

**ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ВОДОПРОВІДНОЇ  
МЕРЕЖІ СКЛАДНОЇ СТРУКТУРИ**

Хвалюк В.В.

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

The formulation of the problem of estimating the state of the steady flow distribution model of a water supply network is considered and a method of its solution is proposed. The maximum likelihood method is used to construct the estimation procedure. The formal formulation of the problem leads to a conditional optimization problem. The use of topological properties of the network and the method of selection of independent variables allows us to reduce the minimization problem with nonlinear constraints to the problem of unconditional optimization only with respect to independent variables.

У даній роботі розглядається постановка задачі оцінювання стану моделі сталого поточкорозподілу (СПР) водопровідної мережі (ВМ) і пропонується метод її розв'язання.

Задача оцінювання стану моделі СПР полягає в оцінюванні режимних параметрів, що описують повний поточкорозподіл ВМ, на підставі вимірювання лише деяких з них. Основою для формулювання задачі оцінювання стану є модель СПР.

Розглядається ВМ, структура якої задається у вигляді графа  $G(V, E)$ , що містить  $e = \text{Card}(E)$  дуг і  $v = \text{Card}(V)$  вершин. Множину  $E$  дуг графа мережі можна представити як  $E = M \cup K$ , де  $M$  – множина дуг графа мережі, що відповідають реальним ділянкам;  $K = L \cup N$  – множина фіктивних ділянок мережі;  $L$  – множина дуг, що відповідають входам мережі;  $N$  – множина дуг, що відповідають виходам мережі.

Відомі параметри реальних ділянок мережі  $c_i, i \in M$ , а також вимірні значення тиску  $\tilde{P}_i, i \in L^P \cup N^P$  і витрат  $\tilde{q}_j, j \in L^q \cup N^q$ , де  $L^P, N^P$  – множини фіктивних дуг, що відповідають входам і виходам мережі, де проводилося вимірювання тиску;  $L^q, N^q$  – множини фіктивних дуг, що відповідають входам і виходам мережі, де проводилися вимірювання витрат. Відомі також дисперсії вимірних величин тиску  $\sigma_{P_i}^2, i \in L^P \cup N^P$  і витрат  $\sigma_{q_j}^2, j \in L^q \cup N^q$ . Кількість вимірювань перевищує сумарну кількість входів і виходів ВМ. Виконання даної умови відповідає виконанню умов топологічної ідентифікованості ВМ.

Потрібно отримати оцінки дійсних значень вимірюваного тиску  $P_i, i \in L^P \cup N^P$  і витрат  $q_j, j \in L^q \cup N^q$ , а також всіх функціонально пов'язаних з

ними змінних  $q_i, i \in M \cup L \cup N$ ;  $P_j, j \in L \cup N$ , що характеризують потоко-розподіл в ВМ, тобто оцінити всі компоненти вектора стану.

Для побудови процедури оцінювання використовуватимемо метод максимальної правдоподібності [1], згідно з яким формальна постановка задачі матиме вигляд:

$$y = \sum_{i \in L^P \cup N^P} \sigma_{P_i}^{-2} (\tilde{P}_i - P_i)^2 + \sum_{j \in L^q \cup N^q} \sigma_{q_j}^{-2} (\tilde{q}_j - q_j)^2 \rightarrow \min_{q_j, P_i \in \Omega}, \quad (1)$$

де  $\Omega$  – область, що визначається рівняннями моделі СПР.

Вибір методу розв'язання задачі (1) істотно залежить від конкретного представлення рівнянь моделі СПР [2].

Пропонується область  $\Omega$  описувати системою рівнянь моделі СПР такого вигляду:

$$c_r q_r |q_r| + \sum_{j \in N} b_{1rj} P_j - \sum_{j \in L} b_{1rj} P_j = 0, r \in M; \quad (2)$$

$$q_i = \sum_{r \in M} b_{1ri} q_r, i \in L \cup N, \quad (3)$$

де  $P_j$  – тиск на початку ( $j \in N$ ) або кінці ( $j \in L$ )  $j$ -ої фіктивної дуги;  $b_{1ri}$  – елемент цикломатичної матриці  $B_1$ , побудованої для гілок дерева графа мережі;  $q_i$  – витрата по  $i$ -ій ділянці мережі.

Розділимо змінні задачі на залежні і незалежні. До незалежних змінних віднесемо тиск в дугах, що відповідають входам і виходам мережі  $P_j, j \in L \cup N$ , до залежних – витрати  $q_i, i \in M \cup L \cup N$ .

Тоді задача умовної мінімізації з нелінійними обмеженнями зводиться до задачі безумовної мінімізації тільки відносно незалежних змінних:

$$y(P_i, i \in L \cup N) \rightarrow \min_{P_i, i \in L \cup N}. \quad (4)$$

Для розв'язання задачі (4) доцільно використовувати модифікації методів оптимізації другого порядку.

Список використаних джерел:

1. Yonathan Bard. Nonlinear Parameter Estimation. Academic Press, 1974. 341 pp.
2. Козиренко С. І., Ільницький В.Б. Ідентифікація стану моделі сталого потокорозподілу у інженерних мережах // Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід: матеріали V міжнародної конференції, 29 листопада 2022 р. Дніпро, 2022. С. 169–172.