

## КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ІЄРАРХІЧНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖНИХ СИСТЕМ

**Анотація.** Через спільності ряду характерних властивостей та особливостей, якими, зокрема, є функціональне призначення, топологічна структура, моделі потокорозподілів, а також задачі, методи та алгоритми управління, системи сільськогосподарського водопостачання, а також зрошувальні системи можуть бути віднесені до класу ієрархічно організованих інженерних мережних систем (ІМС). На основі аналізу існуючих та проєктованих ІМС можна зробити висновок, що такі об'єкти можуть бути декомпозовані на певним чином взаємозалежні та взаємодіючі між собою в процесі функціонування окремі локальні мережі (ЛМ) різного рівня ієрархії. При цьому реальні ІМС на найвищому рівні ієрархії як ЛМ містять магістральні мережі (ММ), до яких підключені ЛМ нижчого рівня ієрархії, – розподільні мережі (РМ). До РМ передостаннього рівня ієрархії підключені РМ найнижчого рівня ієрархії – мережі споживачів цільового продукту (МСЦП). До них безпосередньо підключені споживачі цільового продукту (СЦП), що здійснюють у підсумку споживання цільового продукту (ЦП), – води, із розглядуваної ієрархічно організованої ІМС [1, 2]. Функціональним призначенням ММ є споживання ЦП із зовнішніх по відношенню до ІМС джерел, його транспортування та перерозподіл між РМ, підключеними до розглядуваної ММ. Функціональним призначенням РМ є споживання ЦП з ММ, до якої підключена дана РМ, його транспортування та перерозподіл між МСЦП, підключеними до цієї РМ. Функціональним призначенням МСЦП є споживання ЦП з РМ, до якої підключена дана МСЦП, його транспортування та перерозподіл між СЦП, підключеними до цієї МСЦП. Внаслідок стохастичних змін режимів споживання ЦП окремими СЦП, для створення припустимих умов їхнього функціонування є необхідною реалізація процесів оперативного управління ІМС.

**Ключові слова:** інженерні мережні системи, локальні мережі, магістральні мережі, розподільні мережі, мережі споживачів цільового продукту, цільовий продукт, споживачі цільового продукту.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Відповідно до [1, 2], розглянемо зміну наступних найважливіших характерних властивостей та особливостей локальних мереж (ЛМ) залежно від рівня ієрархії в інженерній мережній системі (ІМС).

1. Функціональне призначення.
2. Геометричні розміри.
3. Конструктивно-технологічні особливості реалізації.
4. Топологічна структура моделюючих графів.
5. Енергетична характеристика потокорозподілу.
6. Режимы споживання цільового продукту (ЦП).
7. Ступінь стохастичності потокорозподілу.
8. Елементний склад дуг.
9. Можливість практичної реалізації різних видів ідентифікації.

**Формулювання мети статті.** На підставі [1, 2], що містять матеріали та результати з різних аспектів дослідження ІМС як об'єктів управління, розглянемо найважливіші властивості та особливості, характерні для окремих ЛМ різного рівня ієрархії.

### Основна частина

Конструктивно магістральні мережі (ММ) складаються з великих трубопроводів великого перерізу, здатних витримати великі напори та пропускати великі потоки ЦП. ММ мають велику довжину. Моделюючи графи ММ або є деревами, або мають відносно невелику кількість циклів, тому цикломатичні числа таких графів дорівнюють або не набагато перевищують нульове значення. Конструктивно

розподільчі мережі (РМ) складаються з трубопроводів меншого діаметра, розрахованих на передачу менших потоків ЦП з напорами, меншими щодо відповідних величин в ММ.

Реальні РМ характеризуються меншою проти ММ протяжністю. Моделюючи графи РМ містять більшу порівняно з моделюючими графами ММ кількість циклів, тому відповідні цикломатичні числа набувають більших значень, ніж для моделюючих графів ММ.

Конструктивно мережі споживачів ЦП (МСЦП) представляють вельми розгалужені та закільцьовані мережі дрібних трубопроводів низького тиску, що мають невелику довжину. Цикломатичні числа, відповідні моделюючим графам реальних МСЦП, набувають більших значень, ніж для моделюючих графів РМ.

Режими споживання ЦП із вищих ЛМ нижчими ЛМ чи споживачами цільового продукту (СЦП) визначаються величинами потоків ЦП, а також значеннями напорів, за яких споживаються ці потоки. Для реальних СЦП має місце стохастичний характер режимів споживання, обумовлений цілим рядом випадкових чинників, до яких, зокрема, можна віднести погодні умови, біологічні потреби організмів, і навіть суб'єктивні міркування [3, 4].

Відповідно до математичної моделі потокорозподілу в розглядуваній ЛМ визначається режимами споживання ЦП підключених до неї нижчих ЛМ або СЦП. Тому стохастичність режимів споживання СЦП породжує стохастичність потокорозподілів окремих ЛМ різного рівня ієрархії.

Однак у силу тієї ж стохастичності режимів споживання СЦП чи нижчестоящих ЛМ різні випадкові зміни (збурення) таких режимів взаємно компен-

суються, вирівнюються, згладжуються при їхньому впливі на вищі ЛМ. Тому поточкорозподіли у вищих ЛМ та режими споживання ними ЦП є більш детермінованими, ніж в нижчих ЛМ.

Особливістю елементного складу дуг реальних ММ – це наявність в них потужних АЕ та відсутність або мінімальна кількість ПЕ. Доцільність розміщення великих АЕ в дугах ММ обумовлена наявністю в них поточкорозподілів з високими енергетичними параметрами (потоками та напором), що мають високий ступінь детермінованості, що дозволяє застосувати більш потужні, а отже і більш економічні конструкції та типорозміри АЕ, створивши при цьому для них більш сприятливі умови функціонування. Розміщення ж ПЕ в дугах ММ є менш доцільним, оскільки в умовах потужних поточкорозподілів це призводить до істотних енергетичних витрат [1, 2].

У дугах реальних РМ можуть міститися як АЕ, так і ПЕ. Проте відносна кількість АЕ тут менша, ніж у дугах ММ, а потужність їх нижча. Це пояснюється тим, що енергетичні параметри поточкорозподілів в РМ нижчі, ніж у ММ, а ступінь їх стохастичності – вищий. У таких умовах важко створити припустимі умови для функціонування реальних АЕ, особливо для тих, які мають велику потужність. Наявність же тут ПЕ припустима в більшій мірі, ніж в ММ, оскільки відповідні енергетичні параметри поточкорозподілів тут нижчі, а отже нижчі й енергетичні втрати в ПЕ [1, 2].

У дугах же реальних МСЦП внаслідок високої стохастичності та низьких енергетичних параметрів поточкорозподілів містяться лише ПЕ [1, 2].

Таким чином, ієрархічність структури реальних ІМС обумовлена необхідністю узгодження невеликого числа в основному детермінованих процесів споживання ЦП із зовнішнього середовища, що мають високі енергетичні параметри, з дуже великим числом стохастичних процесів його споживання СЦП, що характеризуються низькими енергетичними параметрами.

Для реалізації процесів управління ІМС велике значення має можливість їх структурної та параметричної ідентифікації, а також ідентифікації стану таких об'єктів [1, 2]. На підставі розглянутих властивостей ММ, РМ та МСЦП визначимо можливість практичної реалізації різних видів ідентифікації цих ЛМ. Зокрема, ММ характеризуються відносно невеликим числом відносно стійких змінних і параметрів, взаємозв'язаних між собою у відносно меншому ступені, ніж аналогічні величини в РМ та МСЦП, та в достатньому ступені доступних для виміру. Тому можна зробити висновок, що для ММ зазначені види ідентифікації є практично реалізованими [1, 2].

РС характеризуються значно великим числом змінних та параметрів, стохастичність яких істотно вища, ніж для аналогічних величин в ММ. Крім цього, зазначені величини в РМ взаємозв'язані між собою в більшому ступені, ніж у ММ, та у меншому ступені доступні для виміру.

Тому можна зробити висновок, що в РМ практична реалізація розглянутих видів ідентифікації

зустрічає певні труднощі [1, 2]. У зв'язку з цим припускаємо, що в РМ можуть бути ідентифіковані лише істотні структурні взаємозв'язки, а також найважливіші змінні та параметри.

МСЦП характеризуються дуже великим числом змінних та параметрів, ступінь стохастичності яких занадто високий.

В силу структурно-топологічних особливостей моделюючих графів та конструктивно-технологічних особливостей реалізації МСЦП, ці величини дуже сильно взаємозв'язані між собою та важкодоступні для виміру.

Тому можна зробити висновок, що вказані види ідентифікації в МСЦП реалізувати практично неможливо [1, 2].

Як приклад, що конкретизує основні положення даної роботи, розглянемо мережну систему сільськогосподарського водопостачання, що складається з ММ, до якої підключені РМ [1, 2].

ММ, що входить в розглядувану систему, характеризується наступними основними властивостями та параметрами. Її довжина знаходиться в межах від декількох сотень метрів до декількох кілометрів. За своєю конфігурацією ММ довжиною до 200 м є тупиковими, а ММ більшої довжини мають декілька циклів.

Ділянками МС являються сталеві, чавунні або азбестоцементні труби діаметром від 100 мм до 500 мм. В якості АЕ в розглядуваній ММ використовуються відцентрові насоси типу К та КМ з подачею від 0,45 м<sup>3</sup>/год до 360 м<sup>3</sup>/год та напорами від 8,8 м до 98 м, а також багатоступінчасті секційні насоси типу ММ з подачею від 22 м<sup>3</sup>/год до 400 м<sup>3</sup>/год та напорами від 30 м до 1230 м. Розглядувана ММ в якості ПЕ містить декілька засувов, що знаходяться на ділянках, інцидентних АЕ. Добова нерівномірність процесу водоспоживання з ММ, що має певну тенденцію, представлена відповідним погодинним графіком на рис. 1. Він має два максимуми, що досягають 10 м<sup>3</sup>/год, а також мінімум, який відповідає 1 м<sup>3</sup>/год.

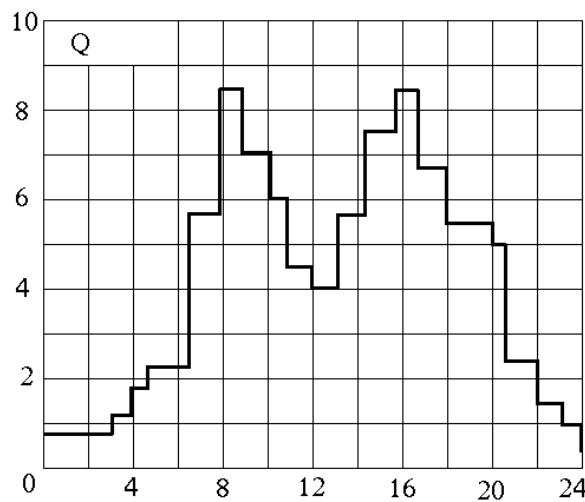
Ідентифікація розглядуваної МС як об'єкту управління здійснюється за допомогою вимірювальних перетворювачів тисків та потоків. Як перетворювачі тисків використовуються перетворювачі, що мають похибку виміру 1,5% та час встановлення сигналу від 0,5 с до 2,5 с.

Вимір потоків в розглядуваній ММ реалізується за допомогою електромагнітного перетворювача потоків, похибка виміру якого складає 1%, а типовий час встановлення вихідного сигналу – від 0,6 с до 2,3 с.

Кожна з РМ, підключених до розглядуваної ММ, характеризується наступними основними властивостями та параметрами.

Довжина розглядуваної РМ знаходиться в межах від декількох десятків до декількох сотень метрів. Ділянками РМ є сталеві труби діаметром від 50 мм до 100 мм.

Дана РМ не містить АЕ, у якості ПЕ використовуються вентиля, що знаходяться на ділянках, інцидентних як ММ, так і СЦП.



**Рис. 1.** Погодинний графік водоспоживання з ММ системи сільськогосподарського водопостачання.

При цьому швидкості руху води на ділянках РМ складають від 0,7 м/с до 1,4 м/с, а напори можуть досягати 60 м.

Через складність процесів водоспоживання з РМ, обумовленої, зокрема, суб'єктивними чинниками, пов'язаними із споживачами цільового продукту, їхнє статистичне моделювання у вигляді відповідних графіків не робиться.

Також не робиться ідентифікація даних РМ як об'єктів управління.

### Висновки

Зазначені найважливіші характерні властивості та особливості окремих ЛМ різного рівня ієрархії можуть бути використані для постановки відповідних локальних задач (ЛЗ) та вибору адекватних локальних алгоритмів (ЛА) їхньої реалізації.

Зокрема, отримані результати використані при синтезі керуючих алгоритмів ММ зрошувальних систем.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Леві Л.І. Оперативне управління інженерними мережними системами: Монографія. – Луганськ: Вид-во СЛУ, 2001. – 176 с.
2. 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.
3. Айрапетян Т.С. Конспект лекцій з дисципліни «Міські інженерні мережі» (для студентів 1–3 курсів денної та заочної форм навчання спец. 192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – 97 с.
4. Автоматизація проектування та розрахунків водогосподарсько-меліоративних об'єктів: навч. посібник / за ред. проф. А.М. Рокочинського. [Електронне видання]. – Рівне: НУВГП, 2020. – 257 с.

Received (Надійшла) 27.12.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.02.2025

### Conceptual model of hierarchical organization of engineering network systems

L. Lievi, O. Zyma

**Abstract.** Due to the commonality of a number of characteristic properties and features, which, in particular, are the functional purpose, topological structure, flow distribution models, as well as management tasks, methods and algorithms, agricultural water supply systems, as well as irrigation systems, can be attributed to the class of hierarchically organized engineering network systems (ENS). Based on the analysis of existing and designed ENS, it can be concluded that such objects can be decomposed into separate local networks (LN) of different hierarchy levels, which are interdependent and interact with each other in the process of functioning. At the same time, real ENS at the highest level of the hierarchy as LN contain backbone networks (BN), to which LNs of lower hierarchy levels are connected - distribution networks (DN). The LNs of the lowest hierarchy level - networks of consumers of the target product (NCTP) are connected to the LN of the penultimate hierarchy level. They are directly connected to the consumers of the target product (CTP), which ultimately consume the target product (TP), water, from the considered hierarchically organized ENS [1, 2]. The functional purpose of the BN is the consumption of TP from sources external to the ENS, its transportation and redistribution between the DNs connected to the considered BN. The functional purpose of the DN is the consumption of TP from the BN to which this DN is connected, its transportation and redistribution between the NCTPs connected to this DN. The functional purpose of the NCTP is the consumption of TP from the DN to which this NCTP is connected, its transportation and redistribution between the CTPs connected to this NCTP. Due to stochastic changes in the modes of TP consumption by individual NCTP s, the implementation of the operational management processes of the ENS is necessary to create acceptable conditions for their functioning.

**Keywords:** engineering network systems, local networks, backbone networks, distribution networks, networks of consumers of the target product, target product, consumers of the target product.