

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

Е. Н. ШАДРИН, Н. А. ПОПОВ

(Представлена научным семинаром теплоэнергетического факультета)

В связи с большими объемами строительства тепловых сетей важное значение приобретает правильный выбор расчетных параметров тепловых сетей, определяющих издержки производства при транспорте тепла.

Одной из основных величин, определяющих эти издержки, является удельная линейная потеря давления или, что то же самое, соответствующая ей скорость теплоносителя  $\omega$ .

Опубликованная в литературе методика выбора оптимальной удельной потери напора является достаточно сложной и предполагает решение данного вопроса путем последовательного приближения. С другой стороны, нормы проектирования тепловых сетей [3], устанавливая верхний предел удельной линейной потери напора для магистральных теплопроводов в  $80 \text{ н/м}^2 \text{ м}$ , не дают рекомендаций по ее выбору для местных конкретных условий. Поэтому проектные организации, не имея таких рекомендаций, в расчетах принимают средние значения удельной линейной потери напора, обычно в пределах  $30\text{—}50 \text{ н/м}^2 \text{ м}$ , чему соответствует скорость теплоносителя в трубопроводах диаметром  $200\text{—}1000 \text{ мм}$  от  $0,7$  до  $2,4 \text{ м/сек}$ .

Такой произвольный выбор скорости воды может привести или к неоправданным капитало- и металлозатратам в тепловые сети, или к перерасходу средств на перекачку теплоносителя.

Поэтому оптимальную скорость воды  $\omega_{\text{в}}$  необходимо в каждом конкретном случае из условия минимальных расчетных издержек производства на отпуск заданного количества тепла. При этом можно учитывать лишь изменяющиеся в зависимости от  $\omega_{\text{в}}$  составляющие суммарных издержек, отнесенные к  $1 \text{ м}$  прокладки теплопроводов. К этим составляющим относятся расходы на перекачку теплоносителя  $S_{\text{пер}}$ , издержки, связанные с капитальными затратами в прокладку теплопроводов тепловых сетей  $S_{\text{т}}$ , насосную подстанцию  $S_{\text{н}}$  и расходы на тепловые потери  $S_{\text{тп}}$ .

Таким образом,

$$S_{\text{год}} = S_{\text{пер}} + S_{\text{т}} + S_{\text{н}} + S_{\text{тп}} \quad \text{руб/год м.} \quad (1)$$

Оптимальная скорость теплоносителя найдется из условия:

$$\frac{dS_{\text{год}}}{d\omega_{\text{в}}} = \frac{dS_{\text{пер}}}{d\omega_{\text{в}}} + \frac{dS_{\text{т}}}{d\omega_{\text{в}}} + \frac{dS_{\text{н}}}{d\omega_{\text{в}}} + \frac{dS_{\text{тп}}}{d\omega_{\text{в}}}. \quad (2)$$

Изменяющуюся от  $w_b$  составляющую издержек на перекачку теплоносителя можно определить, как

$$S_{\text{пер}} = \frac{3,6 \cdot 10^{-3} cW \cdot H_n A}{\eta_n} \text{ руб/год м}, \quad (3)$$

где

$W$  — количество перекачиваемой сетевой воды,  $\text{м}^3/\text{сек}$ ;  
 $H_n$  — изменяющаяся составляющая напора сетевых насосов,  $\text{н}/\text{м}^2$ ;  
 $\eta_n$  — коэффициент полезного действия сетевых насосов;  
 $c$  — стоимость электроэнергии на шинах ТЭЦ,  $\text{руб}/\text{мдж}$ ;  
 $A$  — число часов использования установленной мощности сетевых насосов,  $\text{час}/\text{год}$ .

В формуле (3) изменяющаяся составляющая напора сетевых насосов  $H_n$  складывается из потерь напора падающего  $\Delta H_n$  и обратного  $\Delta H_0$  трубопроводов.

Эти составляющие найдутся, как

$$H_n = \Delta H_n + \Delta H_0 = \frac{\lambda \cdot \beta \rho \pi^{0,5} w_b^{2,5}}{2W^{0,5}} \text{ н}/\text{м}^2 \text{ м}. \quad (4)$$

Здесь  $\lambda$  — коэффициент трения;  
 $\beta$  — коэффициент местных потерь давления;  
 $\rho$  — плотность теплоносителя,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Подставив (3) из (4), получим

$$S_{\text{пер}} = \frac{3,6 \cdot 10^{-3} cW \cdot A \lambda \beta \rho \pi^{0,5} w_b^{2,5}}{2\eta_n} = M_1 w_b^{2,5} \text{ руб/год м}. \quad (5)$$

Стоимость 1 м теплопроводов в укладке может быть выражена, как

$$K_T = a d_y \text{ руб}/\text{м}.$$

где

$a$  — коэффициент, представляющий собой стоимость 1 м теплопровода в укладке, приходящуюся на 1 м диаметра трубопровода;

$d_y$  — условный диаметр теплопровода, м.

На рис. 1 по данным института „Теплоэлектропроект“ [1] построен график зависимости стоимости прокладки двухтрубного теплопровода в непроходных сборных бетонных каналах с сальниковыми компенсаторами и с изоляцией прямого и обратного трубопроводов минеральной ватой. Из графика видно, что величина

$$a = 270 \text{ руб}/\text{м}^2.$$

Тогда издержки, зависящие от капитальных затрат в теплопроводах, с учетом эффективности капитальных затрат, на метр прокладки теплопроводов двухтрубных тепловых сетей определяется следующим образом:

$$S_T = \frac{2 \cdot 10^{-2} (u_T + \delta) a \cdot W^{0,5}}{\pi^{0,5} w_b^{0,5}} = \frac{M_2}{w_b^{0,5}} \text{ руб}/\text{м}, \quad (6)$$

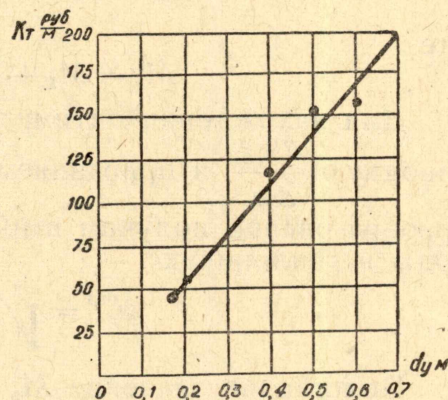


Рис. 1. Зависимость стоимости 1 м теплопроводов от их диаметров двухтрубных тепловых сетей с сальниковыми компенсаторами.

где  $U_T$  — процент отчислений на амортизацию и текущий ремонт по теплопроводам;

$\delta$  — коэффициент эффективности капитальных затрат.

Стоимость насосов с установкой и фундаментами может быть принята пропорциональной их мощности [2]

$$K_H = \kappa_H N_H = \kappa_H \frac{W H_H}{1000} \text{ руб.} \quad (7)$$

Здесь  $\kappa_H$  — стоимость насосов, приходящаяся на 1 квт установленной мощности, руб/квт.

Тогда издержки производства, зависящие от капитальных затрат в сетевые насосы, с учетом эффективности капитальных затрат, выразятся, как

$$S_H = \frac{10^{-2} (u_H + \delta) \kappa_H W^{0,5} \lambda \beta \rho \pi^{0,5} w_B^{2,5}}{2 \cdot 10^3} = M_3 w_B^{2,5} \text{ руб/год м.} \quad (8)$$

Издержки, связанные с тепловыми потерями,

$$S_{TH} = \frac{4\pi q \beta' \Delta t_{cp} n p W^{0,5}}{10^6 \pi^{0,5} w_B^{0,5}} = \frac{M_4}{w_B^{0,5}} \text{ руб/год м,} \quad (9)$$

где  $q$  — средний тепловой поток от теплоносителя в окружающую среду, отнесенный к поверхности труб;

$\Delta t_{cp}$  — среднегодовая разность температур теплоносителя и окружающей теплопровод среды, °С;

$n$  — число часов работы тепловой сети, час/год;

$\beta'$  — коэффициент местных потерь тепла;

$p$  — стоимость потерянного тепла, руб/мдж.

Если уравнение (1) вместо входящих в него величин подставить из выражений 5, 6, 8, 9 их значения, то получим

$$S_{год} = M_5 + w_B^{2,5} + \frac{M_6}{w_B^{0,5}} \text{ руб/год м,} \quad (10)$$

где

$$M_5 = M_1 + M_3; \quad M_6 = M_2 + M_4.$$

Для нахождения оптимальной скорости возьмем первую производную  $\frac{dS_{год}}{dw_B}$  и приравняем ее нулю. Тогда после нескольких преобразований получим выражение для оптимальной скорости воды в тепловодах

$$w_B^{opt} = \sqrt[3]{\frac{0,5 M_6}{2,5 M_5}} \text{ м/сек.}$$

Подставляя значение  $M_5$  и  $M_6$ , получим

$$w_B^{opt} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 10^3 [0,01 (u_T + \delta) a + 2 \cdot 10^{-6} \pi q' \Delta t_{cp} n p]}{2,5 \pi \lambda \beta \rho \left[ \frac{3,6 c A}{\eta_H} + 0,01 (u_H + \delta) \kappa_H \right]}} \quad (11)$$

Если в формуле (11) принять среднее значение  $\rho = 978 \text{ кг/м}^3$ ,  $\Delta t_{cp} = 75^\circ\text{C}$ ,  $n = 8760 \text{ час/год}$ , то формула примет более простой вид:

$$w_B^{opt} = \sqrt[3]{\frac{0,26 [0,01 (u_T + \delta) a + 3,6 \beta' q p]}{\lambda \beta \left[ \frac{3,6 c A}{\eta_H} + 0,01 (u_H + \delta) \kappa_H \right]}} \text{ м/сек.} \quad (12)$$

Как видно из формулы (12), скорость воды в магистральных теплопроводах не зависит ни от количества перекачиваемой воды, ни от протяженности магистральных теплопроводов, а является функцией таких экономических категорий, как стоимость 1 м прокладки теплопроводов, стоимость электроэнергии и тепла, стоимость установленного кВт мощности сетевых насосов, число часов использования установленной мощности сетевых насосов, процента отчислений на амортизацию и текущий ремонт по теплопроводам, насосной, коэффициенты местных гидравлических и тепловых потерь, коэффициент трения, тепловой поток.

Если считать, что величины  $u_t$ ,  $u_n$  и  $\delta$  на данном этапе остаются постоянными, а изменение значений  $\kappa_n$ ,  $\eta_n$ ,  $\lambda$ ,  $\beta$ ,  $\beta'$ ,  $q$  не значительное, то скорость теплоносителя в теплопроводах  $w_b$  в основном будет зависеть от числа часов использования установленной мощности сетевых насосов, стоимости электроэнергии, тепла и прокладки теплопроводов.

На рис. 2 по формуле (12) для магистральных теплопроводов разветвленных тепловых сетей построены зависимости оптимальной скорости воды  $w_b^{opt}$  (на графике показаны пунктирными линиями) от коэффициента использования максимальной мощности сетевых насосов, стоимости электроэнергии для частного примера, когда,  $u_t = 55\%$ ;  $u_n = 8,50\%$ ;  $\delta = 12,5\%$ ;  $\kappa_n = 90$  руб/квт;  $\eta_n = 0,7$ ;  $a = 270$  руб/м;  $p = 0,0007$  руб/мдж, а значение коэффициентов  $\lambda$ ,  $\beta$ ,  $\beta'$ ,  $q$  приняты согласно норм проектирования тепловых сетей в функции диаметра теплопроводов. Коэффициент  $A$  для разных климатических условий принимаем в пределах от 500 — 5000 час/год. стоимость электроэнергии на шинах ТЭЦ от 0,001 — 0,0025 руб/мдж,

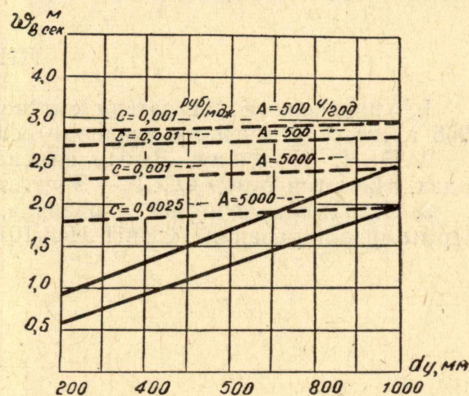


Рис. 2. Изменение оптимальной скорости теплоносителя в зависимости от стоимости электроэнергии, коэффициента использования установленной мощности сетевых насосов и диаметра теплопровода.

Из графика рис. 2 видно, что скорости воды в магистральных теплопроводах водяных тепловых сетей, принимаемые по нормированным удельным линейным потерям напора (на графике указаны сплошными линиями) почти на всем диапазоне диаметров занижены по сравнению с экономически выгодными. Это приводит к тому, что получают завышенные диаметры трубопроводов и, следовательно, завышенные капитало- и металлозатраты на тепловые сети. Эта разница получается тем больше, чем меньше число часов использования установленной мощности теплофикационного оборудования и чем дешевле электроэнергия, вырабатываемая на ТЭЦ. Особенно эта разница становится ощутимой при диаметрах теплопроводов менее 500 мм.

Оптимальные скорости воды в транзитных магистралях будут еще выше, чем в магистральных теплопроводах разветвленных тепловых сетей.

## Выводы

1. Скорости воды, выбираемые при гидравлических расчетах магистральных теплопроводов в тепловых сетях в соответствии с нормами проектирования, являются заниженными, и их выбор должен основываться

ваться на технико-экономических расчетах, учитывающих конкретные местные условия.

2. Так как оптимальные скорости теплоносителя выше принимаемых в настоящее время, то расчет тепловых сетей по  $\omega_v^{\text{опт}}$  приведет к снижению капиталозатрат.

3. Ввиду разнообразия климатических условий, приводящих к большому отличию коэффициента использования установленной мощности теплофикационного оборудования, нельзя принимать одинаковые скорости воды в магистральных теплопроводах в разных районах страны.

4. Скорости воды в существующих тепловых сетях, при нормальном их содержании, могут при необходимости увеличения их пропускной способности доводиться до экономически выгодных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Укрупненные показатели сметной стоимости строительства (в ценах и нормах 1955 г.), ч. VII. Внешние тепловые сети, Изд. ВТПИ, ТЭП, Москва, 1956.
  2. Е. Н. Шадрин. Выбор оптимальной скорости воды в циркуляционных водоводах, Известия вузов СССР — Энергетика, Минск, № 5, 1963.
  3. Строительные нормы и правила, часть II, раздел Г, глава 10. Тепловые сети. Нормы проектирования. (СНиП, П-Г-10-62), Москва, 1964.
-