

## РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ РАЗРЕГУЛИРОВКИ В ВОДЯНЫХ ТЕПЛОСЕТЯХ

В. Т. ЮРИНСКИЙ

Под горизонтальной разрегулировкой водяной тепловой сети следует понимать изменения в потскораспределении по сравнению с нормальным, проявляющиеся как результат переключений в сети, отключений отдельных абонентов, включения новых абонентов, перехода на аварийные схемы питания и т. д. При этом на всех участках сети, оставшихся включенными, предполагается сохранение картины напорного движения, т. е. любой участок может рассматриваться как заполненный водою трубопровод.

Задачу расчета горизонтальной разрегулировки сети приходится решать довольно часто в практике проектирования и эксплуатации. В данной работе рассматривается решение ее применительно лишь к радиальным сетям с одним источником создания действующего напора. Излагаемый метод может быть распространен и на кольцевые сети при возможности разложения кольцевой сети на несколько радиальных.

Основой метода являются новые представления о видах горизонтальной разрегулировки и понятия о приведенном сопротивлении разветвленной сети и ее частей.

### Приведенное сопротивление сети

Пусть имеется разветвленная радиальная теплосеть (рис. 1). Для любого из участков этой теплосети можно написать

$$\Delta H_i = s_i G_i^2, \quad (1)$$

где  $\Delta H_i$ —падение напора на участке . . . . . м в. с.,  
 $G_i$ —расход воды на участке . . . . . т/час.,  
 $s_i$ —сопротивление участка . . . . . мч<sup>2</sup>/т<sup>2</sup>.

Расход воды на любом из участков может быть выражен как доля расхода на головном участке, т. е. для каждого из участков можно написать соотношение

$$G_i = x_i G_0. \quad (2)$$

Здесь  $G_0$ —расход воды на головном участке,  
 $x_i$ —долевой коэффициент данного участка.

Из уравнений (1), (2) получим:

$$\Delta H_i = s_i x_i^2 G_0^2. \quad (3)$$

Полное падение напора по любому из контуров циркуляции теплоносителя равно напору  $H_n$ , создаваемому сетевым насосом. Следовательно,

$$\left. \begin{aligned} H_n &= \Delta H_0 + \Delta H_1 + \dots + \Delta H_s \\ &\dots \dots \dots \\ H_n &= \Delta H_0 + \Delta H_{10} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

После подстановки из (3)

$$\left. \begin{aligned} H_n &= s_0 \left( 1 + \frac{s_1}{s_0} x_{11}^2 + \dots + \frac{s_8}{s_0} x_{88}^2 \right) G_0^2 \\ &\dots \dots \dots \\ H_n &= s_0 \left( 1 + \frac{s_{10}}{s_0} x_{10}^2 \right) G_0^2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Величину

$$k_0 = \left( 1 + \frac{s_1}{s_0} x_{11}^2 + \dots + \frac{s_8}{s_0} x_{88}^2 \right) = \dots = 1 + \frac{s_{10}}{s_0} x_{10}^2 \quad (6)$$

назовем коэффициентом приведения.

Тогда для разветвленной сети вместо группы уравнений (5) можно написать

$$H_n = k_0 s_0 G_0^2 = s G_0^2. \quad (7)$$

В этом уравнении  $s = k_0 s_0$  представляет собою сопротивление разветвленной сети, приведенное к головному участку ее. Как видим, сложная разветвленная сеть может быть заменена простой, имеющей единственный участок. Расход воды в этой простой сети равен расходу на головном участке разветвленной сети; сопротивление простой сети равно сопротивлению  $s_0$  головного участка разветвленной сети, умноженному на коэффициент приведения  $k_0$ .

Выражение (7) представляет собою уравнение параболы, проходящей через начало координат  $H, G_0$ . При заданных значениях  $s_0, s_1, \dots$  коэффициент приведения и приведенное сопротивление сети имеют вполне определенные значения.

Коэффициент приведения зависит от гидравлических характеристик участков и от долевого потокораспределения в сети, т. е. определяется схемой сети в данный момент. Всякого рода переключения в сети воздействуют через изменение коэффициента приведения на величину  $s$  приведенного сопротивления сети, что в координатах  $H, G_0$  выражается более крутым или более пологим расположением приведенной характеристики простой сети, заменяющей разветвленную. Найдя значение  $s$ , можно построить параболу сопротивления; точка пересечения этой кривой с характеристикой сетевого насоса позволит определить полное падение напора в сети и расход воды на головном участке.

Нетрудно видеть, что для коэффициента приведения можно написать и иное выражение

$$k_0 = \left( 1 + \frac{\Delta H_1}{\Delta H_0} + \dots + \frac{\Delta H_8}{\Delta H_0} \right) = \dots = 1 + \frac{\Delta H_{10}}{\Delta H_0}.$$

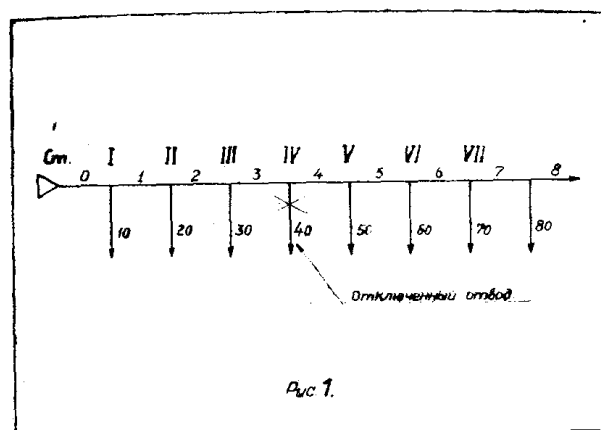
Последняя форма уравнения для определения  $k_0$  иногда оказывается более удобной.

В ряде случаев может потребоваться замена некоторой разветвленной части сети простой сетью. Например, применительно к рис. 1, можно заменить всю часть сети, расположенную вправо от узла IV, простой сетью, состоящую из единственного участка. Мы можем говорить о частном приведенном сопротивлении, частных коэффициентах приведения, частных долевого коэффициентах. Для части сети, расположенной вправо от узла IV (рис. 1), можно написать

$$\begin{aligned} H_{IV} &= s_4 \left( 1 + \frac{s_5}{s_4} y_{55}^2 + \dots + \frac{s_8}{s_4} y_{88}^2 \right) G_4^2 = \\ &= \dots = s_4 \left( 1 + \frac{s_{50}}{s_4} y_{50}^2 \right) G_4^2 = k_4 s_4 G_4^2. \end{aligned}$$

Здесь  $k_1$ —частный коэффициент приведения,

$$\left. \begin{aligned} y_5 &= \frac{G_5}{G_1}, \\ y_8 &= \frac{G_8}{G_1} \end{aligned} \right\} \text{частные долевые коэффициенты.}$$



Понятия о частных коэффициентах приведения и о частных долевых коэффициентах необходимы для расчета горизонтальной разрегулировки в сильно разветвленных сетях.

### Виды горизонтальной разрегулировки

Пусть в результате каких-либо переключений в сети расходы воды на всех без исключения участках изменились и притом так, что на конечных участках отклонения произошли в одну и ту же сторону (например, в сторону увеличения). Разрегулировку такого рода можно назвать согласованной. Если при переключениях расходы на некоторых конечных участках, отклоняясь от нормальных значений, растут, в то время как расходы на других конечных участках, наоборот, уменьшаются, то сеть находится в состоянии несогласованной разрегулировки. Типичным примером проявления согласованной разрегулировки в сети является поведение разветвленной сети при полном отключении одного или нескольких абонентов. В этом случае расходы воды на всех конечных участках, оставшихся включенными, изменяются в сторону их увеличения по абсолютным величинам. Состояние несогласованной разрегулировки будет наблюдаться в сети при частичном дросселировании подвода воды некоторым абонентам. В системах дросселируемых абонентов расходы воды будут сокращаться, в остальных системах расходы воды будут возрастать.

В данной работе рассматривается расчет согласованной разрегулировки, так как именно этот вид разрегулировки и имеется обычно в виду при необходимости расчетов по пусковому регулированию, при определении „крайних“ положений пьезометрических линий, при расчетах по аварийным режимам и т. д. Несогласованная разрегулировка может быть рассчитана тем же методом, но при условии дополнительных данных об изменении сопротивлений дросселируемых участков.

При согласованной разрегулировке сети могут существовать две разновидности ее: пропорциональная и непропорциональная.

При пропорциональной разрегулировке для любой пары совершенно произвольно взятых участков сохраняется неизменное соотношение расходов воды на этих участках. Если до внесения возмущающего воздействия в работу сети расходы на участках были  $G_0, G_1, G_2, \dots$ , а после внесения возмущающего воздействия стали  $G'_0, G'_1, G'_2, \dots$ , то

$$\frac{G'_1}{G'_2} = \frac{G_1}{G_2}; \quad \frac{G'_0}{G'_2} = \frac{G_0}{G_2} \text{ и т. д.}$$

Следовательно, при пропорциональной разрегулировке происходит изменение расходов  $G_i$  по абсолютной величине, но сохраняются значения долевых коэффициентов  $x_i$ . При непропорциональной же разрегулировке происходит не только отклонение значений  $G_i$  от расчетных, но одновременно меняются и долевые коэффициенты  $x_i$ .

Пропорциональная разрегулировка в сети возникает в том случае, если изменяется лишь напор в станционном узле при отсутствии переключений в сети. В этом случае долевое потокораспределение в сети не меняется. Поэтому, зная долевые коэффициенты для нормального значения напора сетевого насоса, можно ограничиться отысканием лишь нового значения  $G'_0$  расхода воды на головном участке для определения расходов воды на всех остальных участках разветвленной сети. Коэффициент приведения  $k_0$  в данном случае не меняется, что приводит, как нетрудно видеть, к общеизвестной простейшей зависимости

$$\frac{H'_n}{H_n} = \left( \frac{G'_0}{G_0} \right)^2 = A^2,$$

где  $A$ —коэффициент расхода воды в сети.

Состояние пропорциональной разрегулировки в сети может возникнуть и в том случае, если одновременно производится изменение сопротивлений на всех участках, причем в такой мере, что долевые коэффициенты не изменяются. Если отключаются только некоторые абоненты или группы абонентов, то сеть приходит в состояние непропорциональной разрегулировки, характеризуемой изменением долевых коэффициентов  $x_i$ . Однако и при этом можно найти в сети зоны частной пропорциональной разрегулировки. В этих зонах будут сохраняться значения частных долевых коэффициентов  $y$ , выражающих расход на данном участке в долях от расхода на каком-либо из участков рассматриваемой зоны сети. Поэтому для зоны частной пропорциональной разрегулировки достаточно найти расход воды на головном ее участке. После этого не составит труда найти расходы и на всех остальных участках этой зоны сети.

### Расчет горизонтальной разрегулировки

Покажем на конкретных примерах методику расчета, базирующуюся на сформулированных выше представлениях.

**Пример 1.** Дана сеть, изображенная в виде расчетной схемы на рис. 1. Для расчетной схемы сети, предполагающей, что включены все ветви, т. е. для нормального потокораспределения в сети, известны:

Расходы на всех участках  $G_0, G_1, G_2, \dots$ ,  
 долевые коэффициенты  $x_0 = 1, x_1, x_2, \dots$ ,  
 располагаемые напоры в узлах  $H_{cm}, H_I, H_{II}, \dots$ ,  
 потери напора на участках  $\Delta H_0, \Delta H_1, \Delta H_2, \dots$ ,  
 сопротивления участков  $s_0, s_1, s_2, \dots$ .

Требуется найти потокораспределение в сети при отключении отвода 40.

После отключения отвода 40 изменятся как абсолютные значения расходов, так и долевые коэффициенты на всех участках. Лишь на головном участке долевого коэффициент сохранит свое значение  $x_0' = x_0 = 1$ .

В зоне сети, вправо от узла IV, будет иметь место частная пропорциональная разрегулировка. Вся сеть будет разрегулирована согласованно, непропорционально. Напоры во всех узлах, в том числе и в узле IV, изменятся.

Сделаем заведомо неверное предположение о том, что после отключения отвода 40 напор в узле IV останется неизменным

$$H'_{IV} = H_{IV}.$$

При таком предположении расходы на всех участках в зоне сети, расположенной вправо от узла IV, сохранятся неизменными не только по частному долевному распределению, но и по абсолютным величинам. Поэтому, не рассматривая эту часть сети, мы можем констатировать, что на головном участке 4 расход воды после отключения отвода 40  $G_4' = G_4$ . Величина  $G_4$  известна для нормального потокораспределения.

Для участка 3 (рис. 1)

$$G_3' = G_4' = G_4,$$

$$\Delta H_3' = s_3 G_3'^2$$

$$\text{Далее } H'_{III} = H'_{IV} + \Delta H_3' = H_{IV} + \Delta H_3',$$

$$G'_{30} = \sqrt{\frac{H'_{III}}{s_{30}}},$$

$$G_2' = G'_{30} + G_3',$$

$$\Delta H_2' = s_2 G_2'^2,$$

$$H'_{II} = H'_{III} + \Delta H_2',$$

$$G'_{20} = \sqrt{\frac{H'_{II}}{s_{20}}},$$

далее аналогично определяем

$$G_1', \Delta H_1', H_1', G'_{10}, G_0', \Delta H_0' \text{ и } H'_{ст}.$$

Таким образом, решая последовательно самые несложные уравнения, определяем  $H'_{ст}$ , т. е. напор в станционном узле при условии, что в узле IV сохранен тот же напор  $H'_{IV} = H_{IV}$ , что и до выключения отвода 40. Одновременно будут определены абсолютные расходы  $G_0', G_1', G_2'$  на всех участках.

Зная расходы на всех участках, найдем долевые коэффициенты всех участков для схемы сети с отключенным отводом 40.

$$x_1' = \frac{G_1'}{G_0'},$$

$$x_2' = \frac{G_2'}{G_0'},$$

...

Заведомо ложное предположение о том, что в узле IV после отключения отвода 40 сохранится напор  $H'_{IV} = H_{IV}$ , дало возможность найти долевое потокораспределение в сети и абсолютные расходы на участках, причем в станционном узле для обеспечения этих величин абсолютных расходов должен существовать напор  $H'_{ст}$ . Фактически в станционном узле

будем иметь напор  $H_{см}^{уст}$ . Вследствие этого в узле IV располагаемый напор будет  $H_{IV}^{уст} \neq H_{IV}$ . Соответственно изменятся напоры во всех остальных узлах, и расходы на участках будут  $G_0^{уст}, G_1^{уст}, G_2^{уст}, \dots$ . Но долевое потокораспределение в сети не изменится при изменении напора в станционном узле с  $H'_{см}$  до  $H_{см}^{уст}$ , так как в сети с выключенным отводом 40 это единственное воздействие будет вызывать пропорциональную разрегулировку. Следовательно, приведенное сопротивление  $s'$  сети не будет меняться. Определим величину  $s'$

$$s' = s_0 \left( 1 + \frac{s_{10}}{s_0} x'_{10}{}^2 \right).$$

Пусть в станционном узле задана величина  $H_{см,з}^{уст}$ . Тогда истинный расход воды на головном участке

$$G_0^{уст} = \sqrt{\frac{H_{см}^{уст}}{s'}}.$$

Зная расход на головном участке, сейчас же найдем расходы на всех остальных участках

$$G_1^{уст} = x'_1 G_0^{уст},$$

$$G_2^{уст} = x_2 G_0^{уст},$$

.....

После этого не составит труда по системе уравнений

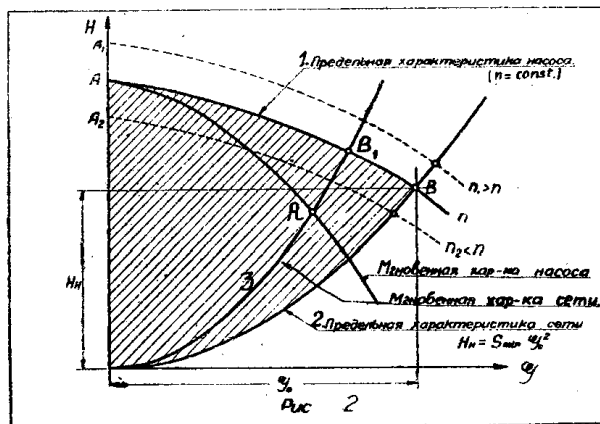
$$\Delta H_0^{уст} = s_0 (G_0^{уст})^2,$$

$$\Delta H_1^{уст} = s_1 (G_1^{уст})^2,$$

.....

найти потери напора на всех участках и располагаемые напоры в узлах, т. е. все данные, необходимые для построения пьезометрических линий.

Обычно при всех существующих методах расчета приходится делать предположение о сохранении в станционном узле неизменного напора.



Рассмотренный выше метод расчета позволяет обойтись без этого предположения. Задача может быть решена и в том случае, если не производится никакого регулирования сетевого насоса. Для этого приходится прибегнуть к общеизвестному графическому построению. На рис. 2 нанесена характеристика  $G-H$  насоса (кривая 1). При нормальной схеме сети (все отводы включены) рабочей точкой является точка В, принадлежащая од-

новременно кривой 2 (приведенная характеристика сети при расчетном режиме) и характеристике насоса 1. Кривая 2 построена по уравнению

$$H = sG_0^2 = s_0 \left( 1 + \frac{s_{10}}{s_0} x_{10}^{12} \right) G_0^2.$$

При выключении отвода 40 приведенной характеристикой сети будет кривая 3. Эту кривую легко построить по уравнению

$$H = s'G_0^2 = s_0 \left( 1 + \frac{s_{10}}{s_0} x_{10}^{12} \right) G_0^2.$$

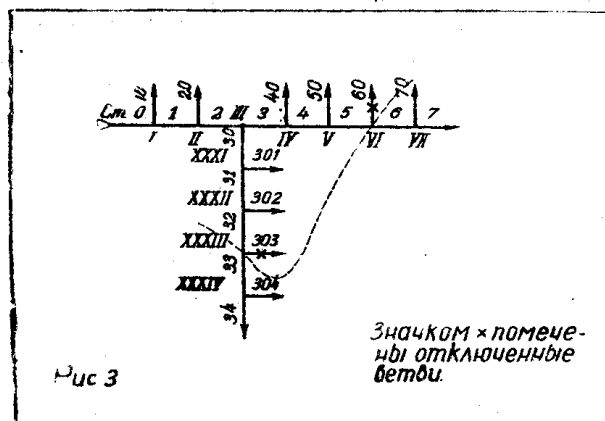
Пересечение этой кривой с характеристикой насоса (точка  $B_1$ ) дает возможность найти величины  $H_{см}^{уст}$ ,  $G_0^{уст}$ .

Пример 2. Дана сеть по рис. 3. Для нормального режима, когда все абоненты включены, известны расходы на всех участках, потери напора на участках, узловые напоры.

Требуется найти потокораспределение в сети при полном отключении абонентов 60, 303.

Поскольку на всех участках заданы нормальные расходы и потери напора, сопротивления участков  $s_0, s_1, s_2, \dots$  являются заданными.

Рассмотрим сеть в целом. После отключения абонентов 60, 303 сеть подвергнется согласованной непропорциональной разрегулировке. Однако



в ней могут быть выделены две зоны: 1) вправо от узла IV; 2) вниз от узла XXXIII, в которых будет иметь место частная пропорциональная разрегулировка. Это обстоятельство и может быть использовано.

Сделаем заведомо ложное предположение, что в узле VI после выключения абонентов 60, 303 напор сохранится неизменным. Тогда в зоне сети, расположенной вправо от узла VI, картина распределения расходов и напоров не изменится. Произведя расчет изложенным выше методом, определим величину напора в узле III, который должен существовать для возможности сохранения в узле VI того же напора  $H'_{VI} = H_{VI}$ , что и при нормальной схеме сети. Этот расчет позволит найти абсолютные расходы  $G'_3, G'_4, G'_{40}, \dots$  на всех участках сети вправо от узла III, а также частные долевые коэффициенты

$$y'_4 = \frac{G'_3}{G'_3} = 1; y'_4 = \frac{G'_4}{G'_3} \text{ и т. д.}$$

Пусть, в результате расчета, напор в узле III определен, как  $H'_{III}$ . Положим теперь, что и в узле XXXIII после выключения абонентов 60, 303 сохранится значение величины напора, отвечающее нормальной схеме сети. Исходя из этого, можно считать неизменной картину распределения расходов и напоров в зоне сети, расположенной вниз от узла XXXIII, и найти то значение напора в узле III —  $H''_{III}$ , которое отвечает сделанному предположению.

В процессе расчета будут найдены абсолютные величины расходов  $G_{30}'', G_{31}'', G_{301}'' \dots$  на всех участках ветви III-34. Можно определить и частные долевые коэффициенты

$$y_{30}'' = 1; y_{31}'' = \frac{G_{31}''}{G_{30}''}; y_{301}'' = \frac{G_{301}''}{G_{30}''} \dots \dots \dots$$

Очевидно:

$$H_{III}' \neq H_{III}''.^1)$$

Этого однако быть не может, поскольку узел III одновременно принадлежит обоим рассмотренным зонам сети. Значит неверно предположение об одновременном сохранении напора в узлах отключения абонентов 60, 303. Если напор в узле VI сохранится неизменным, то изменится напор в узле XXXIII. При этом в узле III будет существовать одинаковый для обеих ветвей напор  $H'_{III}$ . Наоборот, если в узле XXXIII сохранится неизменный напор, то должен измениться напор в узле VI; соответственно, напор в узле III будет  $H''_{III}$ . Следовательно, для какой-то из двух ветвей неправильно найдены абсолютные величины расходов на участках. Но соотношение расходов, т. е. частное долевое потокораспределение для любой из рассмотренных ветвей сети, установлено правильно, ибо изменение напора в узле III вызывает в этих ветвях лишь пропорциональную разрегулировку.

Пусть напор в узле III будет  $H'_{III}$ . Очевидно, при этом расход воды на участке 30 ветви III-34 изменится, величина его будет не  $G_{30}''$ , а  $G_{30}'$ . Для определения  $G_{30}'$  напишем уравнение

$$H'_{III} = s_{30} \left( 1 + \frac{s_{301}}{s_{30}} y_{301}''^2 \right) G_{30}'^2.$$

В написанном уравнении известны  $s_{30}, s_{301}, y_{301}'', H'_{III}$ , почему из него можно найти  $G_{30}'$ .

Далее находим

$$G_{301}' = y_{301}'' \cdot G_{30}',$$

$$G_{31}' = y_{31}'' \cdot G_{30}'$$

.....

Прделанные по отношению к ветви III-34 операции можно назвать приведением к одинаковому напору в общем узле.

Дальнейший ход расчета таков:

Зная  $G_{30}', G_{31}'$ , определяем  $G_{20}'$  и последовательно находим

$$\Delta H_2', H_{II}', G_{20}', \dots \dots \dots G_0', H_{cm}'.$$

После этого определяем значения долевых коэффициентов

$$x_0' = 1; x_1' = \frac{G_1'}{G_0'}; x_2' = \frac{G_2'}{G_0'} \quad \text{и т. д.}$$

<sup>1)</sup> Возможно случайное совпадение.

Эти долевы́е коэффициенты не будут изменяться при изменении напора в станционном узле. Если на станции поддерживается напор  $H_{см}^{уст}$ , то легко найти истинное значение абсолютной величины расхода  $G_0^{уст}$  на головном участке по уравнению

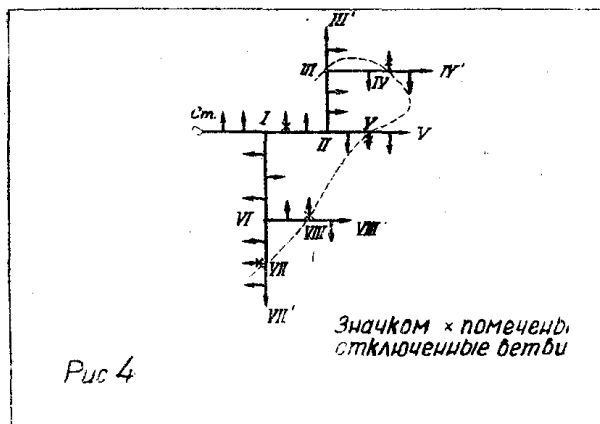
$$H_{см}^{уст} = s_0 k_0' (G_0^{уст})^2,$$

где

$$k_0' = 1 + \frac{s_{10}}{s_0} x_{12_{10}}.$$

Методика расчета не меняется и при расчетах по горизонтальной разрегулировке в сильно разветвленных радиальных сетях. Операции расчета сохраняют свою простоту, но число их возрастает, соответственно сложности рассчитываемой схемы.

Пусть, например, задана сеть по рис. 4. Требуется найти новое потоко-распределение при отключении абонентов, помеченных крестиками. Отделим пунктирной линией зоны частной пропорциональной разрегулировки. Сделаем предположение о неизменности напоров в узлах III, IV,



V, VII, VIII. Последовательными операциями приведем все ветви сети к одинаковому напору в узле I. Определим напор  $H'_{см}$  в станционном узле и абсолютные расходы воды на всех участках. Найдем долевы́е коэффициенты. Определим коэффициент приведения  $k_0'$  и приведенное сопротивление  $s_0'$  сети. По заданной величине  $H_{см}^{уст}$  или графически, на основе характеристики  $G-H$  насоса, определим  $G_0^{уст}$  и затем распределение воды по участкам.

В начальной и промежуточной стадиях расчета могут одновременно принять участие несколько расчетчиков.

### Расширение понятий о характеристике сети и характеристике насоса

Под характеристикой сети обычно понимается кривая вида  $H = sG^2$ . Выше было показано, что применительно к разветвленной сети характеристика сети изображается кривой  $H = k_0 s_0 G_0^2 = sG_0^2$ . В зависимости от характера переключений в сети меняется величина  $s$  приведенного сопротивления сети, т. е. изменяется расположение кривой сопротивлений в координатах  $G_0-H$ . Если на всех ветвях сети полностью открыты задвижки, то величина  $s$  минимальна, и парабола сопротивлений располагается наиболее полого (рис. 2). При прикрывании задвижек на любой из вет-

вей происходит изменение  $s$  как за счет изменения долевого потокораспределения, так и за счет изменения сопротивлений на отдельных участках. Кривая сопротивлений сети меняет параметр и как бы скользит в системе координат  $G_0, H$ . В пределе она может совпасть с осью  $H$ . Но в любой момент существует единственная мгновенная характеристика сети, представляющая собою параболу, положение которой определяется значением  $s'$ . Из этих соображений под характеристикой сети следует понимать не кривую и не пучок кривых, а площадь, расположенную над кривой  $H = s_{min} G_0^2$ . Эта площадь может рассматриваться, как след движения кривой сопротивления сети при перемещении из одного предельного положения (ось ординат) в другое ( $s = s_{min}$ ). Аналогично, имея в виду возможность дросселирования насоса задвижкой, под характеристикой насоса правильнее всего понимать площадь, ограниченную осями координат и предельной характеристикой  $G-H$  насоса. Площадь, отмеченная на рис. 2 штриховкой, представляет собою получаемое путем наложения друг на друга характеристик сети и насоса, возможное поле размещения рабочих точек, характеризующих совместную работу насоса с сетью. Представляя себе каждую точку этой площади, как точку пересечения мгновенной дроссельной кривой насоса с мгновенной приведенной характеристикой сети, мы можем решать задачу отыскания потокораспределения в сети при полных отключениях некоторых абонентов на основании показаний приборов, установленных на станции. Это возможно, конечно, если известны значения  $s_i$  для всех участков.

Пусть, например, расчетная схема сети отвечает рис. 1. Пусть абонент 40 отключен. Пусть (рис. 2) известно, что общий расход воды в сети равен  $G_0^{уст}$ , а располагаемый напор в станционном узле (за задвижкой насоса)  $H_{cm}^{уст}$ . Рабочей точкой является точка  $R$ . Напишем

$$H_{cm}^{уст} = s_0 k_0' (G_0^{уст})^2.$$

Отсюда находим величину  $k_0'$ . Из выражения  $k_0' = 1 + \frac{s_{10}}{s_0} x_{10}'^2$  определим  $x_{10}'$ .

Далее

$$G_{10}' = x_{10}' \cdot G_0^{уст},$$

$$x_1' = 1 - x_{10}',$$

$$k_0' = 1 + \frac{s_1}{s_0} x_1'^2 + \frac{s_{20}}{s_0} x_{20}'^2.$$

Из последнего выражения найдем  $x_{20}'$  и далее  $G_{20}' = x_{20}' \cdot G_0^{уст}$ .

Дальнейший ход расчета пояснений не требует.

Рассмотренная выше методика расчета горизонтальной разрегулировки в сетях может быть применена в ряде случаев теплотехнической практики. Необходимой предпосылкой правильности расчетных построений является отсутствие в сети насосных „подстанций“ с самостоятельным источником энергоснабжения (центробежные, пропеллерные насосы подстанций). При элеваторных смесителях на абонентских вводах изложенный метод расчета сохраняет свою силу.



# ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

| Страница | Строка    | Напечатано                                                             | Должно быть                                                                             |
|----------|-----------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 5        | 3 снизу   | $AEIGA$                                                                | $ABCDEA$                                                                                |
| 11       | 11 снизу  | $\frac{\tau_{im}}{\tau_{ik} \text{ или } \tau_{in}}$                   | $\frac{\tau_{im}}{\tau_{ik} \text{ или } \tau_{in}}$                                    |
| 16       | 15 снизу  | $\frac{1}{\tau_{im}} \cdot \frac{860 \cdot \varphi}{(W_{\kappa}/W) q}$ | $\frac{1}{\tau_{im}} \cdot \frac{860 \varphi}{\left(1 + \frac{W_{\kappa}}{W}\right) q}$ |
| 19       | 10 снизу  | $\frac{C_2 D_{омб}}{860}$                                              | $\frac{C_2 D_{омб}}{860}$                                                               |
| 24       | 1 сверху  | $\mathcal{E}'_m$                                                       | $\mathcal{E}''_m$                                                                       |
| 24       | 4 сверху  | $\left(1 - \frac{\mathcal{E}'_m}{\mathcal{E}}\right)$                  | $\left(1 - \frac{\mathcal{E}''_m}{\mathcal{E}}\right)$                                  |
| 24       | 11 снизу  | $\frac{860 (i'_n - t_{конд})}{\tau_{l''\mathcal{E}} (i_1' - i''_n)}$   | $\frac{860 (i''_n - t_{конд})}{\tau_{l''\mathcal{E}} (i_1' - i''_n)}$                   |
| 42       | 6 сверху  | $Q_p$                                                                  | $Q_p^H$                                                                                 |
| 48       | 5 снизу   | линии                                                                  | линий                                                                                   |
| 150      | 16 сверху | $G_{0ист}$                                                             | $x'_2 G_{0ист}$                                                                         |
| 150      | 20 сверху | $s$                                                                    | $s_1$                                                                                   |
| 151      | 3 сверху  | $x_{10}^{12}$                                                          | $x_{10}^2$                                                                              |
| 151      | 6 сверху  | $x_{10}^{12}$                                                          | $x_{10}'^2$                                                                             |