

Л. І. Леві, М. К. Бороздін, О. С. Ястреба

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

## ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНАТОРНО-ГРАФОВОГО ПІДХОДУ ДО ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ІНЖЕНЕРНИМИ МЕРЕЖАМИ

**Анотація.** При дослідженні інженерних мереж (ІМ) як об'єктів оперативного управління попередньо було виконано певні розробки та при цьому було отримано такі результати. Здійснено формалізацію структури та функціональних елементів оперативного керування ІМ та зроблено постановку узагальненої задачі оперативного управління такими об'єктами. Розроблено систему показників для оцінки керуючих алгоритмів, що породжуються відомими методами реалізації поставленої узагальненої задачі оперативного управління ІМ. Проведено аналіз керуючих алгоритмів, що породжуються узагальненою задачею, з використанням для цієї мети системи показників для оцінки керуючих алгоритмів. Показано, що відомі методи реалізації узагальненого завдання оперативного управління ІМ не дозволяють отримати ефективні керуючі алгоритми. На підставі цього зроблено висновок про необхідність таких нових підходів до управління ІМ, які б враховували суттєві структурні та функціональні особливості об'єктів управління класу, що розглядається, і породжували ефективні алгоритми оперативного управління. Ці результати використані у даній роботі щодо ІМ в аспекті оперативного управління такими об'єктами.

**Ключові слова:** інженерна мережа, моделюючий граф, поточкорозподіл, активний елемент, евристики, комбінаторно-графовий підхід.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Відомі певні способи реалізації процесів управління ІМ, що використовують різні методи розрахунку поточкорозподілів, що встановилися в інженерних мережах. До них, зокрема, належать:

- метод Ньютона,
- модифікований метод Ньютона,
- метод Лобачова-Кроса,
- узагальнений метод Ньютона,
- метод поєднаного спуску,
- метод сполучених напрямів Флетчера-Рівса,
- метод змінної метрики Девідона-Флетчера-Пауелла [1].

Практична реалізація керуючих процесів, заснованих на перерахованих методах, зустрічає наступні проблеми [2, 3].

1. Необхідний дуже великий обсяг ОП керуючої ЕОМ для зберігання даних, що беруть участь у обчислювальному процесі: апріорної інформації про параметри всіх дуг ІМ і робочої інформації – проміжних величин, що використовуються в обчислювальному процесі.

2. Необхідні значні витрати процесорного часу керуючої ЕОМ для виконання дуже великої кількості ітерацій з метою розрахунку керуючих впливів, що забезпечують необхідний поточкорозподіл.

**Формулювання мети статті.** Виходячи з попереднього аналізу, в даній роботі пропонується інший підхід до управління ІМ, безпосередньо не пов'язаний з необхідністю розрахунків встановлених поточкорозподілів в ІМ.

Будучи комбінаторно-графовим, запропонований підхід враховує суттєві структурні та функціональні особливості об'єктів управління розглядуваного класу.

Цим він дозволяє суттєво зменшити обсяг ОП та скоротити кількість процесорного часу керуючої ЕОМ, необхідних для формування керуючих впливів у інженерних мережах.

### Основна частина

Для розгляду запропонованого в даній роботі комбінаторно-графового підходу до управління ІМ введемо наступні поняття та позначення.

Множину вершин графа  $G$ , що відповідає вузлам ІМ  $N$ , підключеним до активного елемента (АЕ), позначимо  $A$  і назовемо множиною вхідних вершин графа  $G$ . У реальних ІМ вхідними вершинами є лише деякі з множини всіх вершин  $V$ . Тому вважатимемо, що між множиною вхідних вершин  $A$  та множиною всіх вершин  $V$  має місце таке співвідношення:  $A \subset V$ . Певний АЕ, який бієктивно відповідає вхідній вершині  $x$ , позначимо  $S_x$ , де  $x \in A$ . Відповідно до математичної моделі поточкорозподілу в ІМ [1 – 3], в результаті функціонування АЕ  $S_x$  створюються певні напори (рівні) цільового продукту (ЦП)  $Z_y$  у вершинах  $y$ , де  $x \in A, y \in V$ .

Кожній дузі  $j \in E$  моделюючого графа  $G$  поставимо у відповідність величину  $l_j$ , що формалізує гідравлічний або аеродинамічний опір відповідної ділянки розглядуваної ІМ  $N$ .

Існують різні способи розрахунку значень  $l_j$  для реальних ІМ. Ці величини також можуть бути визначені у процесі ідентифікації ІМ як об'єктів оперативного управління [3, 4].

Нехай вершини  $x, y \in V$  моделюючого графа  $G$  зв'язані ланцюгом  $P_{xy}$ .

Тоді довжина ланцюга  $P_{xy}$ , що виражає опір відповідної ділянки ІМ  $N$ , може бути визначена співвідношенням:

$$L_{xy} = \sum_{j \in P_{xy}} l_j.$$

У загальному випадку розглянуті вершини  $x, y \in V$  графа  $G$  можуть бути зв'язані кількома ланцюгами  $P_{xy}$ , що обумовлено наявністю декількох ділянок в ІМ  $N$ , що з'єднують відповідні вузли. Тоді найкоротшим ланцюгом  $K_{xy}$  назовемо такий ланцюг  $P_{xy}$ , який має найменшу довжину  $L_{xy}$ .

Довжину  $L_{xy}$  найкоротшого ланцюга  $K_{xy}$  позначимо  $M_{xy}$ .

Величина  $M_{xy}$  визначається наступним співвідношенням:

$$M_{xy} = \min \{L_{xy}\}.$$

Моделюючий граф  $G$  топологічної структури ІМ  $N$ , який формалізує комбінаторно-графовий підхід до управління об'єктом розглядуваного класу, наведено на рис. 1.

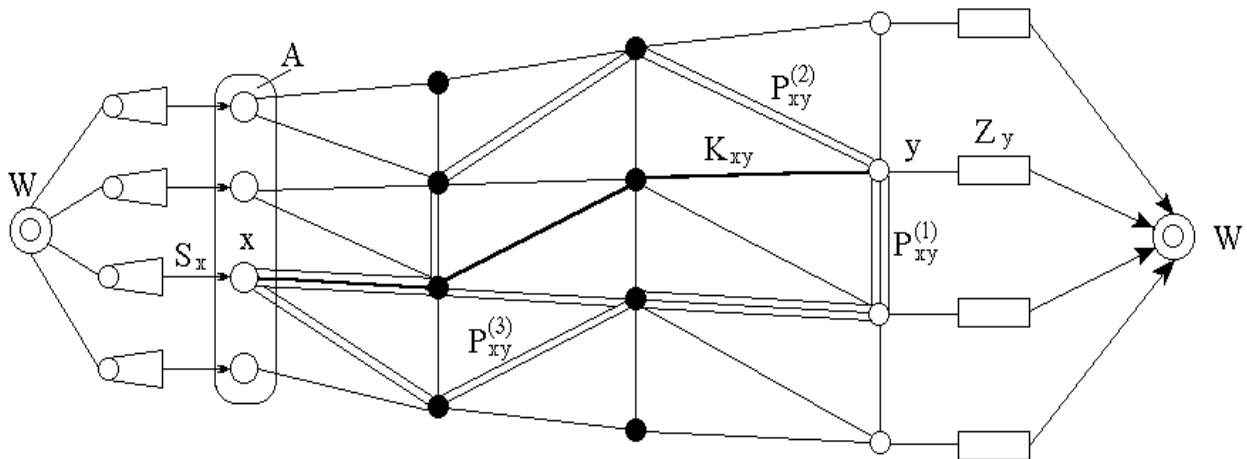



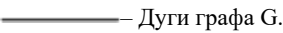
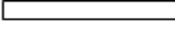
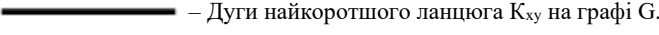
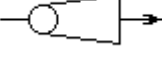
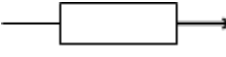


Рис. 1. Моделюючий граф  $G$  топологічної структури ІМ  $N$ , який формалізує комбінаторно-графовий підхід до управління об'єктом розглядуваного класу:

-  – Вхідні вершини графа  $G$ .
-  – Проміжні вершини графа  $G$ .
-  – Вихідні вершини графа  $G$ .
-  – Дуги графа  $G$ .
-  – Дуги ланцюга  $P_{xy}$  на графі  $G$ .
-  – Дуги найкоротшого ланцюга  $K_{xy}$  на графі  $G$ .
-  – АЕ, що відповідають вхідним вершинам графа  $G$ .
-  – СЦП, підключені до вихідних вершин графа  $G$ .

Виходячи з математичної моделі поточкорозподілу в ІМ  $N$ , процес управління об'єктом розглядуваного класу включає цілеспрямовані впливи на всі або деякі АЕ  $S_x$ , де  $x \in A$ , для реалізації необхідних змін напорів (рівнів) ЦП  $Z_y$ , де  $y \in V$ , відповідно до певних критеріїв управління [1 – 3].

Для реалізації процесу управління ІМ у цьому підрозділі пропонується використовувати такі евристики.

1. Для зміни величини  $Z_y$  необхідно насамперед використовувати ті АЕ  $S_x$ , які найефективніше впливають на величину  $Z_y$ , де  $x \in A, y \in V$ .

2. Ступінь впливу АЕ  $S_x$  на величину напору  $Z_y$  характеризуватимемо довжиною  $M_{xy}$  найкоротшого ланцюга  $K_{xy}$  з вершини  $x$  у вершину  $y$ , де  $x \in A, y \in V$ . При цьому чим менша довжина найкоротшого ланцюга, тим ступінь впливу певного АЕ на напор (рівень) ЦП у розглядуваній вершині вважається більшою.

Справедливість даних евристик обумовлена співвідношеннями, що встановлюють взаємозв'язки між керуючими змінними та параметрами поточкорозподілів, що встановилися в ІМ.

Відповідно до специфіки математичної моделі поточкорозподілу в ІМ дані евристики сприяють зменшенню енергетичних витрат при створенні

допустимих умов функціонування для споживачів цільового продукту (СЦП), підключених до розглядуваної ІМ. Це сприяє реалізації узагальненого задачі оперативного управління в розглядуваній ІМ.

Запропонований комбінаторно-графовий підхід до управління ІМ формалізуємо наступним чином.

Нехай множини  $V$  і  $A$  містять відповідно  $v$  і  $a$  вершин:  $|V| = v, |A| = a$ .

З умови  $A \subset V$  випливає, що  $a < v$ .

Не зменшуючи спільності, всі вершини множини  $V$  занумеруємо  $v$  послідовними натуральними числами так, що перші  $a$  з них відповідають підмножині  $A \subset V$ .

Оскільки кожній вхідній вершині  $x \in A$  біктивно відповідає АЕ  $S_x$ , з'єднаний з розглядуваною вхідною вершиною, будемо вважати, що кожний АЕ  $S_x$  має номер, що відповідає вхідній вершині  $D_y$ . В цьому випадку всі АЕ  $S_x$  будуть так само, як і вхідні вершини  $x \in A$ , занумеровані першими  $a$  натуральними числами.

Для кожної вершини  $y \in V$  упорядкуємо множини номерів усіх АЕ  $S_x$  за ступенем їх впливу на величину  $Z_y$ , де  $x \in A$ .

Ступінь впливу АЕ  $S_x$  на величину  $Z_y$  відповідно до прийнятих евристик оцінюватимемо довжиною  $M_{xy}$  найкоротшого ланцюга  $K_{xy}$ , де  $x \in A, y \in V$ .

Для цього кожній вершині  $u \in V$  поставимо у відповідність вектор  $D_u$ , координатами якого є номери всіх АЕ  $S_x$ , упорядковані за зростанням величини  $M_{xu}$ , де  $x \in A$ .

Такий вектор назвемо вектором упорядкування номерів АЕ за ступенем їхнього впливу на величину  $Z_u$  у вершині  $u \in V$ .

Розмірність вектора  $D_u$  для кожної вершини  $u \in V$ , яка визначається числом його координат, дорівнює загальній кількості АЕ а аналізованої ІМ N.

Вектор  $D_u$  може бути використаний для визначення тих АЕ  $S_x$ , на які потрібно впливати в першу чергу при необхідності зміни величини  $Z_u$  у вершині у процесі управління ІМ N де  $x \in A$ ,  $u \in V$ .

Сукупність векторів  $D_u$  для всіх вершин  $u \in V$  утворює матрицю  $D = \{D_u\}$ . Матрицю  $D$  назвемо матрицею упорядкування АЕ  $S_x$ , де  $x \in A$ , за ступенем їхнього впливу на напори  $Z_u$  у всіх вершинах  $u \in V$  графа G.

Кожним рядком матриці  $D$  є вектор  $D_u$ , що відповідає певній вершині  $u \in V$ . Тому число елементів у рядку матриці  $D$ , що визначає кількість її стовпців, відповідає розмірності вектора  $D_u$  і дорівнює числу  $a$ .

Число рядків матриці  $D$  визначається кількістю всіх вершин  $u$ , що входять до множини  $V$ , і тому дорівнює числу  $v$ . Отже, матриця  $D$  має розмірність  $v \times a$ .

Матриця  $D$  формалізує запропонований у цьому підрозділі комбінаторно-графовий підхід до управління ІМ N.

## Висновки

Запропонований комбінаторно-графовий підхід може бути використаний при синтезі систем, що реалізують процеси управління ІМ розглядуваного класу.

На відміну від відомих способів управління, заснованих на чисельних методах розрахунку потоко-розподілів в ІМ, запропонований підхід у загальному випадку не забезпечує оптимального управління об'єктами розглядуваного класу. Проте він враховує суттєві структурні та функціональні особливості таких об'єктів.

Це дозволяє порівняно з відомими методами значно зменшити необхідний обсяг оперативної пам'яті та скоротити необхідну кількість процесорного часу керуючої ЕОМ.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткачук О.А. Міські інженерні мережі: Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2015. – 412 с.
2. Визначення потокорозподілу в мережах з переважаною деревоподібною структурою графа на основі потенціалу в середній точці гілок-хорд / С.Д. Винничук // Режим доступу: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/133524>
3. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
4. Леві Л.І. Інтелектуальні інформаційні технології в ідентифікації і керуванні складними технічними об'єктами в умовах невизначеності: [монографія]. – Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2021. – 194 с.

Received (Надійшла) 14.02.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.04.2024

## Application of the combinator-graphic approach to the operational management of engineering networks

L. Lievi, M. Borozdin, O.Yastreba

**Abstract.** Based on special sociological studies, it has been established that achieving a high level of engineering support for residential buildings, as well as household enterprises and institutions, helps to improve the sanitary and hygienic level, has an extremely beneficial effect on the health of the population and on labor productivity, thus contributing to the solution of important national economic problems. The most important aspect of this problem is improving the functioning of modern urban water supply and gas supply systems to ensure the required regimes of water and gas consumption by household facilities, as well as social and cultural facilities. The need to further improve agricultural production and improve the life of the rural population puts forward increased demands on the implementation of the processes of functioning of irrigation systems, as well as agricultural water supply systems. The need to further improve agricultural production and improve the life of the rural population puts forward increased demands on the implementation of the processes of functioning of irrigation systems, as well as agricultural water supply systems. During the study of engineering networks (EN) as objects of operational management, certain developments were previously carried out and the following results were obtained. 1. The formalization of the structure and functional elements of operationally managed ENs was carried out and the generalized task of operational management of such objects was formulated. 2. A system of indicators has been developed for the evaluation of control algorithms generated by known methods of implementation of the set generalized task of operational management of EN. 3. An analysis of control algorithms generated by a generalized problem was carried out, using for this purpose a system of indicators for evaluating control algorithms. 4. It is shown that the known methods of implementing the generalized task of operational management of EN do not allow obtaining effective control algorithms. On the basis of this, a conclusion was made about the need for such new approaches to EN management, which would take into account the essential structural and functional features of management objects of the class under consideration, and generate effective operational management algorithms. These results are used in this work on EN in the aspect of operational management of such objects.

**Keywords:** engineering network, modeling graph, flow distribution, active element, heuristics, combinatorial-graph approach.