

ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ МАГІСТРАЛЬНИХ ВОДОГОНІВ

Защепкіна Н. М., Богдан Г. А., Богдан І. С.

НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
E-mail: nanic1604@gmail.com; bogdangalya@gmail.com; vbogdaivan@gmail.com

***Анотація.** У статті проаналізовано критичний стан водопровідних мереж України, значна частина яких (понад 180 тис. км) зношена та потребує діагностики через вичерпання ресурсу й високі ризики аварій. Метою роботи є дослідження факторів деградації трубопроводів, сучасних методів контролю та підходів до оцінювання їх залишкового ресурсу. Подано узагальнені дані про причини відмов та показано, що комплексна оцінка технічного стану потребує поєднання різних діагностичних технологій. Висвітлено неруйнівні методи контролю та доведено ефективність комбінованого підходу, який поєднує інлайн-інспекцію з багатосенсорними системами та локальні методи НК на складних ділянках.*

***Ключові слова:** контроль, діагностика, неруйнівний контроль, залишковий ресурс, труби, водогін.*

Стан водопровідних мереж України є критичним: 35 % систем водопостачання та 38 % водовідведення перебувають в аварійному стані, а втрати води перевищують 36 % [1]. Значна частина понад 180 тис. км трубопроводів була прокладена в радянський період, тому їх нормативний ресурс вичерпано, що різко підвищує ризик аварій та перебоїв водопостачання. Це зумовлює потребу у модернізації мереж, впровадженні сучасних методів діагностики та оцінюванні їх залишкового ресурсу [12].

Мета роботи – дослідити ключові фактори деградації водогонів та проаналізувати методи технічного контролю і діагностики. Системний аналіз цих чинників дає змогу своєчасно виявляти небезпечні ділянки, зменшувати втрати води й підвищувати надійність мереж.

Аналіз факторів впливу є ключовим для обґрунтованого вибору методів діагностики, визначення залишкового ресурсу трубопроводів та формування ефективної стратегії технічного обслуговування. Системна оцінка цих чинників дає змогу своєчасно виявляти потенційно небезпечні ділянки, зменшувати втрати води, підвищувати надійність мереж і оптимізувати витрати на їх експлуатацію та модернізацію.

До таких факторів належать:

1. Віковий знос та перевищення нормативного ресурсу – пошкодження труб відбувається через зниження механічних властивостей матеріалу, втомні руйнування, підвищення крихкості [3].

2. Корозія – одна з провідних причин пошкоджень металевих магістралей. Оглядові дослідження показують, що ґрунтові й електричні фактори істотно визначають швидкість корозійного зносу [4].

3. Гідравлічні фактори: удари тиску та режимні коливання – література і технічні звіти відзначають значний вплив таких явищ на експлуатаційну надійність мереж [5].

4. Дефекти монтажу та неякісні матеріали – такі дефекти можуть проявитися через короткий час після монтажу або виявлятися поступово у вигляді підтікання в місцях з'єднань [6].

5. Механічні пошкодження від впливу зовнішніх факторів – механічні удари від екскаваторів, дорожньої техніки, будівництва, а також навантаження від руху ґрунту чи дорожнього полотна призводять до локальних деформацій, тріщин, переломів [7].

6. Вплив агресивних середовищ (хімічний склад води та ґрунту) – окремі дослідження показують тісний зв'язок між характеристиками ґрунту та зовнішньою корозією [8].

7. Мікробіологічні фактори (біообростання, МІС) – бактерії, що утворюють біоплівки, можуть сприяти локальній корозії (МІС) або виділяти біохімічні продукти, які пришвидшують руйнування матеріалу [4].

8. Кліматичні та геотехнічні фактори – перепади температур, сезонні промерзання, зсуви ґрунту й підмиви можуть призводити до додаткових навантажень, зміни опору ґрунту й, відповідно, до загострення корозійних процесів або механічних пошкоджень [6].

9. Операційні та організаційні фактори (недостатнє техобслуговування, фінансування).

10. Екстремальні та антропогенні фактори (вандалізм, бойові дії).

На рис. 1 зображено узагальнені глобальні дані щодо причин передчасних відмов водопровідних труб у системах водопостачання. Кругова діаграма демонструє розподіл частки пошкоджень труб за основними групами факторів.

Можна зробити висновок, що корозія є домінуючим фактором деградації трубопроводів. Частка 64 % свідчить про те, що більшість водопровідних мереж у світі виходять з ладу не через аварії чи зовнішні впливи, а через довготривалі корозійні процеси. Це означає, що проблеми якості матеріалів, захисних покриттів, агресивності ґрунтів та води мають ключове значення для надійності систем водопостачання.

Комплексна оцінка залишкового ресурсу та технічного стану магістральних водогонів передбачає застосування поєднання кількох груп діагностичних технологій. Жоден окремий метод не може повністю охопити всі типи дефектів, тому сучасні стандарти експлуатації водогосподарських систем орієнтуються на інтегральну діагностику, що включає інструментальні, гідравлічні, акустичні та роботизовані підходи.

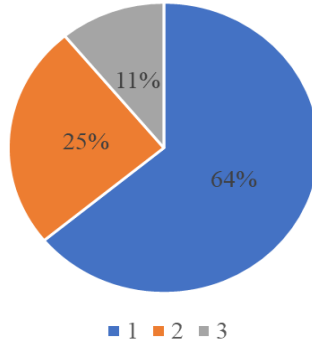


Рис. 1. Причини передчасних відмов водопровідних труб:
1 – корозія (внутрішня та зовнішня);
2 – інші фактори (гідравліка, монтаж, матеріали тощо);
3 – пошкодження третіми особами

В загальному випадку всі методи діагностики технічного стану водогонів можна розділити на дві великі групи:

1. Неруйнівні методи контролю (НК) – це базова група методів, спрямованих на виявлення прихованих дефектів, корозійного зносу та локальних порушень структури матеріалу без порушення роботи трубопроводу. Використовуються переважно на відкритих або доступних для інспекції ділянках [9].

2. Внутрішні інспекційні методи та роботизовані платформи – це методи, які забезпечують найповнішу деталізацію стану трубопроводу зсередини.

Неруйнівні методи контролю становлять ключовий інструмент технічної діагностики водогінних магістралей, оскільки дозволяють виявляти дефекти та оцінювати ступінь корозійно-механічної деградації матеріалу без припинення роботи трубопроводу та без порушення його експлуатаційної цілісності. Застосування НК забезпечує отримання кількісних параметрів, необхідних для визначення залишкової товщини стінки, рівня небезпечних дефектів і прогнозування залишкового ресурсу труб. Серед всіх методів НК для діагностики трубопроводів найбільш придатними є: ультразвукові методи, магнітні методи та вихрострувові методи.

Комбіноване застосування всіх трьох методів забезпечує найбільш повну картину стану трубопроводу.

Внутрішні методи інспекції трубопроводів належать до найбільш інформативних технологій діагностики, оскільки забезпечують безпосереднє обстеження внутрішньої поверхні труби, виявлення коро-

зійних, механічних і геометричних дефектів по всій протяжності трубопроводу. На відміну від зовнішніх методів НК, внутрішні інспекційні системи дають змогу отримати комплексне картування стану труби, що є критичним для оцінювання залишкового ресурсу магістральних водогонів. Ці методи поділяються на: інструменти інлайн-інспекції PIG та роботизовані інспекційні системи.

Отже, можна зробити висновок, що протяжність водогонів понад 180 тис. км у поєднанні з їхнім віком зумовлює високий рівень фізичного й корозійного зношення та зростання аварійності. Дослідження показало, що деградацію мереж формує комплекс чинників, серед яких провідними є корозійні процеси. Розглянуті неруйнівні методи контролю, зокрема внутрішньотрубна інспекція та роботизовані системи, демонструють різні можливості щодо виявлення корозійних, геометричних і механічних дефектів. Порівняння підтверджує, що найбільш ефективним є комбінований підхід: інлайн-інспекція забезпечує повне картування стану труб, а роботизовані й локальні методи НК доповнюють її на важкодоступних ділянках.

Отже, підвищення надійності водогонів потребує інтегральної системи діагностики з регулярним моніторингом, спеціалізованими інспекціями, моделюванням залишкового ресурсу та своєчасними відновлювальними заходами. Такий комплексний підхід мінімізує аварійність, зменшує втрати води й забезпечує стабільну роботу водогосподарської інфраструктури.

Список використаних джерел

1. Central Water Supply of Ukraine, 2025, Emergency Condition of Networks, URL: <https://surl.li/pfbafb> (accessed 01.11.2025).
2. National Report on Drinking Water Quality in Ukraine, 2022, Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine, URL: <https://surl.li/zsaaao> (accessed 10.11.2025).
3. Potopalska, K. Ye., 2016, Review of Corrosion Damage Development Models in Pipeline Systems, *Bulletin of NTU "KhPI"*, No. 46 (1218), pp. 60–65.
4. Merlot, D. J., Sivertsen, B., et al., 2023, Corrosion Mechanisms in Urban Water Pipelines, *npj Materials Degradation*, Vol. 7, Article 5, DOI: 10.1038/s41545-023-00275-5.
5. Britton, L. G., Willey, R. J., 2024, Avoiding Water Hammer and Hydraulic Transients, *Process Safety Progress*, Vol. 43(1), pp. 101–112, DOI: 10.1002/prs.12517.

6. Xie, Z., Jiang, F., Xu, J., et al., 2023, Urban Underground Pipeline Disasters in China, *Sustainability*, Vol. 15(13), Article 10067, DOI: 10.3390/su151310067.

7. Michael Baker Jr., Inc., 2009, Mechanical Damage: Final Report, U.S. DOT PHMSA, 183 p., URL: <https://surl.li/nbioff>.

8. Abd Ghani, J., Yusop, F. M., Ismail, A., Tuan Ismail, T. N., 2024, Soil Properties Influencing Underground Pipeline Corrosion, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 109, pp. 113–119.

9. Bohdan, I., Zashchepkina, N., Bohdan, H., 2025, Geometric Parameters Control of Oil and Gas Pipes, *Proceedings of II Int. Conf. "Problems and Innovations in Engineering..."*, Khmelnytskyi, pp. 910–917.