

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СТРУКТУРИ ДІЮЧОЇ ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ

**Вступ.** У теорії надійності розглядаються наступні поєднання елементів у структуру – послідовне, паралельне та мішане. Водопровідні мережі за таким поділом можна класифікувати як: розгалужені мережі, які мають послідовне поєднання ділянок; водогони у дві і більше ниток (без перемикачів) мають паралельне поєднання ділянок; кільцеві мережі та водогони у дві і більше ниток з перемикачами мають мішане поєднання ділянок. У процесі експлуатації систем водопостачання виникають задачі підвищення надійності мереж, що може бути виконано шляхом удосконалення існуючої структури мережі.

Огляд останніх досліджень і публікацій. У теорії надійності доведено, що мішана структура не може бути представлена ні послідовно-паралельним, ні паралельно-послідовним поєднанням елементів. І якщо для розрахунку надійності вказаних структур в теорії надійності розроблені ефективні методи, то для мішаної структури такі методи потребують подальшого розроблення. Класичні роботи з надійності систем водопостачання [1,2] окреслили шляхи вирішення проблеми надійності окремих споруд. Проте конкретні результати були отримані або для достатньо простих випадків, або рішення були надто складними для застосування в практиці експлуатації водопровідних мереж. В роботі [3] запропоновано розділити питання проектування водопровідних мереж на оцінювання надійності трасування мережі та гідравлічні розрахунки мережі. Проте рішення з надійності були отримані для достатньо простих схем мереж.

Постановка завдання – потрібно використати метод оцінювання надійності структури мережі та показати можливість підвищення надійності структури діючої магістральної водопровідної мережі на прикладі м. Полтава.

**Результати дослідження.** Структура водопровідної мережі – це стійка упорядкованість у просторі споживачів та джерел водопостачання, які зв'язані між собою трубопроводами. У такому представленні деякій кількості споживачів відповідають вузли мережі, а зв'язкам між вузлами – ділянки труб. Водопровідна мережа, як будь-який технічний об'єкт, має таку важливу властивість як надійність, а для розрахунку надійності обов'язкове введення поняття «відмова». Процес функціонування мережі у часі ділиться на два потоки випадкових подій: послідовних випадкових інтервалів часу роботи і послідовних випадкових інтервалів часу відновлення. Тоді відмова мережі – це миттєвий перехід із робочого (працездатного) стану в неробочий (непрацездатний).

Працездатним станом буде такий, коли існує покривне дерево мережі, тобто усі вузли мережі поєднані між собою, а це означає, що до всіх споживачів доходить вода. Непрацездатним станом буде такий, коли покривного дерева не існує і в цьому випадку не всі вузли мережі з'єднані між собою. У такий спосіб усі стани структури мережі можна поділити на дві множини – працездатні стани (покривне дерево існує) і непрацездатні стани (структура незв'язна). Імовірність існування кожного стану визначається за формулою Я. Бернуллі, яка при однаковій надійності ділянок дозволяє отримати аналітичний вираз, що характеризує надійність структури [4]. Показником надійності може бути ймовірність безвідмовної роботи або коефіцієнт готовності. Тоді надійність структури кільцевої водопровідної мережі описується функцією у вигляді полінома

$$R = a_1 r^p + a_2 r^{p-1} + \dots + a_n r^{p-n+1} + T r^{p-n}, \quad (1)$$

де  $p$  – число ділянок структури;  $n$  – число кілець структури;  $T$  – число покривних дерев структури;  $a_i$  – коефіцієнти полінома.

## БУДІВНИЦТВО

Коефіцієнти  $a$  дорівнюють числу розкладення структури на елементи без кілець [4]. Визначення залежності (1) реалізовано в комп'ютерній програмі [5]. Для кожної структури можна знайти у поліномі (1) таке значення  $r$ , коли надійність структури мережі дорівнює надійності її ділянок  $R=r=r_{zp}$ . Це значення прийнято граничною надійністю ділянки. Чим менше значення  $r_{zp}$ , тим суттєвішим є вплив топології структури на її надійність і відповідна структура буде найкращою, тому що при однакових значеннях  $r$  саме така топологія дає найбільшу надійність.

Проаналізуємо шляхи підвищення на-

дійності структури магістральної водопровідної мережі м. Полтава (рис. 1). Номери ділянок та вузлів мережі показані у колах, чорними крапками – точки поділу мережі на окремі райони. Виконаємо кільцювання мережі в зоні 1-го водозабору (рис. 2, а). Після поєднання ділянок 68 і 70 шляхом відкриття відповідних засувок число працездатних станів структури збільшилося з 5-ти до 23, число всіх станів – до 128. Точка граничної надійності 0,8286. Надійність структури підвищилася на 17,1% за рахунок кільцювання ділянками 70 і 71. Рівняння надійності нової структури  $R=9r^7-23r^6+15r^5$ . (2)

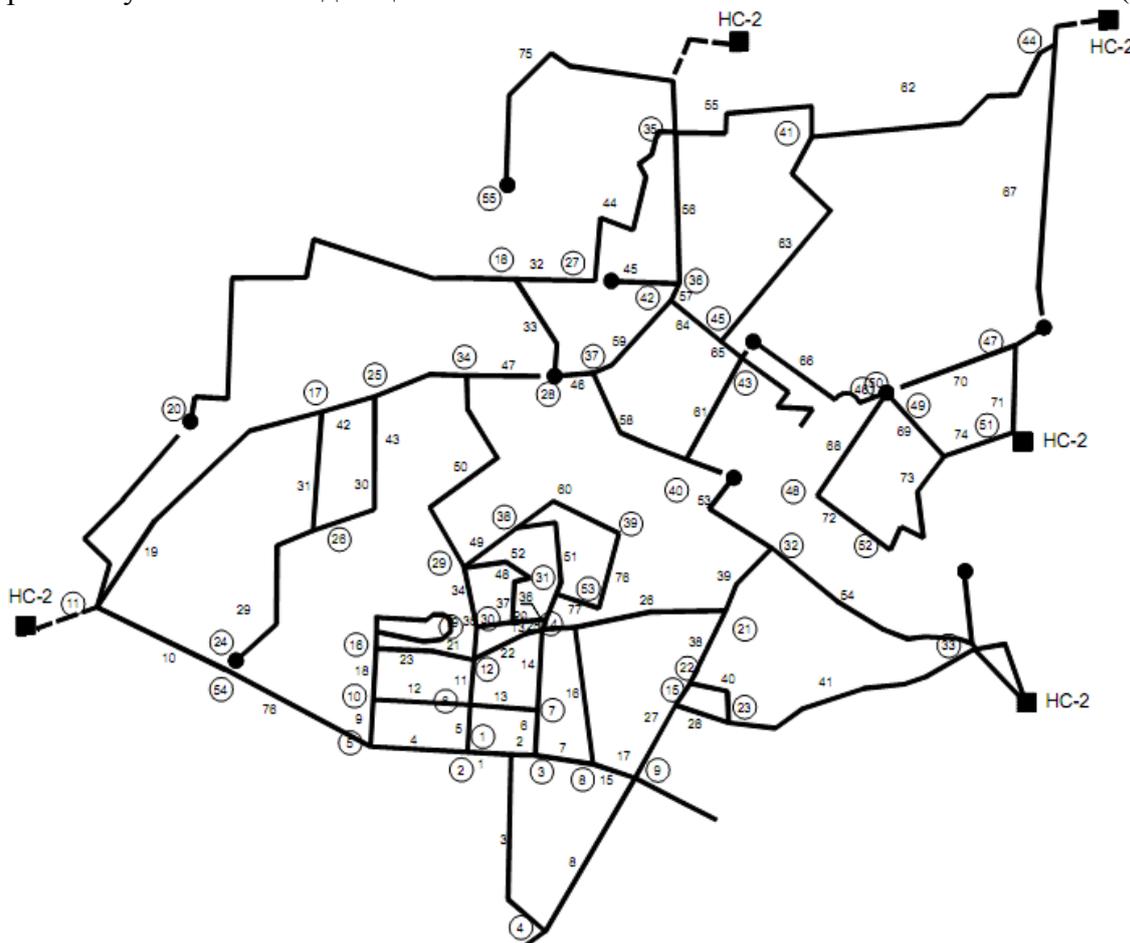


Рис. 1. Структура магістральної водопровідної мережі м. Полтава

Підвищимо надійність структури мережі в зоні 3-го і 5-го водозаборів шляхом відкриття засувок (поєднання) ділянок 32 і 45 (рис. 3, а). Характеристики нової структури мережі: число ділянок 13, кілець 4, число вузлів 10.

Рівняння надійності нової структури  $R=130r^{13}-627r^{12}+1142r^{11}-932r^{10}+288r^9$ . (3)

Число працездатних станів зросло до

597, число всіх станів структури 8192. Надійність підвищилася на 5,66% за рахунок поєднання ділянок 32 і 45.

Для зони 2-го і 4-го водозаборів прокладемо нову ділянку між вузлами 14 і 41 (рис. 4). Структура мережі буде мати нові геометричні характеристики: число ділянок  $p=36$ , кілець  $n=14$ , число вузлів  $m=23$ . Формула надійності структури мережі має вигляд полінома 36-го степеня

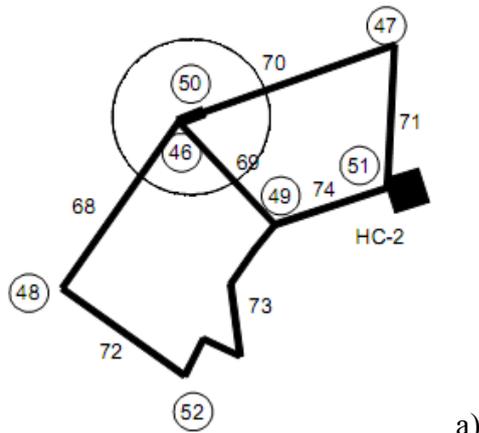


Рис. 2. Структура мережі (а) та графік функції надійності (б) для зони 1-го водозабору після підвищення надійності

$$R = 1377600r^{36} - 23766480r^{35} + 190685976r^{34} - 943161124r^{33} + 3213174054r^{32} - 7976876250r^{31} + 14883087289r^{30} - 21203375407r^{29} + 23181364598r^{28} - 19357044277r^{27} + 12154316691r^{26} - 5565710625r^{25} + 1757369045r^{24} - 342545465r^{23} + 31104376r^{22}. \quad (4)$$

Значення граничної надійності ділянки  $r_{гп} = 0,8776$  (рис. 4). Число всіх станів 68719476736, з них число працездатних станів 540433088, число граничних працездатних станів (покривних дерев) 31104376. Після уведення даної ділянки надійність збільшилась на 2,25 %.

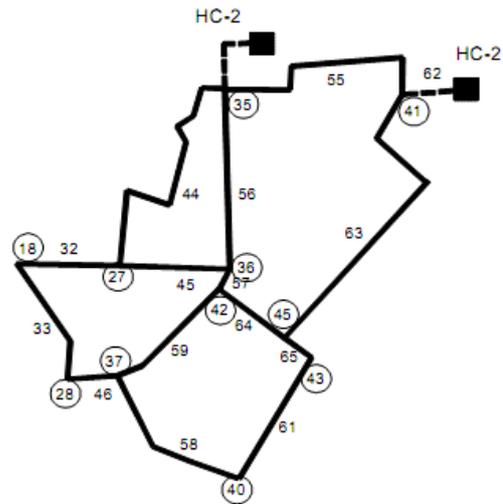


Рис. 3. Структура мережі (а) та графік функції надійності (б) для зони 3-го та 5-го водозаборів після підвищення надійності

**Висновки.** Розрахунки надійності структури магістральної водопровідної мережі м. Полтава у зонах дії п'яти водозаборів показують, що існують можливості підвищення надійності цієї структури.

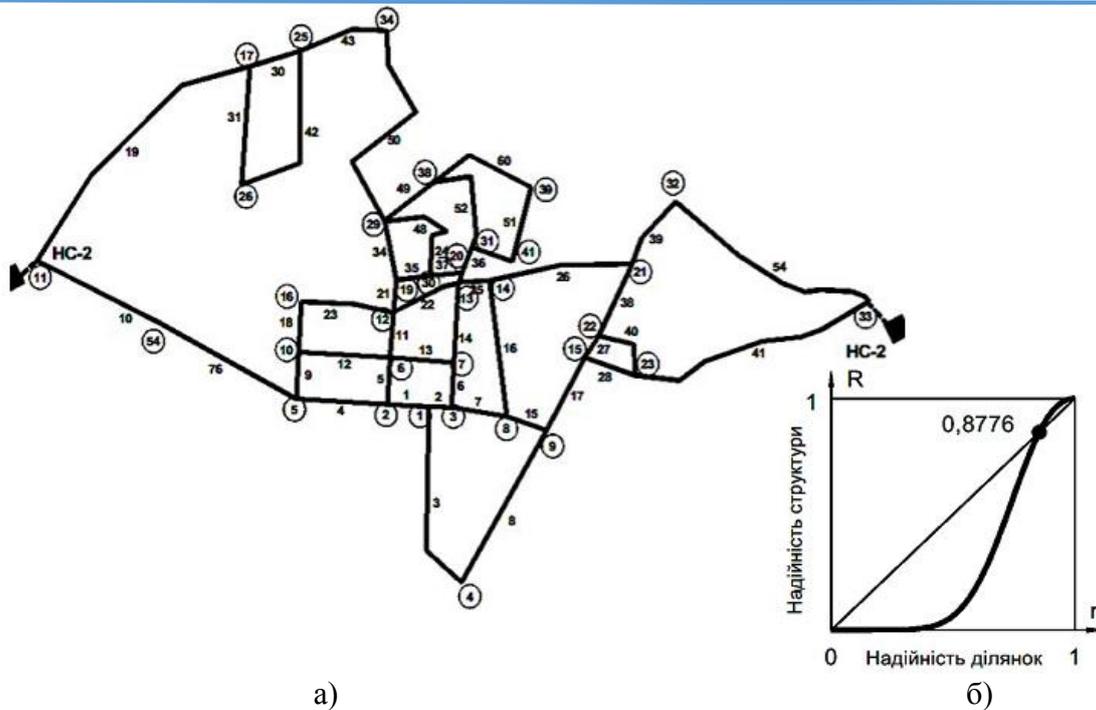


Рис. 4. Структура мережі (а) та графік функції надійності (б) для зони 2-го і 4-го водозаборів після підвищення надійності

ЛІТЕРАТУРА:

1. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения / Н.Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1979. – 231 с.
2. Ильин Ю.А. Расчет надежности подачи воды / Ю.А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1987.-320 с.
3. Новохатній В.Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 05.23.04 – водопостачання, каналізація / В.Г. Новохатній. – К.: КНУБА, 2012. – 32 с.
4. Райншке К. Оценка надежности систем с использованием графов / К. Райншке, И.А. Ушаков. – М.: Радио и связь, 1988. – 209 с.
5. Усенко В.Г. Алгоритм побудови множини станів структури комунікаційної мережі / В.Г.Усенко // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 85 – К.: КНУБА, 2010. – С.216-220.

УДК 691.327

Сопов В.П., Долгий В.П., Ткачук А.Л.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

**ПРОБЛЕМА СОВМЕСТИМОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ЦЕМЕНТОВ**

В настоящее время практически невозможно представить строительство без бетона. Вот уже много десятилетий он по праву занимает лидирующее место среди строительных материалов. При этом происходит постоянное его развитие, сопровождающееся улучшением технологических и эксплуатационных свойств, повышением долговечности и стойкости к внешним аг-

рессивным воздействиям. В процессе совершенствования свойств бетона появляются новые виды бетонов, получение которых невозможно простым перемешиванием смеси цемента, воды, песка и щебня. Здесь определяющая роль отводится химическим и минеральным добавкам – модификаторам свойств бетонов [1-4].

Все в больших объемах обычные бетоны замещаются многокомпонентными