

## ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ З АКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Сафоненко В.В.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Козиренко С.І.  
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,  
м. Харків, Україна  
e-mail: vitalii.safonenko@nure.ua

The problem of hydraulic calculation of water supply networks with active elements consists in solving the system of equations of the steady-state flow-distribution model when flow and pressure measurements are given at the network inlets and outlets. The model of steady-state flow distribution for passive and active sections of the water supply network is given. A mathematical model of steady-state flow distribution for a water supply network of complex structure is formulated. The formulation of the problem of hydraulic calculation is given for the case when pressure values are set at all inputs and outputs of the network.

Задача гідравлічного розрахунку водопровідних мереж (ВМ) полягає в розв'язанні рівнянь моделі сталого поточкорозподілу (СПР) при заданні граничних умов.

Розглядається ВМ, структура якої задається у вигляді графа  $G(V, E)$ , який містить  $e = \text{Card}(E)$  дуг і  $v = \text{Card}(V)$  вершин. Множину  $E$  дуг графа мережі можна записати як  $E = M \cup L \cup N$ , де  $M$  – множина дуг графа мережі, що відповідають реальним ділянкам, причому  $M = M_p \cup M_a$ , де  $M_p$ ,  $M_a$  – множини дуг графа мережі, що відповідають пасивним ділянкам та активним елементам;  $L$ ,  $N$  – множини фіктивних дуг, що відповідають входам і виходам мережі.

Модель СПР для пасивних ділянок та активних елементів мережі така:

$$P_{iH} - P_{iK} - c_i q_i |q_i| = 0, i \in M_p, \quad (1)$$

$$h_i(q_i) = P_{iH} - P_{iK} = \psi_{0i} + \psi_{1i} q_i + \psi_{2i} q_i^2, i \in M_a, \quad (2)$$

де  $P_{iH}$ ,  $P_{iK}$  – тиск на початку і кінці  $i$ -ої ділянки мережі;  $q_i$  – витрата по  $i$ -ої ділянці мережі;  $c_i$  – гідравлічний опір  $i$ -ої ділянки мережі ( $c_i > 0$ );  $\psi_{0i}$ ,  $\psi_{1i}$ ,  $\psi_{2i}$  – коефіцієнти апроксимації характеристик насосних агрегатів.

Виберемо дерево графа мережі, тоді  $E = E_1 \cup E_2$ , де  $E_1, E_2$  – множини дуг, відповідних гілкам дерева і хордам. Слід зазначити, що нульова вершина є початковою для дуг, відповідних входам мережі, і кінцевою для дуг, відповідних виходам мережі. В цьому випадку система рівнянь математичної моделі СПР запишеться в такому вигляді [1]:

$$f_r = h_r + \sum_{i \in E_1} b_{1ri} h_i = 0, r \in E_2, \quad (3)$$

$$q_i = \sum_{r \in E_2} b_{1ri} q_r, i \in E_1, \quad (4)$$

де

$$h_i(q_i) = c_i q_i |q_i|, i \in M_p; \quad (5)$$

$$h_i(q_i) = \psi_{0i} + \psi_{1i} q_i + \psi_{2i} q_i^2, i \in M_a; \quad (6)$$

$$h_j = -P_j, j \in L; \quad (7)$$

$$h_j = P_j, j \in N, \quad (8)$$

$P_j$  – тиск на початку ( $j \in N$ ) або кінці ( $j \in L$ )  $j$  – ой фіктивної дуги;  $b_{1ri}$  – елемент цикломатичної матриці В1.

Розв’язання системи рівнянь (3), (4) з урахуванням виразів (5)–(8) дозволяє обчислити значення витрат по всіх дугах графа мережі і тиску на всіх входах і виходах мережі при відповідному завданні граничних умов.

Перетворимо систему рівнянь (3) шляхом підстановки виразів (4)–(8) в (3). В результаті отримаємо таку систему рівнянь:

$$\phi_r(q_r, r \in E_2; P_j, j \in L \cup N) = 0, r \in E_2. \quad (9)$$

Визначення значень тиску в проміжних вузлах здійснюється після розв’язання системи рівнянь (3), (4) методом підстановки відповідно до виразів (1), (2).

Конкретизуємо рівняння моделі СПР (3)–(8), використовуючи залежності (1), (2) для пасивних і активних елементів.

Нехай дерево графа не містить фіктивних дуг, відповідних виходам мережі. Кожна з множини  $M, N, L$  розіб’ється на дві, відповідних гілкам дерева  $M_1 = M_{p1} \cup M_{a1}$  і  $L_1, N_1$ , а також хордам  $M_2 = M_{p2} \cup M_{a2}, L_2, N_2$ , причому  $N_1 = 0$ .

Якщо на всіх входах і виходах мережі задані значення тиску, задача гідравлічного розрахунку ВМ зводиться до розв’язання системи нелінійних рівнянь:

$$f_r(q_r, r \in M_{p2} \cup M_{a2} \cup L_{22} \cup N_{22}) = 0, r \in M_{p2} \cup M_{a2} \cup L_{22} \cup N_{22}. \quad (10)$$

Значення витрат  $q_i, i \in M_{p1} \cup M_{a1} \cup L_{12}$  обчислюються з використанням рівняння зв’язку (4).

Список використаних джерел:

1. Козиренко С. І., Ільницький В.Б. Ідентифікація стану моделі сталого потекорозподілу у інженерних мережах // Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід: матеріали V міжнародної конференції, 29 листопада 2022 р. Дніпро, 2022. С. 169–172.