



Добровольська О. Г.,  
Українець М. О.

## ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ З ОПТИМІЗАЦІЇ ПОТОКОРОЗПОДІЛУ У ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ

*Представлені результати перевірки адекватності математичної моделі потокорозподілу в реальному часі на прикладі розрахунку фрагменту мережі житлового мікрорайону міста Запоріжжя. Запропоновані рекомендації з практичного використання інформації про фактичні витрати в ділянках мережі для оптимізації потокорозподілу на стадії проектування і реконструкції водопровідних мереж.*

**Ключові слова:** потокорозподіл, математична модель, контрольні вузли, фактичні витрати, вимірювання тисків.

### 1. Вступ

Якщо розглядати водопровідну мережу як об'єкт регулювання, то основною метою зміни її параметрів є задоволення вимог споживачів, що безперервно змінюються, тобто безперебійне і надійне постачання водою в необхідній кількості під необхідним тиском. Ця задача повністю відповідає основним напрямкам розвитку житлово-комунального господарства, викладеним у законі України «Про Загальнодержавну програму реформування розвитку житлово-комунального господарства на 2009–2014 роки». Оптимізація потокорозподілу у водопровідних мережах, що повинна проводитись на основі результатів гідравлічних розрахунків, є одним із головних підходів щодо вирішення проблеми вдосконалення роботи систем водопостачання в Україні [1]. Цим обґрунтовується актуальність даної роботи.

### 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Основою оптимізації потокорозподілу є моделювання стану роботи водопровідних мереж. На сьогодні розроблені методики побудови таких моделей [2–4]. Але навіть при наявності повної інформації щодо параметрів систем подачі і розподілу води побудувати адекватну модель важко через її розмірність та складність отримання і обробки вихідних даних. Тому застосування математичних моделей, що враховують реальні умови водоспоживання, та виконання гідравлічних розрахунків на їх основі є актуальним питанням на протязі всіх етапів оптимізації потокорозподілу.

Відомий метод поетапної корекції [5], що застосовується для параметричної ідентифікації мереж, вимагає первісного гідравлічного розрахунку мережі за схемою з визначеними вузловими витратами й опорами, порівняння розрахованих п'єзометрів з фактичними. Незважаючи на нескладність, метод має слабку формалізацію та вимагає певної навички інженерів. Крім того, при розрахунку водопровідних мереж припущення щодо нульового тиску води при аварії на діючій мережі є помилковим [6]. Ідентифікація параметрів математич-

них моделей мереж з магістралями значної довжини виконується за методом «математичний витратомір» [5]. Ідея методу полягала в застосуванні даних багаторазових манометричних зйомок при різних режимах роботи мереж для одержання системи лінійних рівнянь, що описують потокорозподіл в мережі.

На сьогодні при управлінні роботою водопровідних мереж застосовуються програмні продукти, орієнтовані на формування вихідних даних шляхом імпортування файлів з існуючих геоінформаційних систем [7, 8]. Але при цьому складно забезпечувати адекватність моделей мереж великої протяжності. Розрахунки, що виконуються за методом двохконтурного управління [9], дають можливість аналізувати роботу діючих мереж та встановлювати зони витоків, але автор рекомендує застосовувати метод для фрагментів мережі, що включають труби великих діаметрів, а для отримання вихідних даних проводити виміри витрат води і напорів на виході насосних станцій, та виміри напорів у вузлах вибраного фрагменту. Головним обмеженням практичного здійснення цього методу є технічні можливості обладнання вузлів, в яких вимірюється тиск.

Для подолання труднощів при визначенні фактичних витрат в ділянках мережі, було удосконалено математичну модель потокорозподілу для визначення витрат на ділянках мережі в умовах реального часу з урахуванням значень тиску, вимірюваного в контрольних вузлах, та розроблено програмний модуль для розрахунку фактичних витрат в ділянках на основі оперативного вимірювання тисків в окремих вузлах [10].

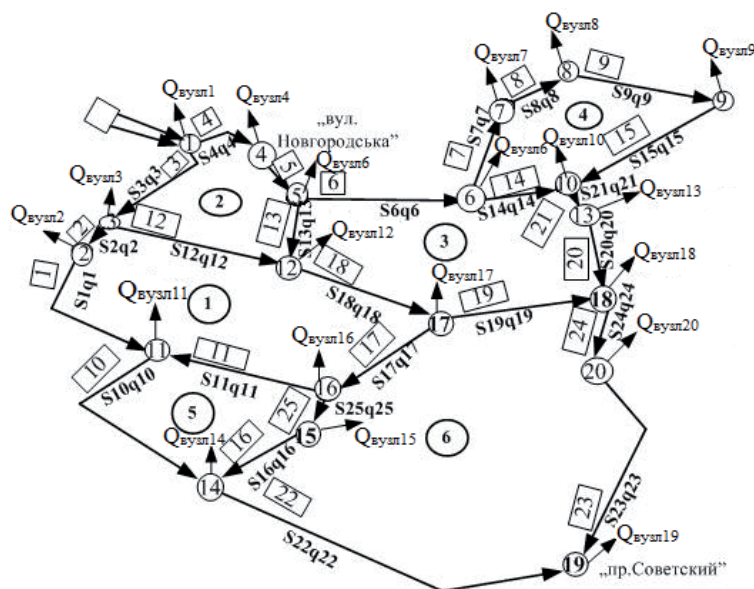
Метою проведених досліджень була перевірка адекватності удосконаленої моделі та обґрунтування практичного використання інформації про фактичні витрати в ділянках мережі для оптимізації потокорозподілу на прикладі реальної водопровідної мережі одного із житлових районів м. Запоріжжя.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- встановити адекватність результатів натурних досліджень теоретичним;
- розробити рекомендації з оптимізації потокорозподілу на основі застосування інформації про фактичні витрати в ділянках мережі.

### 3. Практичні аспекти використання інформації про фактичні витрати в ділянках мережі для оптимізації поточкорозподілу

**3.1. Перевірка адекватності теоретичних досліджень інструментальним вимірам.** В результаті виконання гідравлічних розрахунків мережі із використанням програми GIDRAST  $\Delta h$  [10] отримані значення її параметрів, що є фактичними на момент вимірювання тисків в контрольних вузлах. Отримані результати були порівняні з результатами інструментальних замірів параметрів контрольних вузлів та проаналізовані з метою здійснення оптимального поточкорозподілу. На рис. 1 приведена схема водопровідної мережі Хортицького мікрорайону м. Запоріжжя.



**Рис. 1.** Розрахункова схема водопровідної мережі:  $\bigcirc$  — вузли; — — водопровідні вузли;  $\square$  — насосна станція; 1–6 — номери кілець вихідної мережі; 14, 19 — вузли вимірювання тисків; S1–S25 — опори ділянок; q1–q25 — витрати води на ділянках,  $Q_{\text{вузл}1}$  — вузлові витрати

На першому етапі було виконано збір вихідних даних по Хортицькому мікрорайону (м. Запоріжжя). Для складання розрахункової схеми водопровідної мережі Хортицького мікрорайону, яка показана на рис. 1, використано існуючий план водопровідної мережі міста, який було уточнено з провідними спеціалістами КП «Водоканал» (м. Запоріжжя).

На другому етапі були визначені розрахункові витрати для трьох режимів водоспоживання Хортицького району, для кожного із вузлів схеми мережі визначені вузлові витрати відповідно для кожного із розрахункових режимів.

На третьому етапі були виконані гідравлічні розрахунки водопровідної мережі Хортицького мікрорайону для різних режимів водоспоживання із врахуванням значень тисків, заміряних в контрольних вузлах «вул. Новгородська», «пр. Советский». Математична модель, за якою було виконано розрахунки, складається із 20 вузлів, зв'язаних 25 ділянками, що утворюють 6 кілець. При цьому відомими вважалися: 25 гідравлічних опорів  $S_i$  ділянок, 20 вузлових відборів  $Q_{\text{вузл}j}$ .

Математична модель включає:

а) 20 рівнянь типу (згідно із першим правилом Кірхгофа):

$$\sum_{j=1}^{m_j} q_{ij} + Q_{\text{вузл}j} = 0, \quad (1)$$

де  $q_{ij}$  — витрати на  $i$ -тій ділянці, що прилягають до  $j$ -го вузла;  $m_j$  — кількість ділянок, що прилягають до  $j$ -го вузла;

б) 25 рівнянь, що описують втрати напорів на ділянках:

$$h_i = s_i \cdot q_i^2. \quad (2)$$

в) 6 рівнянь типу (аналогічно другому правилу Кірхгофа):

$$\sum_{i=1}^{m_k} h_{ik} = 0, \quad (3)$$

де  $h_{ik}$  — втрати напору на  $i$ -ділянці, яка входить у  $k$ -те кільце;  $m_k$  — кількість ділянок у кільці.

г) при обмеженнях:

$$\begin{aligned} \Delta h_{\text{вим.}j-S} &= \sum_{s=1}^n \Delta P_{j-s} = \\ &= |P_2 - P_1| - |P_2' - P_1'| \leq \varepsilon, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $n$  — кількість вузлових пар, в яких вимірюється тиск;  $P_2, P_2', P_1, P_1'$  — п'єзометричні позначки у вузлах, визначені за розрахунком та за результатами виміру тиску відповідно;  $j, S$  — номери вузлів, в яких вимірюється тиск;  $\varepsilon$  — припустима нев'язка на шляху вимірювання.

При виконанні розрахунків за програмою GIDRAST  $\Delta h$  на кожному етапі ув'язки визначається перепад тисків між вузлами вимірювання та порівняння їх з отриманими інструментально. Якщо ця умова не виконується, втрати напору розподіляються між всіма ділянками на шляху вимірювання так, як і в методі Лобачова [11], після чого виконується ув'язка. Якщо досягти умов ув'язки при 15 циклах наближення не вдається, збільшується допустимий перепад напорів між вузлами вимірювання на 0,1 м, і цикл наближення повторюється. За результатами розрахунків були визначені п'єзометричні позначки у вузлах мережі відносно насосної станції. У табл. 1 приведені результати порівняння параметрів контрольних вузлів  $P_{\text{вим.}}$ , виміряних інструментально, з параметрами, отриманими за розрахунком  $P_{\text{роз.}}$ .

В цілому результати гідравлічних розрахунків за допомогою програми GIDRAST  $\Delta h$ , що враховує значення тисків в контрольних вузлах, відповідають виміряним значенням.

Таблиця 1

Результати порівняння розрахунків з інструментальними замірами

Назва режиму	Розрахункова витрата, л/с	Показники тиску, м						Перепад п'єзометрів, м
		Хортицька насосна станція		Вузол «вул. Новгородська»		Вузол «пр. Советский»		
		За розрахунком	За виміром	За розрахунком	За виміром	За розрахунком	За виміром	
Максимальний	320	32,0	32,0	34,5	34,8	38,04	38,2	1,4
Мінімальний	104,75	30	30	32,55	33,0	38,6	38,9	3,8
Нічний	138,9	30	30	32,5	32,7	38,19	38,4	3,25

**3.2. Рекомендації по застосуванню інформації про фактичні витрати в ділянках мережі для оптимізації потокорозподілу.** Після введення в експлуатацію нових житлових будинків в більшості випадків не виконується гідравлічний перерахунок мереж мікрорайонів. Але приєднання окремих будинків змінює загальну схему розподілу потоків. Для врахування таких змін необхідна інформація про фактичні витрати в ділянках мережі. Для того, щоб забезпечити диспетчеру можливість оперативного визначення гідравлічних характеристик мережі необхідно:

1. Підготувати вихідні дані для проведення розрахунків за програмою GIDRAST  $\Delta h$ , які залишаються в незмінному стані, поки зберігається початкова структура мережі. До них відносяться параметри ділянок мережі (форма табл. 2), кількість напрямів вимірювання тисків: кількість вузлових пар  $n$ , перепад п'єзометричних позначок  $\Delta P$  у вузлах вимірювання тиску, номери ділянок ( $N_{\text{дл}}$ ), які знаходяться на шляху між вузлами вимірювання тиску, вказується припустима похибка ув'язки  $e$ , максимально можлива нев'язка між заданими п'єзометричними позначками у вузлах  $e1$ , кількість кілець  $nk$ , кількість ділянок  $ny$ , параметри ділянок. Вихідна розрахункова схема виконується для режиму максимального водоспоживання.

2. Результати вимірювання тисків у вузлах мережі ввести за допомогою підпрограми корегування інформації. Рекомендується виконувати такі корегування в години максимального, мінімального та середнього водоспоживання.

3. Проаналізувати отримані результати. Якщо вирішується задача термінового перерозподілу потоків, треба співставити витрати та втрати напору на ділянках в годину максимального водоспоживання з їх значеннями, отриманими при розв'язанні конкретної проблеми (надходження скарги споживачів про відсутність

води, недостатній напір, витік) або при фіксації диспетчером різкої відмінності контролюємих параметрів від їх нормативних значень, тощо. В результаті встановлюються пошкоджені ділянки, приймаються рішення про перерозподіл потоків.

#### 4. Висновки

В результаті проведених досліджень:

1. Порівняння результатів розрахунків мережі житлового району, виконаних з урахуванням тисків, заміряних в контрольних вузлах, з інструментальними вимірами підтвердило адекватність запропонованої математичної моделі потокорозподілу в реальній мережі.
2. Запропонована методика оперативного визначення гідравлічних характеристик мережі.
3. Використання диспетчерськими службами інформації про фактичні витрати в ділянках мережі полегшує оптимізацію потокорозподілу в ній. Результати таких розрахунків необхідні при проектуванні, реконструкції існуючої водопровідної мережі та аналізу змін опору ділянок у часі.

#### Література

1. Кравченко, В. А. Основные подходы в решении проблем реформирования и развития предприятий водопроводно-канализационного хозяйства Украины [Текст]: зб. доп. / В. А. Кравченко // Екологія, технологія, економіка водопостачання та каналізації: міжнар. конгрес ЕТЕВК-2001, 22–26 трав. 2001 г. — Ялта, 2005. — С. 72–79.
2. Рябенко, И. Н. Моделирование процессов потокораспределения в системах подачи и распределения воды с использованием ПЭВМ [Текст] / И. Н. Рябенко. — Харьков: Основа, 1998. — 188 с.
3. Ткачук, О. А. Моделирование водорозбору при расчетах систем подачи и розподілу води [Текст] / О. А. Ткачук // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. — Рівне: РДТУ, 2000. — Вип. 25. — С. 128–134.
4. Гузынин, А. И. Сравнительный анализ моделей водопотребления населенных пунктов [Текст] / А. И. Гузынин, А. А. Гузынин // Коммунальное хозяйство городов. — 2011. — Вып. 97. — С. 117–126.
5. Эгильский, И. С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами подачи и распределения воды [Текст] / И. С. Эгильский. — Л.: Стройиздат, 1988. — 215 с.
6. Петросов, В. А. Управление региональными системами водоснабжения [Текст] / В. А. Петросов. — Харьков: Основа, 1999. — 320 с.
7. Трильовська, М. Використання гідравлічної моделі EPANET у м. Львові [Текст]: міжнар. конгрес ЕТЕВК-2001, 22–26 трав. 2001 г. / М. Трильовська, М. Кузан // Екологія, технологія, економіка, водопостачання та каналізації. — 2001. — С. 23–25.
8. Кушка, О. WATERCAD — програма для проектування та оптимізації водопровідних мереж [Текст] / О. Кушка // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. — 2003. — № 1. — С. 63–71.

Таблиця 2

Загальні відомості

№ ділянки	Код ділянки	Довжина $l_y$ , м	Витрата $q_l$ , л/с	Діаметр $d$ , мм	Матеріал трубопроводів $m$	Назва району	Режим	$e$	$e1$	$nk$	$ny$	$n$	$\Delta P$	№ $n_{\text{дл}}$
1	1-0	1100	53,00	400	Чавун	Хортицький	Максимальний	0,01	05	6	25	3	1,4	5, 13, 18, 19, 24
2	1-0	250	60,80	800	Чавун		Мінімальний	0,01	05	6	25		3,8	5, 13, 18, 19, 24

9. Петросов, В. А. Устойчивость водоснабжения [Текст] / В. А. Петросов. — Х.: Фактор, 2007. — 360 с.
10. Добровольська, О. Г. Розробка даних для контролю потоко-розподілу в реальному часі [Текст] / О. Г. Добровольська // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2014. — № 4/1(18). — С. 8–12. doi:10.15587/2312-8372.2014.26232
11. Абрамов, Н. Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды [Текст] / Н. Н. Абрамов. — М.: Стройиздат, 1972. — 287 с.

#### ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

Представлены результаты проверки адекватности математической модели потокораспределения в реальном времени на примере расчета фрагмента сети жилого микрорайона города Запорожья. Предложены рекомендации по практическому использованию информации о фактических расходах в участках сети для оптимизации потокораспределения на стадии проектирования и реконструкции водопроводных сетей.

**Ключевые слова:** потокораспределение, математическая модель, контрольные узлы, фактические расходы, измерение давлений.

*Добровольська Оксана Григорівна, старший викладач, кафедра водопостачання та водовідведення, Запорізька державна інженерна академія, Україна, e-mail: dogoks@gmail.com.*

*Українець Микола Опанасович, кандидат технічних наук, професор кафедри водопостачання та водовідведення, Запорізька державна інженерна академія, Україна.*

*Добровольская Оксана Григорьевна, старший преподаватель, кафедра водоснабжения и водоотведения, Запорожская государственная инженерная академия, Украина.*

*Украинец Николай Афанасьевич, кандидат технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения, Запорожская государственная инженерная академия, Украина.*

*Dobrovol'skaya Oksana, Zaporozhye State Engineering Academy, Ukraine, e-mail: dogoks@gmail.com.*

*Ukrainets Mykola, Zaporozhye State Engineering Academy, Ukraine*

УДК 681.3

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.32875

Попих Н. В.

## ОНТОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ТА НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ОПИСУ ОБ'ЄКТІВ ЖИТЛОВОГО СЕРЕДОВИЩА

*Розглянуто використання онтологій та математичний підхід з використанням нечітких моделей для опису об'єктів житлового середовища з використанням сучасних інформаційних технологій. Параметри житлового середовища систематизовані та ієрархічно впорядковані. Визначені показники зображені у вигляді онтологічної системи, представленої за допомогою інструментального засобу Protégé.*

**Ключові слова:** житлове середовище, оцінка якості, онтологічна модель, нечіткі моделі, матриця знань.

### 1. Вступ

Інформаційні інтелектуальні технології широко використовуються в усьому світі в різних сферах застосування. Оцінка якості об'єктів житлового середовища — проблема неоднозначна, яка полягає в оцінці користувачем ступеня відповідності властивостей об'єкту житлового середовища індивідуальним та суспільним сподіванням, обов'язковим нормам у відповідності з їх призначенням. Якість — не є кількісною характеристикою, яку можна виміряти, і залежить від сукупності визначених критеріїв. Створення інтелектуальної технології оцінки якості об'єктів житлового середовища надасть можливість підвищити ефективність оцінки якості в залежності від потреб користувачів. На сучасному етапі розвитку суспільства вимоги до комфорту житлового середовища підвищуються. Це пов'язано з рівнем благоустрою міста (або певного району), кількість показників якості та вимоги до них зростають. Якість житлового середовища залежить від багатьох параметрів. Враховуються зростаючі потреби населення до архітектурно-естетичних, соціально-культурних, господарчо-побутових, санітарно-гігієнічних умов мешкання. Необхідність розробки методів визначення показників якості об'єктів

житлового середовища за допомогою інформаційних інтелектуальних технологій визначають актуальність даного дослідження та його мету.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Оцінка якості житлового середовища — проблема багатовимірна. В більшості вона розглянута в роботах фахівців з містобудування [1]. У роботі Лісниченко С. В. [2] проведено аналіз методів визначення якості житлового середовища та морального зношення забудови, визначений перелік елементів, що відбивають споживчу якість житлового комплексу.

У роботі Літошенко Г. В. [3] представлено метод класифікації багатоквартирного житла за рівнем комфортності відповідно до призначення. Розроблений у роботі [3] метод класифікації житла за рівнем комфортності базується на створенні ієрархічної системи оцінки якості житла відповідно до призначення: соціальне, приватне, прибуткове житло.

Роботу Шевченко І. О. [4] присвячено розробці методу оцінки якості житлового середовища, що базується на системному підході.