

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОЛЬЦЕВОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ СВОБОДНЫХ НАПОРОВ В ЕЕ УЗЛАХ

А. Г. Евдокимов, Э. Н. Рыбников

Харьков

При технико-экономическом расчете, изложенном в работе [1], учитывались только потери энергии на преодоление сопротивлений в участках сети. В настоящей работе излагается метод технико-экономического расчета при заданных расходах в участках, когда учитываются затраты, связанные с потерей энергии на создание свободных напорov в узлах сети при ее эксплуатации за расчетный период.

Математическая модель установившегося потокораспределения и целенаправленное кодирование сети позволяют математически сформулировать данную задачу.

Кодировка сети с любым количеством активных источников питания производится следующим образом. Дерево графа водопроводной сети выбирается так, чтобы фиктивные участки, по которым происходит водопотребление из узлов сети и питание сети (кроме одного), стали связями. Тогда реальные участки сети частично станут связями, а частично ветвями дерева. Связям реальных участков присваиваются номера от 1 до  $l$ . Связям фиктивных участков без активных источников питания — от  $l+1$  до  $l_1$ . Связям фиктивных участков с активными источниками питания — от  $l_1+1$  до  $S$ . Ветви дерева, в которой находится активный источник питания, присваивается номер  $S+1$ . Остальные ветви дерева нумеруются от  $S+2$  до  $n$ .

Будем рассматривать задачу технико-экономического расчета при условии, что заданы расходы по участкам сети и требуемые свободные напоры в узлах  $h_r^c$  ( $r = l+1, \dots, l_1$ ).

$$h_r^c = h_r^{c*} + \Delta h_r^c, \quad (1)$$

где  $h_r^c$  — свободный напор в узле сети (потери напора в связи фиктивного участка, инпедентного данному узлу);

$\Delta h_r^c$  — превышение свободного напора в узле сети над требуемым.

Учитывая математическую модель установившегося потокораспределения, кодировку сети и формулу (1), запишем выражение для функции цели при технико-экономическом расчете:

$$V = \sum_{r=1}^l \left( \frac{M_r}{h_r^{\frac{\alpha}{m}}} + C_r h_r \right) + \sum_{r=l+1}^{l_1} C_r (h_r^{c*} + \Delta h_r^c) + \sum_{i=S+2}^n \left( \frac{M_i}{h_i^{\frac{\alpha}{m}}} + C_i h_i \right), \quad (2)$$

где

$$M_i = (E + p) b k^{\frac{\alpha}{m} l_i^{\frac{\alpha}{m} + 1}} (\text{sign } q_i |q_i|^{\beta})^{\frac{\alpha}{m}}; \quad (3)$$

$$C_i = \frac{8760 \pi \gamma + (E + p') \varepsilon \lambda}{102 \eta} q_i. \quad (4)$$

Здесь приняты такие же обозначения, как и в работе [1].

Задача технико-экономического расчета заключается в нахождении минимума функции цели (2) по переменным  $h_i$  при соблюдении второго закона гидравлических сетей. Для нахождения минимума функции цели (2) по переменным  $h_i$  ( $i = s+2, \dots, n$ ) необходимо взять частные производные функции по каждой из этих переменных при условиях, что

$$h_r = - \sum_{i=s+2}^n k_{ri} h_i \quad (r = 1, \dots, l); \quad (5)$$

$$\Delta h_r^c = h_{s+1}^n - \sum_{i=s+1}^n k_{ri} (h_i + \beta_i h_i^r) - h_r^{c*}, \quad (6)$$

где

$$h_{s+1}^n = \max_{r=k} \left\{ \sum_{i=s+1}^n k_{ki} (h_i + \beta_i h_i^r) + h_k^{c*} \right\} \quad (6')$$

и приравнять их нулю. Здесь  $h_{s+1}^n$  — напор активного источника питания, находящегося в ветви дерева. Выражения (5) и (6) соответствуют второму закону гидравлических сетей.

При этом получим

$$\begin{aligned} f_i = \frac{\partial V}{\partial h_i} &= \sum_{r=1}^l k_{ri} \left( \frac{\frac{\alpha}{m} M_r}{h_r^{\frac{\alpha}{m}+1}} - C_r \right) + C_i - \\ &- \frac{\frac{\alpha}{m} M_i}{h_i^{\frac{\alpha}{m}+1}} + \sum_{r=l+1}^{l_i} C_r (k_{ki} - k_{ri}) = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

( $i = s+2, \dots, n$ )

Таким образом, задача технико-экономического расчета свелась к решению нелинейных уравнений (7) при линейных уравнениях связи (5) (количество которых  $l$ ) и (6) (количество которых  $l_1 - l$ ).

Алгоритм решения систем уравнений (5)–(7) при использовании метода Ньютона аналогичен приведенному в работе [2]. Элементы матрицы Якоби при этом вычисляются по формулам

$$\left( \frac{\partial f_i}{\partial h_j} \right)_{i=j} = \left( \frac{\alpha}{m} + 1 \right) \frac{\alpha}{m} \frac{M_j}{h_j^{\frac{\alpha}{m}+2}} + \sum_{r=1}^l (k_{ri})^2 \frac{\alpha}{m} \left( \frac{\alpha}{m} + 1 \right) \frac{M_r}{h_r^{\frac{\alpha}{m}+2}}; \quad (8)$$

( $i, j = s+2, \dots, n$ )

$$\left( \frac{\partial f_i}{\partial h_j} \right)_{i \neq j} = \sum_{r=1}^l k_{ri} k_{rj} \left( \frac{\alpha}{m} + 1 \right) \frac{\alpha}{m} \frac{M_r}{h_r^{\frac{\alpha}{m}+2}}. \quad (9)$$

( $i, j = s+2, \dots, n$ )

По вычисленным  $h_j$  ( $j = 1, \dots, l, s+2, \dots, n$ ) определяются диаметры участков водопроводной сети по формуле

$$D_j = \left( \frac{k l_j |q_j| q_j}{h_j} \right)^{\frac{1}{m}}. \quad (10)$$

( $j = 1, \dots, l; s+2, \dots, n$ )

Диаметры всех водоводов находим по формуле, приведенной в работе [3], а именно:

$$D_j = \mathfrak{D}_j \{q_j\}^{1/3}, \quad (11)$$

$$(j = l_1 + 1, \dots, s + 1)$$

где

$$\tau = \frac{1}{\alpha + m}; \quad (12)$$

$$\mathfrak{D}_j = \frac{[8760\alpha\gamma + (E + p')\varphi\lambda]mk}{102\eta b(E + p')^2}. \quad (13)$$

Чтобы получить численное значение функции цели (2), необходимо произвести вычисления по следующему этапам:

1. Определить напор активного источника питания  $h_{s+1}^n$ , находящегося в ветви дерева графа. Для этого вычисляется путь с наибольшей потерей напора

$$h_{s+1}^n = f_{r \max} = \sum_{i=s+1}^n k_{ri} (h_i + \beta_i h_i^r) + h_r^s. \quad (14)$$

$$(r = l + 1, \dots, l_1)$$

2. Определить превышение свободных напоров в узлах сети над требуемыми по формуле (6). После этого вычислить значение функции цели (2).

В процессе технико-экономического расчета по предложенному методу напоры активных источников питания, находящихся в связях  $h_r^n$ , вычисляются по формуле

$$h_r^n = h_r + \beta_r h_r^r + \sum_{i=s+1}^n k_{ri} (h_i + \beta_i h_i^r) - h_{s+1}^n. \quad (15)$$

$$(r = l_1 + 1, \dots, s)$$

## ВЫВОДЫ

1. Метод технико-экономического расчета кольцевой водопроводной сети с учетом свободных напоров в ее узлах легко реализуем на ЦВМ и применим для сложных сетей с любым количеством активных источников питания.

2. Метод позволяет производить технико-экономический расчет водопроводной сети, когда местоположение диктующей точки неизвестно, что наблюдается при больших кольцевых сетях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Евдокимов, Э. Н. Рыбников. Техничко-экономический расчет кольцевой водопроводной сети при частично заданных расходах в ее участках. Сб. «Приборы и системы автоматики», вып. 8. Изд-во ХГУ, Харьков, 1967.

2. А. Г. Евдокимов, Э. Н. Рыбников. Предварительное распределение расходов в водопроводных сетях при помощи ЦВМ. Сб. «Приборы и системы автоматики», вып. 6. Изд-во ХГУ, Харьков, 1967.

3. Н. Н. Абрамов и др. Водоснабжение. Госстройиздат, 1958.