

УДК 628.179.34

**ПРО ОПЕРАТИВНІСТЬ ЛІКВІДАЦІЇ ВИТОКІВ НА
ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ**

**ABOUT THE OPERATIVITY OF LIQUIDATION OF WILDLES
ON WATER CONTROL NETWORKS**

Добровольська О.Г., к.т.н., доц. (ЗДІА, м. Запоріжжя)

Сокольник В.І., к.т.н., професор-консультант (ЗДІА, м. Запоріжжя)

**Dobrovolska, O. G., PhD, associate Professor, (Zaporozhye State
Engineering Academy, Zaporozhye)**

**Sokolnik V.I., PhD, professor-consultant Zaporozhye State
Engineering Academy, Zaporozhye)**

У статті описана методика визначення місць витоків на водопровідних мережах на основі вимірювання тисків в окремих її вузлах. Представлені результати застосування методики на прикладі розрахунку фрагменту мережі житлового мікрорайону міста Запоріжжя. Запропоновані рекомендації з практичного використання інформації про фактичні вузлові тиски для оперативної ліквідації витоків.

The article describes the method of determining the sources of leakage in water supply networks on the basis of measuring the pressure in its individual nodes. The origins lead to significant losses of drinking water during transportation, as well as to the deterioration of the quality of drinking water as a result of its pollution. Today, the main methods for detecting leaks in water supply networks are visual control and methods related to the use of measuring equipment. Existing methods require the installation of additional equipment on the water supply network. It does not allow to quickly determine the place of leakage and eliminate it. Therefore, the problem of operational determination of leakage sites remains relevant.

The aim of the research was to develop a methodology for determining leakages in the water supply network and to substantiate the practical use of information on actual nodal pressure for the operative determination of sources of leakages and their elimination.

The method of detecting significant leakages is based on the method of determining the leakage sites in real time by the difference in pressure, measured control nodes. The differential pressure is measured on separate sections of the network. The resulting difference is mathematically transformed into a volume capacity and loss of pressure on the plots. Compares actual and marginal, capacious costs and pressure loss simultaneously for all sections of the network. As a result of the pressure drop in control nodes, the locations of leaks are determined simultaneously on all main sections of the network.

The results of application of the technique are presented on the example of calculation of the fragment of the network of residential micro-district of the city of Zaporizhzhya. The hydraulic calculation of the network is made taking into account the pressure difference in the control units. As a result of the calculation, actual water consumption and pressure loss in the network areas are obtained. The limit values of these parameters are taken for an hour of maximum water collection. As a result of comparison of actual and boundary parameters, emergency areas have been identified. The savings are saved as a result of the establishment of damaged sites and the operational elimination of leakages. Recommendations on the practical use of information on actual unit pressure for operational elimination of leakages are suggested.

Ключові слова: витіки; вимірювання тисків; контрольні вузли; фактичні витрати.

Keywords: leaks; pressure measurements; control points; real consumption.

Системи подачі та розподілення води комунальних водопроводів є найбільш енергомісткою частиною систем водопостачання населених пунктів України. Внаслідок тривалої експлуатації без необхідного поточного ремонту більшість водопровідних мереж знаходиться в незадовільному технічному стані, який щодня погіршується, частина з них – в аварійному стані. З погіршенням технічного стану водопровідних систем помітно знижується ефективність їх роботи та зростають нераціональні втрати води, витіки. Показник втрат води у міських мережах є надто високим і знаходиться в межах $0,4-3,0 \text{ м}^3/\text{км}$ у рік,

в порівнянні з показниками у Західній Європі, які становлять 0,1-0,4 м³/км у рік [1].

Так, загальна довжина водопровідних мереж, що експлуатуються комунальним підприємством «Водоканал» (м. Запоріжжя), станом 01.01.2017 р. складає 2532 км, з них 640 км – вкрай зношені та потребують негайної заміни. Це мережі, де спостерігається найбільша кількість витоків. За 2017 рік їх кількість склала близько 4135 витоків.

Ситуація, існуюча у сфері водопостачання Запорізької області і в країні, призводить до значних втрат питної води при транспортуванні, а також до погіршення якості питної води за рахунок її забруднення. Вирішення проблемних питань водопостачання можливе за умови реалізації заходів із реконструкції і модернізації об'єктів водопровідного господарства. Однак, найбільшою проблемою при реалізації таких заходів є недостатнє фінансування. Щорічно планується і здійснюється заміна найбільш зношених та аварійних мереж протяжністю 10-15 км власними силами та за власні кошти. Наприклад, у 2017 році було виконано заміну 735 погонних метрів водопровідної мережі. Через велику капіталоємність та обмеженість місцевих джерел фінансування будівництво і реконструкція в деяких випадках ведуться впродовж 5-10 і більше років. Тому проблема оперативної ліквідації витоків має актуальне значення.

Основними методами виявлення витоків на водопровідних мережах є візуальний контроль і методи, пов'язані з використанням вимірального обладнання. Відомий спосіб визначення наявності і кількості витоків у напірній мережі, який полягає у визначенні наявності витоків за показаннями встановленого на початку мережі витратоміра в нічний час, а величина витоків у будь-який інший час і стан мережі визначаються за відомою формулою для розрахунку витоків рідини із отворів, враховуючи показання манометра, встановленого на початку мережі [2]. При цьому прийняте припущення, що наявність у нічні години показів витратоміра, встановленого на початку мережі, відповідає витратам води лише через витoki в мережі, а не потребам споживачів, знижує достовірність даного способу.

Також фахівцями [2] пропонується метод, в основі якого лежать фізичні процеси, що мають місце при утворенні тріщин. В

результаті зміни маси та кількості руху рідини, яка залишилась всередині трубопроводу в результаті витoku, вниз і вверх по потоку розповсюджуються хвилі розрідження, які сприймаються давачами, встановленими на кінцях ділянки мережі. Реалізація даного методу потребує двостороннього доступу до трубопроводу. У роботі [4] пропонується використання тестових сигналів у вигляді хвиль тиску, які створюються в середовищі транспортування, та приймачів відбитих хвиль і подальшого їх аналізу для визначення стану трубопроводу. Генератор тестових хвиль і приймач розташовуються на незначній відстані один від одного, що дає змогу при односторонньому доступі до трубопроводу діагностувати його стан на значній відстані від місця створення коливань середовища. Оперативність визначення місць витоків із використанням цього методу залежить від кількості давачів, розміщених на мережі.

Застосування геоінформаційних систем дає можливість реалізації методу визначення витоків на основі моделювання його як додаткової витрати незалежно від тиску у вузлі та методу на основі фіксації надмірного тиску при мінімальному нічному потоці [3]. Але, як відзначають автори останнього методу, ідентифікація витoku не завжди точно вказує на його місце, хоча й зменшує невизначеність.

Метою проведених досліджень була розробка методики визначення витоків у водопровідній мережі та обґрунтування практичного використання інформації про фактичні вузлові тиски для оперативного визначення місць витоків і їх ліквідації.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

- розробити методику виявлення значних витоків в умовах реального часу за результатами вимірювання тисків в окремих вузлах;

- перевірити ефективність методики шляхом її реалізації на прикладі реальної водопровідної мережі одного із житлових районів м. Запоріжжя.

В основу методики виявлення значних витоків в умовах реального часу покладено спосіб діагностування зон витоків на ділянках мереж транспортування [5], що містить вимірювання перепаду тисків на окремих ділянках мережі, математичне перетворення отриманого перепаду тиску в об'ємну витрату та

втрати тиску на ділянках, порівняння фактичних і граничних об'ємних витрат і втрат тиску одночасно для всіх ділянок мережі, Спосіб відрізняється тим, що перепад тиску вимірюється у контрольних вузлах мережі транспортування та визначаються місця розташування витоків одночасно на всіх магістральних ділянках мережі.

Реалізація методики проводилась у декілька етапів:

1. Визначення розрахункових витрат у вузлах водопровідної мережі.

2. Гідравлічний розрахунок мережі в режимі максимального водорозбору. В результаті розрахунку отримані витрати на її ділянках $q_i^{zp} - q_k^{zp}$ та втрати напору $h_i^{zp} - h_k^{zp}$ були прийняті за граничні.

3. Визначення перепаду п'єзометрів за результатами вимірювання тисків в контрольних вузлах на момент виникнення витoku та порівняння його з перепадом п'єзометрів у тих же вузлах при нормальній роботі мережі.

4. Гідравлічний розрахунок мережі з урахуванням перепаду п'єзометрів в контрольних вузлах на момент виникнення витoku. В результаті отримані фактичні витрати для всіх ділянок $q_i^\phi - q_k^\phi$ та втрати напору на них $h_i^\phi - h_k^\phi$, які є реальними на момент вимірювання перепадів тисків [5].

5. Визначення для кожної ділянки відхилення витрат, p_q та втрат напорів, p_h за формулами (1-2) відповідно:

$$p_q = \frac{q_{i-k}^\phi - q_{i-k}^{zp}}{q_{i-k}^{zp}} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$p_h = \frac{h_{i-k}^\phi - h_{i-k}^{zp}}{h_{i-k}^{zp}} \cdot 100\% \quad (2)$$

6. Встановлення наявності витоків і номерів пошкоджених ділянок за умовою (2).

Для апробації запропонованої методики було вибрано водопровідну мережу житлового району м. Запоріжжя, схема якої

складається із 20 вузлів, пов'язаних 25 ділянками, що утворюють 6 кілець (рис.1).

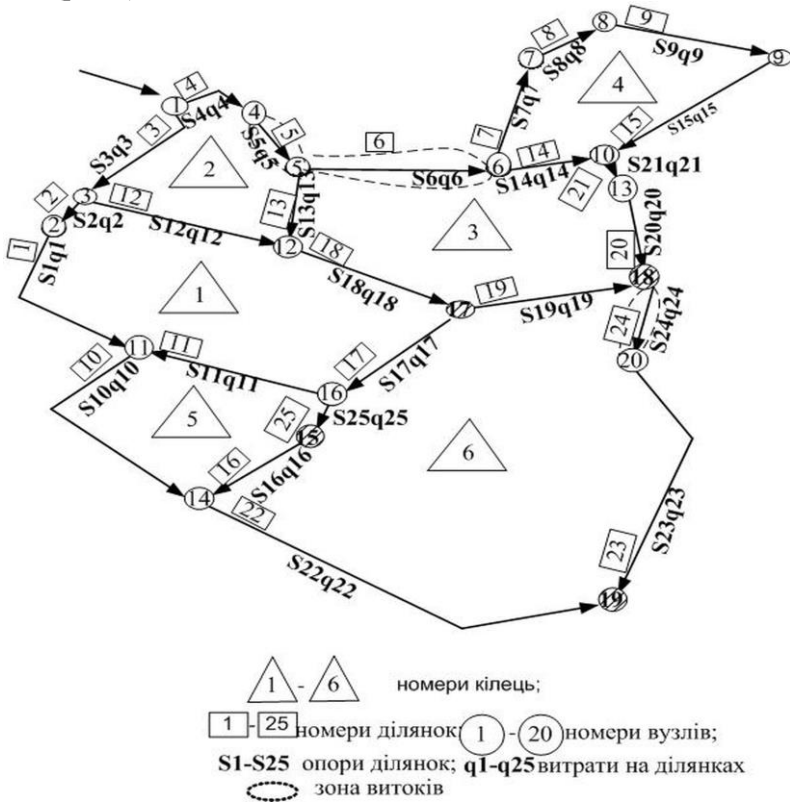


Рис.1. Схема водопровідної мережі

Заміри тиску виконувались у вузлах №4 та №19, що відповідають контрольним вузлам «вул. Новгородська» та «проспект Інженера Преображенського». В якості наглядного прикладу розглянуто робочу ситуацію, яка трапилась 7.03.2016 року о 18-00 год. Перепад п'езометричних позначок у вузлах «вул. Новгородська» та «проспект Інженера Преображенського» становив 9.2 м, що відповідало вимірним значенням тиску у першому та другому вузлах відповідно. В результаті гідравлічного розрахунку мережі з урахуванням $\Delta P = 9.2 \text{ м}$ отримані витрати в ділянках мережі та порівняні з їх значеннями в годину максимального

водорозбору. Найбільші відхилення витрат від їх граничних значень, в якості яких прийняті витрати в годину максимального водорозбору (о 10-00 24.06.2016), були зафіксовані у ділянках № 5, 6, 24. Зазначені ділянки були прийняті в якості аварійних.

Економія за рахунок попередження значних втрат води в результаті оперативного встановлення пошкоджених ділянок та ліквідації витоків визначена по формулі

$$\Delta E_{з.в.} = Q_v \cdot (\alpha_{вит} + \alpha_{вл.ст.} + \alpha_{ав}) \cdot T \quad (3)$$

де Q_v - об'єм витоків, які не сталися за рахунок оптимізації управління, m^3 ;

$\alpha_{вит}, \alpha_{вл.ст.}, \alpha_{ав}$ - коефіцієнти впливу, відповідно на зменшення витрат води на витoki, на власні потреби, на втрати води при аварії;
 T - середній тариф на воду, грн./ m^3 .

Значення Q_v розраховані, виходячи із умови попередження 64 аварійних витоків на протязі року тривалістю в 1 добу для ділянок діаметром 400 мм при швидкості течії 2.5 м/с:

$$Q = 2.5 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.4^2}{4} = 0.314 m^3 / c \text{ або } 27130 m^3 / \text{доб.}$$

$$\Delta E_{з.в.} = 27130 \cdot 64ав / рік \cdot (0.015 + 0.015 + 0.01) \cdot 4.5$$

$$\begin{aligned} \Delta E_{з.в.} &= 27130 \cdot 64ав / рік \cdot (0.015 + 0.015 + 0.01) \cdot 9.2 = \\ &= 638965 \text{ грн} / \text{рік} \end{aligned}$$

У порівнянні з аналогічними методами визначення витоків позитивна дія результатів дослідження полягає у визначенні місць розташування витоків одночасно на всіх магістральних ділянках мережі. Це дозволяє працівникам диспетчерських служб комунальних підприємств не тільки візуально оцінити ситуацію, але й прийняти рішення за результатами розрахунків.

До слабких сторін запропонованих рекомендацій з визначення витоків можна віднести необхідність початкових капітальних вкладень в автоматизовану систему управління потокорозподілом

на стадії проектування мереж. Також необхідно передбачати витрати на монтаж обладнання контрольних вузлів на мережі.

Від комунальних підприємств будуть потрібні початкові капітальні вкладення в систему управління технічною інфраструктурою. Також необхідні витрати на монтаж додаткових та переобладнання існуючих вузлів контролю тиску при необхідності їх переміщення. Однак більшість комунальних підприємств вже мають автоматизовані системи управління, а їх додаткова комплектація буде окуплена в термін до 5 років за рахунок зниження витоків та енергоспоживання насосного обладнання.

1. Пужаліна А.В. Вплив стану водопровідних мереж України на якість питної води / А.В. Пужаліна // *ADVANCED TECHNOLOGIES OF SCIENCE AND EDUCATION: XIV міжнар. наук. інтернет-конф.*, 19-21.квітня .2018 р. <http://intkonf.org/puzhalina-av-vpliv-stanu-vodoprovodnih-meresh-ukrayini-na-yakist-pitnoyi-vodi/>

2. Спосіб визначення наявності і кількості витоків в напірній мережі і її стану: Патент України на корисну модель №31787А , МПК F17D 5/02 (2006/01) / А. П. Чорний, В. А. Петросов, В. Д. Колотило, А. А. Магеря; заявл. 29.10.1998; опубл. 15.12.2000. Бюл. № 7/2000.

3. Лаптева Т. И. Обнаружение утечек при неустановившемся течении в трубах / Т. И. Лаптева, М. Н. Мансуров // *Нефтегазовое дело.* – 2006. – http://www.ogbus.ru/authors/Lapteva/Lapteva_1.pdf–15 с.

3. Sebbagh Karima. Pre-Localization Approach of Leaks on a Water Distribution Network by Optimization of the Hydraulic Model Using an Evolutionary Algorithm / Karima Sebbagh, Abdelhamid Safri, Moula Zabot // *Proceedings.* 2018;2(11):588 DOI [10.3390/proceedings2110588](https://doi.org/10.3390/proceedings2110588)

4. Заміховський Л. М. Метод виявлення витоків з трубопроводу при односторонньому доступі до середовища транспортування / Л. М. Заміховський, Л. О. Штар // *Нафтогазова енергетика.* – 2007. – No 2 (3) С.59–62.

5. Пат. Україна, МПК F 17 D 5/02. Спосіб діагностики зон витоків з водопровідних мереж / Добровольська О.Г., Українець М.О., Сокольник В.І.; заявник і власник Запор. держ. інж. Академія. – № u 2013 06473 ; заявл. 24.05.2013; опубл. 25.02.2014. Бюл. № 4.