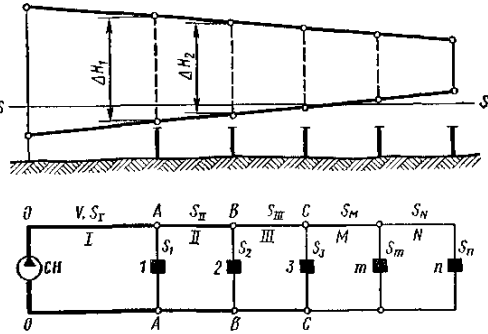


Рис. 7.3. Схема тепловой сети и пьезометрический график: *CH* – сетевой насос

Исходными данными служат: схема сети, расчетный пьезометрический график и давление на коллекторах ТЭЦ. Рассмотрим схему тепловой сети, имеющей n абонентов (рис. 7.3). Характеристики сопротивления магистральных участков обозначим соответственно $S_I, S_{II}, S_{III}, \dots, S_N$, а характеристики сопротивления абонентов с учетом ответвлений – $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$. Суммарный расход воды в сети равен V , расход воды на абонентских вводах – V_i (с индексом, соответствующим его номеру).

Начиная с первого абонента, запишем условия равенства потерь давления в параллельных участках сегмента AS_1A и AS_nA :

$$\Delta P_1 = S_1 V_1^2 = S_{1-n} V^2, \quad (7.12)$$

где S_{1-n} – характеристика сопротивления сети от абонента 1 до n -го включительно со всеми ответвлениями, определяемая по формулам (7.6) и (7.11).

Из уравнения (7.12) найдем относительный расход воды у абонента 1:

$$V_1 = \frac{V_1}{V} = \sqrt{\frac{S_{1-n}}{S_1}}. \quad (7.13)$$

Для абонентского ввода 2 можно записать:

$$\Delta P_2 = S_2 V_2 = S_{2-n} (V - V_1)^2, \quad (7.14)$$

где S_{2-n} – суммарная характеристика сопротивления сети от абонента 2 до n-го включительно со всеми ответвлениями.

Но, с другой стороны, перепад давлений в узле А равен:

$$\Delta P_1 = (S_{II} + S_{2-n})(V - V_1)^2 = S_{II-n} \cdot V^2. \quad (7.15)$$

Из совместного решения уравнений (7.14) и (7.15) найдем относительный расход воды у второго абонента

$$\bar{V}_2 = \frac{V_2}{V} = \sqrt{\frac{S_{1-n} \cdot S_{2-n}}{S_2 \cdot S_{II-n}}}, \quad (7.16)$$

где $S_{II-n} = S_{II} + S_{2-n}$.

По аналогии для любого m-го абонента системы, состоящей из n потребителей, получим:

$$\bar{V}_m = \frac{V_m}{V} = \sqrt{\frac{S_{1-n} \cdot S_{2-n} \cdot S_{3-n} \cdot S_{m-n}}{S_m \cdot S_{II-n} \cdot S_{III-n} \cdot S_{M-n}}}. \quad (7.17)$$

Таким образом, если известны суммарный расход воды и характеристики сопротивления отдельных участков сети, то можно найти расход воды через любую абонентскую установку.

7.3 Гидравлическая устойчивость систем теплоснабжения

Под гидравлической устойчивостью понимают способность системы сохранять постоянный расход теплоносителя на абонентских вводах при изменении условий работы других потребителей. Гидравлическая устойчивость количественно оценивается коэффициентом гидравлической устойчивости

$$Y = V'/V^{\text{макс}}, \quad (7.18)$$

где V' , $V^{\text{макс}}$ – соответственно расчетный и максимально возможный расход сетевой воды на абонентском вводе. Коэффициент гидравлической устойчивости $Y=1$ может быть в принципе достигнут установкой на вводах регуляторов расхода, автоматически обеспечивающих постоянство расхода воды в абонентских системах. В реальных условиях эксплуатации $Y \neq 1$.

В неавтоматизированной системе любые переключения в сети изменяют расходы воды у абонентов. Так, например, при отключении части нагрузки расход воды в тепловой сети уменьшается, что приводит к снижению потерь давления в сети и к росту располагаемых давлений на вводах. Расход воды у оставшихся абонентов возрастает. Отклонение фактического расхода от расчетной величины вызывает гидравлическую разрегулировку абонентских систем. Максимальная разрегулировка абонентской системы произойдет в том случае, когда останется включенным только один потребитель. Падение давления в сети при этом будет настолько незначительным, что, пренебрегая им, можно принять располагаемый перепад давлений на вводе равным расчетному давлению сетевого насоса. Тогда, заменив в равенстве (7.18) отношение расходов воды отношением потерь давления, получим

$$Y = \frac{V'}{V^{\text{макс}}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{аб}}{P_n}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{аб}}{\Delta P_{аб} + \Delta P_c}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\Delta P_c}{\Delta P_{аб}}}}; \quad (7.19)$$

где $\Delta P_{аб}$ – располагаемое давление на вводе при расчетном расходе воды; ΔP_c – потери давления в сети при расчетном режиме; $P_n = \Delta P_{аб} - \Delta P_c$ – давление сетевого насоса.

Из выражения (7.19) следует, что гидравлическая устойчивость системы повышается с уменьшением потерь давления в магистральных сетях и с увеличением гидравлического сопротивления абонентских установок. С этой целью целесообразно уменьшение диаметров вводов, установка на вводах дроссельных шайб. Задвижки на магистральных трубопроводах должны быть полностью открыты.

Некоторые случаи разрегулировки сети приведены на рис. 7 4.

При частичном прикрытии запорной арматуры на вводе в здание или полном отключении абонента характеристика сопротивления сети увеличивается, что приводит к снижению общего расхода воды в системе. Потери давления на участке от источника теплоснабжения до отключенного абонента Z

уменьшаются, в результате чего возрастают давления на вводах (рис. 7.4, а). Расход воды у всех оставшихся абонентов возрастает. Такая разрегулировка, когда знак изменения расходов у всех абонентов одинаков, называется соответственной. Для количественной оценки разрегулировки сопоставим расходы воды у абонентов. Отношение расходов у абонентов 4 и 6 из уравнения (7.17) составляет:

$$\frac{V_4}{V_6} = \sqrt{\frac{S_6 \cdot S_{V-6}}{S_4 \cdot S_{5-6}}}. \quad (7.20)$$

Как следует из выражения (7.20), отношение расходов воды зависит только от характеристики сопротивления сети на участках от абонента 4 до конечной точки сети. Поэтому при изменении характеристики сопротивления на каком-либо участке сети у всех абонентов, расположенных между этим участком и концевой точкой сети, степень изменения расхода одинакова. Такая разрегулировка называется пропорциональной. Она имеет место у абонентов 4, 5, 6. У абонентов, расположенных между источником теплоснабжения и местом изменения сопротивления, происходит непропорциональная разрегулировка, причем чем ближе абонент расположен к источнику теплоснабжения, тем меньше изменение перепада давлений и, следовательно, расхода. Ближайшие к ТЭЦ абоненты обладают, как правило, большей гидравлической устойчивостью.

Если частично прикрыть задвижку на магистральном трубопроводе, то общий расход воды в системе сократится. Однако изменение расходов воды у абонентов будет неодинаковым. Так, частичное прикрытие задвижки на обратной магистрали (рис 7.5, в) сокращает расход сетевой воды и потери давления в сети. Располагаемые давления на вводах абонентов, расположенных между источником теплоснабжения и задвижкой, увеличиваются. Поэтому расходы воды у абонентов 1 и 2 возрастают.

Повышение давления в обратной магистрали перед задвижкой приводит к уменьшению располагаемых давлений у абонентов, находящихся перед задвижкой. Расходы воды в абонентских системах 3 – 6 уменьшаются. В системе происходит несоответственная разрегулировка, при которой знак изменения расходов у абонентов неодинаков.

7.4 Регулирование давления в тепловых сетях

Для обеспечения надежной работы тепловой сети и абонентских установок необходимо ограничить изменение давления в системе допустимыми пределами

При этом особое значение имеет режим подпитки и изменение давления в обратной магистрали.

Повышение давления в обратном трубопроводе может вызвать недопустимый рост давлений в отопительных системах, присоединенных по зависимым схемам. Падение давления приводит к опорожнению верхних точек местных систем и к нарушению циркуляции в них.

Для ограничения колебаний давления в системе в одной, а при сложном рельефе местности в нескольких точках сети изменяют давление в зависимости от режима работы системы. Такие точки называются **точками регулируемого давления**. В тех случаях, когда по условиям работы системы давление в этих точках поддерживается постоянным как при статическом, так и при динамическом режимах, они называются **нейтральными**. Постоянное давление в нейтральной точке поддерживается автоматически подпиточным устройством.

В небольших по протяженности сетях, когда статическое давление может быть равно давлению у всасывающего патрубка сетевого насоса, нейтральная точка O устанавливается у всасывающего патрубка сетевого насоса (рис. 7.4). Давление подпиточного насоса, выбранное из условия заполнения системы водой, сохраняется неизменным и при динамическом режиме, что обеспечивает наиболее простую схему подпиточного устройства.

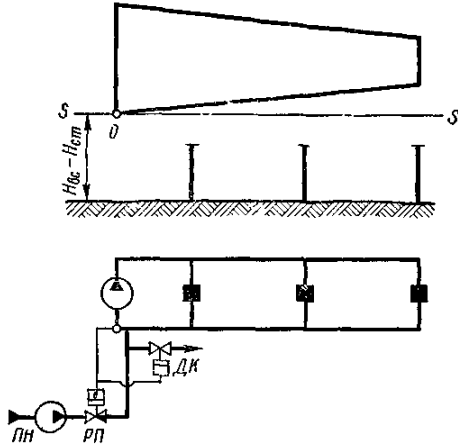


Рис.7.4. Пьезометрический график и схема подпитки сети с нейтральной точкой у всасывающего патрубка сетевого насоса:

РП – регулятор подпитки; *ДК* – дренажный клапан

В разветвленных тепловых сетях (рис. 7.5) закрепление нейтральной точки на одной из магистралей не обеспечивает необходимой устойчивости гидравлического режима. Допустим, что нейтральная точка O закреплена на обратной магистрали района II (график 1). При сокращении расхода воды в сетях этого района потери давления в трубопроводах уменьшаются, что при постоянном давлении в точке O приводит к росту давления у всасывающего патрубка сетевого насоса и к соответствующему повышению давления в магистралях района I (график 2). При прекращении циркуляции в сети района II давление во всасывающем патрубке сетевого насоса повысится до статического. Это приведет к дальнейшему росту давления во всех точках системы района I (график 3) и может быть причиной аварий в абонентских системах.

Поэтому нейтральную точку не следует размещать ни на одной из работающих магистралей. Закрепление нейтральной точки должно быть сделано на специально выполненной перемычке у сетевого насоса.

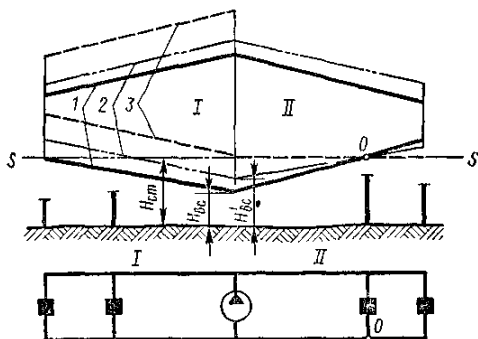


Рис. 7.5 Пьезометрические графики разветвленной сети с нейтральной точкой на одной из магистралей