

О. Г. Добровольська

Запорізька державна інженерна академія, Запоріжжя

ПРОГНОЗ ПОТОКОРОЗПОДІЛУ У ВОДОПРОВІДНІЙ МЕРЕЖІ ПРИ ОПЕРАТИВНОМУ КЕРУВАННІ ЇЇ РОБОТОЮ

Запропоновано математичну модель, яка описує розподіл потоків в мережі в реальному часі. Розроблено розрахункову програму, яка дозволяє виконувати гідравлічні розрахунки мережі із врахуванням перепадів тисків, замірених у контрольних вузлах. Для дослідження особливостей роботи програми виконано 230 розрахунків для 11 кільцевих водопровідних мереж. Наведено приклад результатів, отриманих при використанні програми для визначення фактичного поточного розподілу за результатами вимірювання тисків у контрольних вузлах.

Ключові слова: математична модель, фактичні витрати, перепад тисків, контрольні вузли

Актуальність теми. Водопровідні мережі населених міст – складна гідравлічна система, технічні показники роботи якої формуються дією великої кількості факторів. Частина факторів носить імовірний характер, що навіть при нормальному функціонуванні системи вимагає оперативного управління її роботою. У державному законі [1] зазначено, що внаслідок аварійного стану водопровідних мереж загальною довжиною понад 37,2 тис. км та недосконалості діючих будівельних норм та правил об'єм водоспоживання в нашій країні перевищує аналогічні показники розвинутих держав у 1,5-3 рази, втрати в системах водопостачання сягають 30-40 відсотків, а в деяких регіонах перевищує 50 відсотків. При аварії на окремих ділянках мережі оперативний перерозподіл потоків в ній дозволяє суттєво зменшити негативні наслідки аварії. Ефект буде тим вищий, чим термін між початком аварії і прийнятими заходами буде коротшим. В аварійних умовах поточний розподіл може змінюватись не прогнозовано в залежності від ділянки, де відбувається аварія. При цьому скористатися традиційними методами гідравлічного розрахунку неможливо, по-перше, в силу обмеженості часу, і, по-друге, в силу відсутності контролю надійності отриманого результату. Тому необхідно розробити метод, який дозволяв би отримувати оперативну і точно відомості про поточний розподіл в усіх ділянках мережі на основі інструментальних вимірювань в окремих контрольних вузлах, що дозволило б знизити експлуатаційні витрати, покращити якість водозабезпечення споживачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій підтверджує, що в області управління роботою водопровідних мереж вже розроблені та досить відомі розрахункові методи і алгоритми, якими

користуються диспетчерські служби комунальних підприємств як в нашій країні [2-4], так і за її кордоном [5-10]. Складність застосування сучасних методів регулювання потоків у водопровідних мережах на основі комп'ютерної техніки полягає у тому, що вони в основному направлені на оптимізацію систем, працюючих статично, а також систем, які проектуються, крім того, в них не враховується інформація щодо фактичних напорів у вузлах та витрат води в ділянках мережі, що є дійсними на момент вимірювання тисків.

Метою проведених досліджень була розробка математичної моделі, яка б описувала розподіл потоків в мережі в умовах реального часу і дозволяла б оперативно отримувати інформацію в кожному відрізок часу.

Побудова математичної моделі передбачає, що поточний розподіл в мережах змінюється як при нормальній роботі, так і при аваріях. В нормальних умовах поточний розподіл формується під дією фактичних відборів споживачів з мережі. Його характер подібний для кожної доби року (з піками вранці і ввечері), а корегування графіків подачі води диктується змінами відповідних погодинних і добових витрат. Таке корегування вимагає знання поточного розподілу в мережі, але воно не таке критичне, як аварійне. Тому воно виконується, як правило, на основі відомих розрахунків при фіксованих вузлових відборах і відповідному напору та подачі насосних станцій. При цьому поточний розподіл по окремих магістралях не контролюється. В процесі експлуатації це не приводить до значних проблем, тому що коливання водорозбору на протязі годин доби до певної міри являється прогнозованим і в значній мірі визначається досвідом диспетчера.

Кожна диспетчерська служба комунальних підприємств при нормальній роботі системи забезпечує розв'язання двох основних задач:

- забезпечення всіх споживачів необхідною кількістю води при необхідному напорі;
- забезпечення оптимальної роботи системи подачі і розподілу води.

В аварійних умовах диспетчерська служба організує зменшення зон недостатніх напорів і безаварійну роботу окремих елементів системи подачі та розподілу води. Ця робота буде найбільш ефективною у випадку, коли диспетчер матиме оперативну інформацію про розподіл потоків в магістралях мережі в кожний момент. Отримувати таку інформацію можна, якщо оперативно одержувати дані про реальні тиски в характерних точках мережі і обробляти їх за короткі реальні проміжки часу.

Для прийняття оптимального рішення при оперативному керуванні роботою водопровідної мережі диспетчер повинен мати детальну інформацію про її стан в кожний відрізок часу. З цією метою на мережі передбачаються відповідні елементи, які дозволяють отримувати таку інформацію. В сучасних умовах, як правило, ведеться контроль напорів в характерних точках мережі, витрат води і тисків на насосних станціях та витрат на деяких напірних магістралях.

Контроль тисків в різних точках мережі організувати просто. Контролювати розподіл потоків в окремих магістралях і окремих ділянках мережі значно складніше як в силу реалізації інструментальних вимірювань та передачі інформації в диспетчерський пункт, так і ступеня інформативності величини витрат в окремих ділянках. Разом з тим, маючи повну картину розподілу потоків в мережі і витрат води в окремих її ділянках, диспетчеру простіше керувати її роботою. Для цього треба створити систему, яка дозволяла б це зробити.

Основою розробки такої системи може бути математична модель, яка б описувала розподіл потоків в мережі в умовах реального часу.

Гідравліка розподілу потоків в загальному вигляді описується відомими залежностями

$$\sum Q_{\text{доц}} = 0, \tag{1}$$

$$\sum h_k = 0 \tag{2}$$

де $\sum Q_{\text{доц}}$ - алгебраїчна сума витрат в кожному вузлі мережі, л/с;

$\sum h_k$ - алгебраїчна сума втрат напорів в кожному кільці.

Система рівнянь (1-2) з її «прив'язкою» до реальної поверхні землі описує деяку віртуальну

поверхню [11], показану на рис. 1, яку в окремих точках можливо контролювати за допомогою манометрів, виходячи із залежності

$$\dot{I}_s = Z_i + H_i, \tag{3}$$

де \dot{I}_s - п'езометрична позначка в і-тій точці, м;

Z_i - абсолютна позначка в і-тій точці, м;

H_i - вільний напір в і-тій точці, м.

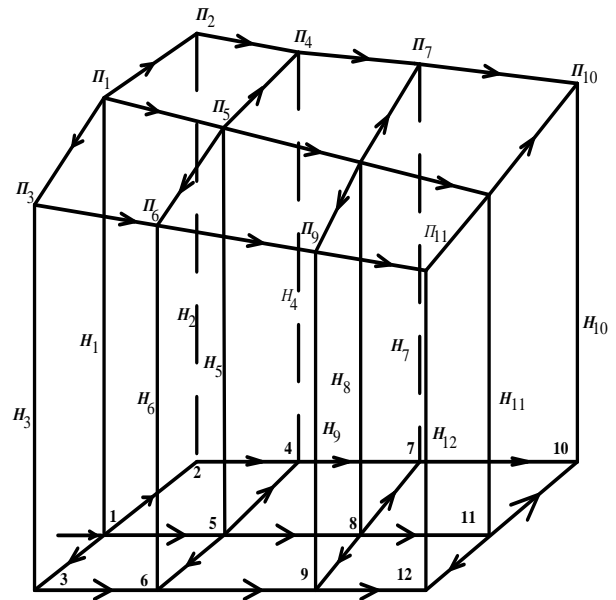


Рис. 1. Формування п'езометричної поверхні при розподілу води мережею міста

$\dot{I}_1 - \dot{I}_{12}$ - пезометричні позначки; $H_1 - H_{12}$ - вільні напори.

Вільний напір вимірюється манометром, встановленим в і-тій точці:

$$H_i = \frac{P_i}{\rho \times g}, \tag{4}$$

де P_i - показання манометра в і-тій точці;

ρ - густина рідини, кг/м³;

g - прискорення вільного падіння, м/с².

Втрати напору між точками вимірювання визначаються залежностями

$$h_{i-k} = \dot{I}_s - \dot{I}_k, \tag{5}$$

або

$$\begin{aligned} h_{i-k} &= \frac{D_s}{\rho \times g} - \frac{D_k}{\rho \times g} + Z_i - Z_k = \\ &= \frac{\Delta D_{s-k}}{\rho \times g} \pm \Delta Z_{i-k}, \end{aligned} \tag{6}$$

де s та k - початкова та кінцева точки вимірювання.

Враховуючи, що втрати напору на ділянці $i - k$ будуть мати місце при витратах, які описуються рівняннями (1-2), кінцева задача формулюється так: знайти, при яких витратах в ділянках мережі перепад тисків між вузлами контролю буде дорівнювати вимірюваному, тобто

$$h_{\delta i \zeta \delta} = h_{\alpha \delta i} , \quad (7)$$

де $h_{\delta i \zeta \delta}$ - розрахунковий перепад тисків між вузлами контролювання, м;

$h_{\alpha \delta i}$ - вимірний перепад тисків між цими вузлами, м.

Вид віртуальної поверхні однозначно описується системою рівнянь (1-2). Координати цієї поверхні в точках вимірювання задовольняють системі рівнянь (1), а перепади між п'єзометричними позначками будуть дорівнювати втратам напору між відповідними точками.

Задача буде мати однозначне рішення, оскільки при відомих діаметрах кількість невідомих витрат буде дорівнювати кількості рівнянь, що описують поточкорозподіл за результатами вимірювання. Її можна розв'язати методом ітерації при перерозподілу потоків в ділянках мережі до виконання умови:

$$\Delta h = h_{\delta i \zeta \delta} - h_{\alpha \delta i} \leq \Delta h_{\alpha \delta i} , \quad (8)$$

де $h_{\alpha \delta i}$ - допустимий перепад тиску у вузлах вимірювання, м.

Для розв'язання цієї задачі на ЕОМ розроблена програма *GidrastΔh* [12], спрощена послідовність якої зводиться до наступного:

а) вводяться вихідні дані для ув'язки вихідної мережі: діаметри і довжини ділянок, їх коди та кількість, допустима точність ув'язки, кількість і номери вузлів вимірювань, втрати напорів між кінцевими точками вимірювання, допустима нев'язка між кінцевими вузлами вимірювання;

б) виконується гідравлічна ув'язка мережі;

в) перевіряється виконання умови (8), при цьому ділянкам кілець, які знаходяться на шляху вимірювання присвоюються вимірні втрати напору або їх частина, коли шлях між точками вимірювання великий;

г) якщо умова (8) виконується, розрахунок закінчено;

д) якщо умова (8) не виконується, в усі ділянки мережі вносяться поправки і ув'язка повторюється до виконання умови (8);

є) оцінюється нев'язка між вузлами вимірювання і її чисельна величина виводиться в кінці результату розрахунку.

Для з'ясування особливостей роботи програми було виконано 230 розрахунків для 11 мереж за наступною методикою:

- для кожної кільцевої мережі виконувались гідравлічні розрахунки та визначались п'єзометричні позначки в її вузлах;

- для кожної із схем було промодельовано напрямки вимірювання перепадів тисків між двома вузлами та встановлено значення цього перепаду;

- виконувався повторний гідравлічний розрахунок за програмою *GIDRASTΔh*;

- результати розрахунків, виконані за програмою *GIDRASTΔh*, порівнювались з результатами попереднього гідравлічного розрахунку, а саме виконувалось співставлення значень витрат води і втрат напорів на магістральних ділянках мережі.

Приклад порівняння результатів гідравлічного розрахунку з результатами, виконаними за програмою *GIDRASTΔh* з урахуванням перепаду тисків у вузлах показано в таблиці 1.

В результаті аналізу отриманих результатів встановлено, що при вимірюванні перепаду тисків у вузлах, шлях між якими з'єднується ділянками з однонаправленим рухом води, значення витрат води та втрат напору в ділянках практично не відрізняються.

Висновки. Удосконалення оперативного керування системою транспортування і розподілу води може бути здійснено на основі визначення дійсного поточкорозподілу на ділянках водопровідної мережі за результатами перепаду тисків, заміряних у контрольних вузлах. При цьому замірювання перепаду тисків слід виконувати у вузлах, ділянки між якими мають одно направлений рух води.

Таблиця 1. Результати визначення витрат води на магістральних ділянках у реальному часі за перепадом тиску, заміряного у 4 вузлах мережі

Номер ділянки	Код ділянки	Витрата, л/с		Втрати напору, м	
		розрахункова	за результатами вимірювання тиску	розрахункові	за результатами вимірювання тиску
1	2	3	4	5	6
1	0 - 1	343,11	343,11	1,13	1,13
2	2 - 0	343,11	343,11	1,13	1,13
3	1 - 3	157,37	157,37	0,27	0,27
4	4 - 2	157,37	157,37	0,27	0,27
5	3 - 5	28,51	28,51	0,03	0,03
6	6 - 4	28,51	28,51	0,03	0,03
7	5 - 7	27,51	27,51	0,06	0,06
8	8 - 6	27,51	27,51	0,06	0,06
9	7 - 9	71,34	71,34	1,02	1,02
10	10 - 8	71,34	71,34	1,02	1,02
11	9 - 0	4,17	4,17	0,03	0,03
12	0 - 10	4,17	4,17	0,03	0,03
13	0 - 1	238,11	238,11	0,62	0,62
14	1 - 2	1104,79	1104,79	1,48	1,48
15	2 - 0	238,11	238,11	0,62	0,62
16	0 - 3	290,47	290,47	1,35	1,35
17	3 - 4	685,06	685,06	1,59	1,59
18	4 - 0	290,47	290,47	1,35	1,35
19	0 - 5	213,98	213,98	2,86	2,86
20	5 - 6	523,04	523,04	2,83	2,83
21	6 - 0	213,98	213,98	2,86	2,86
22	0 - 7	136,49	136,49	5,07	5,07
23	7 - 8	363,01	363,01	4,11	4,11
24	8 - 0	136,49	136,49	5,07	5,07
25	0 - 9	101,83	101,83	4,17	4,17
26	9 - 10	114,33	114,33	5,17	5,17
27	10 - 0	101,83	101,83	4,17	4,17

Література

1. Закон України « Про Загальнодержавну цільову програму "Питна вода України" на 2011-2020 роки» (№2455-IV від 03.03.2005).

2. Трильовська М. Використання гідравлічної моделі EPANET у м. Львові [Текст] / М. Трильовська, М. Кузан // Екологія, технологія, економіка, водопостачання та каналізації : міжнар. конгрес ЕТЕВК-2001, 22-26 трав. 2001 г. : зб. доп. – 2001. – С. 23 – 25.

3. Кушка О. WATERCAD – програма для проектування та оптимізації водопровідних мереж / О. Кушка // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2003. – №.1. – С. 63 – 71.

4. Косінов В. П. Вдосконалення водопровідних мереж з урахуванням мінливості критеріїв надійності та економічності в процесі експлуатації [Текст] : автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.04 / НУВГП. – Рівне, 2005. – 20 с.

4. Ткачук , Олександр Андрійович Удосконалення систем подачі та розподілення води населених пунктів [Текст] / О.А. Ткачук. – Рівне: НУВГП, 2008 – 301 с.

5. Butler D. Leakage detection and management. A comprehensive guide to technology and practice in the water supply industry. – Published by Palmer Environmental, 2000. 124 p.

6. Guidance for management of distribution system operation and maintenance: Prepared by Arun K. Deb, et al.; sponsored by AWWA Research Foundation, 2000.

7. Lauer W. C. Water quality in the distribution system. – American Water Works Association (AWWA), 2005.

8. Giustolisi O. New tools for more realistic network simulation and reliability assessments: Water Loss Workshop Event Summanary, 2008

9. Todini E. Leakage losses water distribution networks: Water Loss Workshop Event Summanary, 2008.

10. Water efficient Canada/ House hold guide to water efficiency//СМНС/-Ottawa, Cop:2000/-69 p.

11. Добровольська О. Прогнозування потокорозподілу у водопровідних мережах на основі вимірювання тисків в окремих її вузлах. / О. Добровольська // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – №42 – С. 69-75.

12. Пат. 73512 Україна, МПК G 01 F 1/34. Спосіб визначення витрат рідинних або газових середовищ в ділянках мереж транспортування / Добровольська О.Г.; заявник і власник Запор. держ. інж. Академія. - №и2012 03189 ; заявл. 19.03.2012; опубл. 25.09.2012, бюл. № 18.

Рецензент: д-р техн. наук проф. І.Г. Яковлева, Запорізька державна інженерна академія, Запоріжжя

Автор: ДОБРОВОЛЬСЬКА Оксана Григорівна
Запорізька державна інженерна академія, Запоріжжя, старший викладач кафедри
E-mail-dogoks@gmail.com

**ПРОГНОЗ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ
ПРИ ОПЕРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ ЕЕ РАБОТОЙ**

О.Г. Добровольская

Предложена математическая модель, описывающая распределение потоков в сети в реальном времени. Разработана расчетная программа, которая позволяет выполнять гидравлические расчеты сети с учетом перепадов давлений, измеренных в контрольных узлах. Для исследования особенностей работы программы выполнено 230 расчетов для 11 кольцевых водопроводных сетей. Приведен пример результатов, полученных при использовании программы для определения фактического потокораспределения по результатам измерения давлений в контрольных узлах.

Ключевые слова: математическая модель, фактические расходы, перепад давлений, контрольные узлы

FORECAST OF FLUX IN WATER SUPPLY NETWORK WHILE OPERATIONAL CONTROL OF ITS WORK

O. Dobrovolska

A mathematical model is offered that describes the distribution of flows in the network in a real time and allows you to receive information in each time period . It is shown that the problem of determining actual costs in the areas of network pressure drop measured in the control node has a unique solution. To solve this problem using computer technology clearing program is proposed. This program allows you to perform hydraulic calculations , taking into account changes in network pressures measured in the control sites was proposed. To investigate the features of the program was carried out 230 settlements annular for 11 water networks . An example of the results obtained using the program to determine the actual flux by measuring the pressure in the control sites. The analysis of the results revealed that when measuring the differential pressure at the nodes , the path between which connects areas that have the same direction of water movement , the value of water flow and pressure loss in areas virtually identical. We recommend using the proposed program to determine the actual costs in the areas of network with the operational management of its work.

Keywords : mathematical model, the actual cost , pressure drop , control units