

О.В. МАТЯШ, кандидат технічних наук  
В.Г. НОВОХАТНІЙ, доктор технічних наук  
І.С. УСЕНКО, кандидат технічних наук  
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

## ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ ВОДОПРОВІДНИХ МЕТАЛЕВИХ ТРУБ ЗА ДАНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*Зібрано та опрацьовано статистичні дані щодо відмов водопровідних металевих труб м. Кременчук Полтавської області. У результаті математичного оброблення узагальнених статистичних даних розраховано кількісні показники безвідмовності та ремонтпридатності металевих водопровідних труб. Виконано порівняння отриманих результатів з нормативними документами та зроблено відповідні висновки та пропозиції.*

**Ключові слова:** водопровідні металеві труби, показники надійності, безвідмовність, ремонтпридатність.

*Собрано и обработано статистические данные об отказах водопроводных металлических труб г. Кременчуг Полтавской области. В результате математической обработки обобщенных статистических данных рассчитаны количественные показатели безотказности и ремонтпригодности металлических водопроводных труб. Выполнено сравнение полученных результатов с нормативными документами и сделаны соответствующие выводы и предложения.*

**Ключевые слова:** металлические водопроводные трубы, показатели надежности, безотказность, ремонтпригодность.

*The statistics on faults in plumbing metal pipes in Kremenchug, Poltava region, were collected and processed. As a result of mathematical processing of generalized statistical data, quantitative indicators of reliability and repair of metal water pipes are calculated. The comparison of the results with the normative documents and the corresponding conclusions and proposals have been made.*

**Keywords:** metal water pipes, indicators reliability, reliability, maintainability.

**Постановка проблеми.** Система водопостачання – це складний технічний «організм», який потребує постійного огляду та оновлення [1]. До його складу входять споруди, які утворюють три комплекси, а саме – водозабірний комплекс (споруди для забирання води з поверхневих та

підземних джерел), водоочищувальний комплекс (споруди з кондиціонування води), подавально-розподільний комплекс (насосні станції, водогони та водопровідні мережі) [2]. Вихід з ладу як окремих споруд, так і комплексів призводить до аварійних ситуацій та відсутності води у споживачів, що тягне за собою зупинку технологічних процесів у промисловому секторі, наростання невдоволення населення при відсутності комфортних умов, а з іншого боку – це недоотримання коштів за надані послуги та витрати на ліквідування аварій для комунального підприємства. На сьогоднішній день водопровідні системи населених пунктів України потребують оновлення, а відповідно – значних капіталовкладень. Найвагоміший та найуразливіший елемент системи водопостачання – це водопровідна мережа, яка давно вже відпрацювала нормативний термін експлуатації та перебуває на межі катастрофічної ситуації з точки зору працездатності та безпечності для населення [3]. Тому при проектуванні нових та реконструкції існуючих водопровідних мереж слід враховувати надійність труб, а саме їх безвідмовність та ремонтпридатність [4].

**Аналіз останніх досліджень.** Питання надійності подавально-розподільного комплексу системи водопостачання піднімають у своїх роботах провідні науковці України, доктора технічних наук, професори В.Г. Новохатній [2, 4,], А.О. Ткачук [6], П.Д. Хоружий [7]. Активно працюють над вирішенням проблемних моментів підвищення надійності у галузі водогосподарського комплексу ряд закордонних вчених, а саме Н. Hotłóś, F. Piechurski, J.R. Rak, A. Studzinski, B. Tchórzewska-Cieślak [8, 9, 10, 11]. Проте аналіз наукових джерел показує, що отримані числові показники надійності водопровідних трубопроводів потребують додаткових досліджень у кожному конкретному випадку, оскільки на надійність труб водопровідних мереж впливає ряд факторів, як при проектуванні так і при експлуатації мереж.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Для того щоб оцінити безвідмовність та ремонтпридатність труб ділянок водопровідної мережі міста Кременчук Полтавської області було зібрано і оброблено статистичні дані для металевих труб діаметром 50...400мм протягом 9 років. Загальна протяжність водопровідної мережі м. Кременчук складає близько 424км, з яких чавунних труб (55%), сталевих – (41%), незначний відсоток – азбестоцементні та пластмасові труби (4%). Були проаналізовані статистичні дані щодо пошкоджень металевих труб діаметром 50...300мм протягом 6 років і встановлено, що основними видами пошкоджень є: для чавунних труб – вихід цементу з розтрубів – 68%, поперечні переломи – 19%, корозія – 9%, пошкодження землерийною технікою – 4%; для сталевих труб – наскрізні свищі – 71%, порушення зварних з'єднань – 18%, корозія – 7%, пошкодження землерийною технікою – 4% та інші.

Для розрахунків надійності окремим елементом водопровідної мережі прийнято 1 км трубопроводу. З точки зору надійності, такий елемент є простим та відновлюваним, а в процесі роботи він може знаходитися лише в

двох станах: працездатності та відмови. Під відмовою елемента прийнято пошкодження труби на ділянці водопровідної мережі, при якому ділянку слід відключити для виконання ремонту або заміни. Основним показником безвідмовності водопровідних труб прийнято напрацювання на відмову  $T$  1км трубопроводу або обернену йому величину – питомий параметр потоку відмов  $\omega_0$  1км трубопроводу за рік (годину). Для розрахунку середнього значення питомого параметра потоку відмов  $\omega_0$  використана формула:

$$\omega_0^{mid} = \frac{n}{t \cdot \sum L}, \text{ 1/рік}\cdot\text{км або 1/год}\cdot\text{км}, \quad (1)$$

де  $n$  – кількість відмов ділянок водопровідної мережі;  $t$  – термін спостереження (роки або години);  $\sum L$  – протяжність водопровідної мережі відповідного діаметра, км.

Інтервальні оцінки для параметра потоку відмов обчислені відповідно до ГОСТ 11.005-74 [12] за формулами:

– нижня інтервальна оцінка параметра потоку відмов  $\omega_0$ :  $\omega_{0n} = \frac{\omega_0}{r_1}$ ; (2)

– верхня інтервальна оцінка параметра потоку відмов  $\omega_0$ :  $\omega_{0e} = \frac{\omega_0}{r_2}$ , (3)

де  $r_1, r_2$  – коефіцієнти для визначення інтервальних оцінок у випадку експоненціального розподілу, приймаються згідно з таблицями [12]. Розрахунки виконані у табличній формі (табл. 1).

Таблиця 1

**Розрахунок інтервальних оцінок для параметра потоку відмов  $\omega_0$   
м. Кременчук Полтавської області**

| Труби ділянок мережі  | Діаметр $D$ , мм | Об'єм вибірки $n$ | Параметр потоку відмов $\omega_0$ , 1/рік·км: |                    |        |
|-----------------------|------------------|-------------------|---|--------------------|--------|
|                       |                  |                   | середнє значення                              | інтервальна оцінка |        |
|                       |                  |                   |   | нижня              | верхня |
| Чавунні (сірий чавун) | 50               | 29                | 4,93  | 3,52               | 6,66   |
|                       | 100              | 389               | 2,74  | 2,52               | 2,99   |
|                       | 150              | 150               | 1,72  | 1,50               | 1,98   |
|                       | 200              | 99                | 1,64  | 1,38               | 1,93   |
|                       | 250              | 72                | 1,03  | 0,84               | 1,25   |
|                       | 300              | 74                | 0,93  | 0,76               | 1,13   |
| Сталеві               | 50               | 36                | 1,88  | 1,41               | 2,49   |
|                       | 100              | 142               | 1,65  | 1,43               | 1,91   |
|                       | 150              | 50                | 1,57  | 1,23               | 1,99   |
|                       | 200              | 34                | 1,45  | 1,07               | 1,91   |
|                       | 250              | 39                | 1,03  | 0,78               | 1,34   |
|                       | 300              | 28                | 0,65  | 0,46               | 0,88   |

У результаті математичного оброблення статистичних даних отримано аналітичні залежності (рис.1) параметра потоку відмов  $\omega_0$  від діаметра труб. Побудова аналітичних функцій на основі емпіричних даних виконана за допомогою електронних таблиць "Microsoft Excel SR-1" за програмою *Table Courve*.

Дослідження часу відновлення працездатності металевих труб водопровідних мереж м. Кременчук Полтавської області показав [13], що час відновлення підпорядкований експоненціальному закону розподілу (рис. 1). Аналіз статистичних даних показав, що 80% аварій на водопровідних мережах ліквідується протягом двох діб, а числові значення відновлення знаходяться в межах  $t_{min} = 23,3год \leq t_{mid} = 24,6год \leq t_{max} = 25,8год$ . Інтервальні оцінки для параметра потоку відмов обчислені відповідно до ГОСТ 11.005-74 [12] (рис. 2).

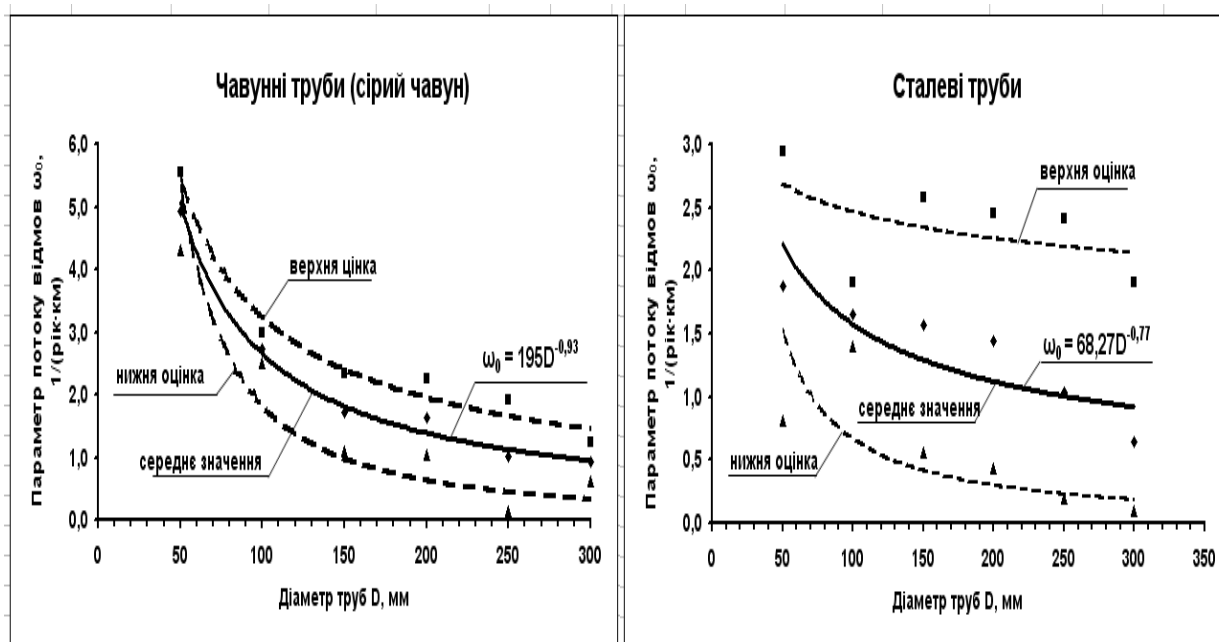


Рис. 1. Аналітична залежність  $\omega_0 = f(D)$  для металевих труб

Згідно з нормативною літературою [4] основними показниками надійності для відновлювальних елементів є середнє напрацювання між відмовами  $T$  та середня тривалість відновлення працездатності  $T_B$ , а комплексним показником – коефіцієнт готовності  $K_r$ . Обчислення кількісних значень показників надійності зведено до таблиці 2.

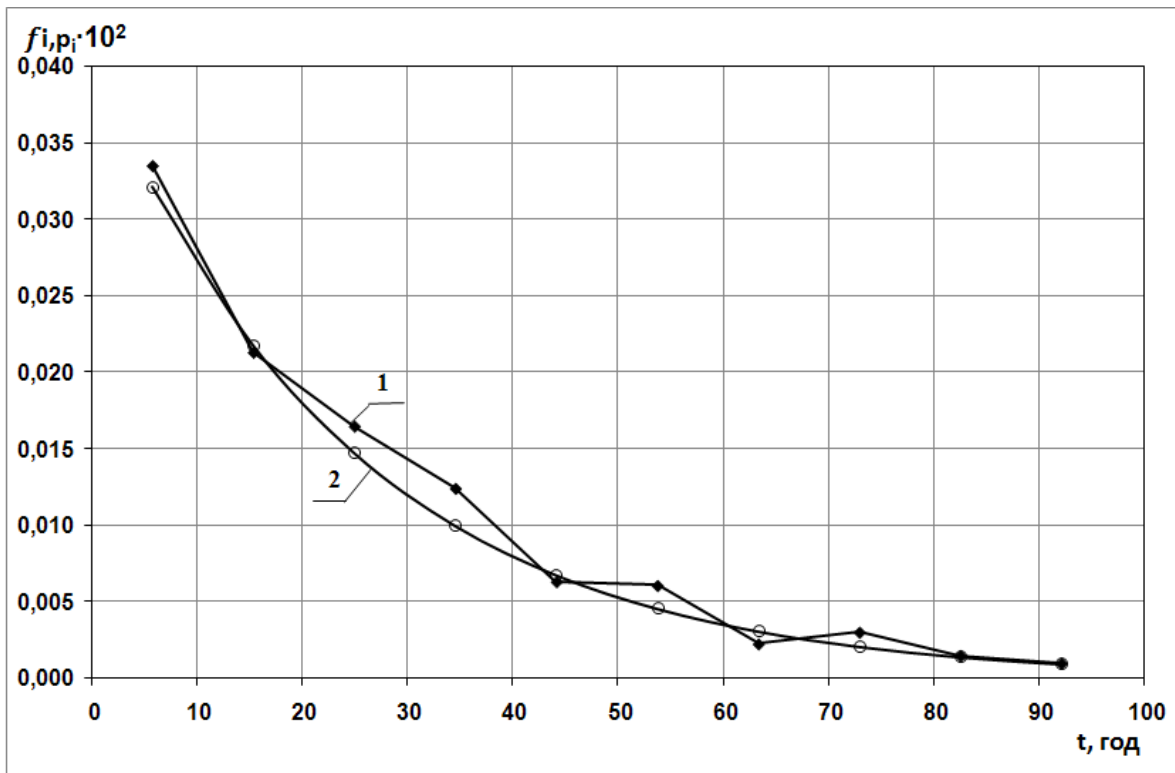


Рис. 2. Експериментальний полігон (1) і теоретичний (2) розподіл середнього часу відновлення працездатності металевих труб

Таблиця 2

**Розрахунок основних показників надійності водопровідних металевих труб м. Кременчук Полтавської області**

| Труби ділянок мережі  | Діаметр $D$ , мм | Середнє значення параметра потоку відмов $\omega_0$ , 1/(рік*км) | Середнє напрацювання на відмову $T$ , год | Середній час відновлення працездатності $T_B$ , год | Коефіцієнт готовності $K_G$ |
|-----------------------|------------------|--|---|---|-----------------------------|
| Чавунні (сірий чавун) | 50               | 4,932  | 1751                                      | 42,0  | 0,9766                      |
|                       | 100              | 2,743  | 3149                                      | 27,9  | 0,9912                      |
|                       | 150              | 1,720  | 5024                                      | 29,3  | 0,9942                      |
|                       | 200              | 1,643  | 5259                                      | 28,6  | 0,9946                      |
|                       | 250              | 1,027  | 8410                                      | 25,4  | 0,9970                      |
|                       | 300              | 0,930  | 9289                                      | 21,7  | 0,9977                      |
| Сталеві               | 50               | 1,881  | 4593                                      | 24,8  | 0,9946                      |
|                       | 100              | 1,655  | 5221                                      | 21,4  | 0,9959                      |
|                       | 150              | 1,569  | 5505                                      | 20,7  | 0,9962                      |
|                       | 200              | 1,445  | 5978                                      | 25,5  | 0,9958                      |
|                       | 250              | 1,032  | 8374                                      | 39,5  | 0,9953                      |
|                       | 300              | 0,650  | 13293                                     | 18,0  | 0,9986                      |

Норми щодо надійності водопостачання населення регламентуються «Правилами надання послуг», які затверджені постановою Кабінету Міністрів України №630 від 2005 [14]. У цій постанові вимагається, щоб "...допустимий термін відхилення показників з безперебійного водопостачання складав не більше 6 годин на добу та не більше 2-х разів на місяць". Таким чином "Правила" встановили показники надійності з безперервності та відновлюваності водопостачання, а саме – напрацювання на перерву  $T \leq 360$  год і середня тривалість відновлення водопостачання  $T_v \leq 6$  год. ДБН В.2.5–74:2013 [15] встановив, що: "...розрахунковий час відновлення водопостачання для системи водопостачання II категорії для діаметрів труб до 400 мм складає 10 год.", тобто середня тривалість відновлення водопостачання  $T_v \leq 10$  год. Порівняння отриманих результатів кількісних показників надійності (безвідмовність та ремонтпридатність з даними «Правилами надання послуг» [14] та ДБН В.2.5–74:2013 [15] вказують на відповідність за середнім часом напрацювання на відмову та на невідповідність за середнім часом відновлення працездатності (табл. 3).

Таблиця 3

**Порівняння основних показників надійності водопровідних металевих труб м. Кременчук Полтавської області**

|   | Середнє значення напрацюванням на відмову $T$ , год | Середнє значення часу відновлення працездатності $T_v$ , год | Коефіцієнт готовності $K_r$ |
|---|---|--|-----------------------------|
| «Правила надання послуг»                                      | <b>360</b>  | <b>6</b>   | <b>0,9836</b>               |
| ДБН В.2.5 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. | не регламентується                                  | $1,25 \cdot 8 = 10$  | Неможливо обчислити         |
| <b>Фактичні дані (м. Кременчук)</b>                           | <b>3150...13300</b>                                 | <b>23,3...25,8</b>   | <b>0,9927...0,9981</b>      |

**Висновки**

1. Поглиблений аналіз методами математичної статистики даних експлуатації щодо відмов металевих водопровідних труб м. Кременчук Полтавської області підтвердив відомий факт, що із збільшенням діаметра металевих труб параметр потоку відмов зменшується.

2. Безвідмовність металевих водопровідних труб в 9...35 разів вища за вимоги, які вказані в «Правилах надання послуг» [14], але ремонтпридатність у 2,3...2,6 рази нижча за вимоги ДБН В.2.5–74:2013 [15].

## Список літератури

1. *Гіроль М.М.* Ефективність систем водопостачання України як фактор національної безпеки держави / М.М. Гіроль, Г.М. Семчук. Надзвичайна ситуація, №5, 2001 р.
2. *Новохатній В.Г.* Надійність функціонування подавально–розподільного комплексу систем водопостачання: дис. докт. техн. наук: спец.05.23.04 – водопостачання, каналізація / В.Г. Новохатній. Полтава: ПолтНТУ, 2012. 351 с.
3. *Гіроль М.М.* Стан водопровідних мереж України та шляхи запобігання погіршенню якості питної води.// Полімерні труби.: Інформаційно-аналітичний журнал. 2008. №21 (січень-лютий). С.7-12.
4. *Надійність* техніки. Терміни та визначення.: ДСТУ 2860-94 К.: Держстандарт України, 1995. 45 с.
5. *Новохатній В.Г.* Надійність водоводов систем водоснабження/ В.Г. Новохатній, С.О. Костенко// MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. Lublin, 2013. Vol. 15, №6. p.101–108.
6. *Ткачук О. А.* Удосконалення систем подачі та розподілення води населених пунктів / О. А. Ткачук. Рівне : НУВГП, 2008. 301 с.
7. *Хоружий П. Д.* Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П. Д. Хоружий, Т. П. Хомутецька, В. П. Хоружий. К. : Аграрна наука, 2008. 534 с.
8. *Hotłoś H.* Analisa strat wody w systemach wodociagowych // Ochrona Srodowiska. 2003. №1. S. 17 – 24
9. *Piechurski F.* Straty wody i sposoby ich obnizania // Ochrona Srodowiska. 2006: №2. S. 20–23.
10. *Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.* Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wode. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2005. s. 1-178, 2005.
11. *Rak J.* Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wode. Komitet Inzynierii Srodowiska PAN. T. 28. Lublin, 2005. S. 1 – 215.
12. *ГОСТ 11.005-74.* Правила определения оценок и доверительных границ для параметров экспоненциального распределения и распределения Пуассона. М.: Издательство стандартов, 1974. 29 с.
13. *Новохатній В.Г.* Ремонтпридатність металевих водопровідних труб / В.Г. Новохатній, О.В. Матяш // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. пр. Вип.№2 (80). Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. С. 254 – 257.
14. *Правила* надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення / Постанова Кабінету Міністрів України від 21 липня 2005р. №630.
15. *Водопостачання.* Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5–74:2013 [Чинний від 2014–01–01]. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово–комунального господарства України, 2013. 281 с. (Національні стандарти України).

Стаття надійшла до редакції 20.11.17