

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПЛАСТМАСОВИХ
ТРУБОПРОВІДІВ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ МІСЬКИХ
ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ**

**EVALUATION OF EFFICIENCY OF USING PLASTIC PIPELINES
FOR RECONSTRUCTION OF MUNICIPAL WATER SUPPLY
NETWORKS**

**Добровольська О.Г., к.т.н. (Запорізький національний
університет)**

**Dobrovolska O.G., Ph.D. in Engineering (Zaporizhzhya National
University)**

Досліджено вплив зміни опору ділянок мережі на значення тиску в місці підключення водоводів до мережі. Визначені фактори, які впливають на гідравлічні характеристики водопровідної мережі після реконструкції окремих її ділянок. За результатами досліджень розроблені рекомендації, які дозволять комунальним підприємствам визначати об'єми та способи відновлення пропускнуої здатності окремих ділянок та мережі в цілому.

During the reconstruction, the characteristics of individual sections of the network change, which affect the performance of pumping stations. Therefore, the task of predicting the impact of sections of the network to be reconstructed on changes in pressure losses in the network and the piezometric mark at the point of connection of water mains to the network is urgent. To date, there is no scientific approach that allows you to reasonably choose methods of restoration or repair of water supply networks, focusing on most parameters of its operation, there is no clear mechanism for choosing effective trenchless methods of repairing underground communications. The research is aimed at determining the factors that affect the hydraulic characteristics of the water supply network after the reconstruction of some of its sections.

The aim of the work is to study the influence of changes in the resistance of individual sections of the network during its reconstruction on the value of pressure at the point of connection of water mains to the network. To determine the influence of the resistance of individual sections of the network during its reconstruction on the pressure value, methods of mathematical modeling of the resistance of sections of the network, methods of hydraulic calculations of water supply networks were used.

Achieving the goal involves a number of tasks: modeling 31 options for the reconstruction of the network by the number of individual sites; modeling of 15 variants of change of resistance for each site; performing hydraulic calculations taking into account the change in resistance of each of the sections; determination of pressures at the point of connection of water mains to the network for different values of change of resistance of sites.

The results of research have shown that with increasing the resistivity of the sites, the required pressure at the point of connection of water mains to the network in most

cases increases. As the resistivity of the sections that were on the shortest paths from the point of connection of water mains to the unfavorable point increased, the pressure at the node of water supply connection increased. This is due to the reverse direction of water movement in these areas relative to the dictating node. The increase in resistivity in the areas located on the shortest direction has the greatest effect on the value of the pressure at the point of connection of water mains. (up to 6%).

The development of an operational method for assessing the impact of reconstruction on the hydraulic performance of the network will allow utilities to determine the volume and methods of restoring the capacity of individual sites and the network as a whole.

Ключові слова: реконструкція водопровідної мережі, фіктивний опір, пластмасові трубопроводи, питомий опір.

Keywords: reconstruction of water supply network, fictitious resistance, plastic pipelines, resistivity.

Вступ. Під час реконструкції змінюються характеристики окремих ділянок мережі. Враховуючи, що система подачі та розподілу води являє собою комплекс взаємоув'язаних елементів, то зміна показників окремих елементів потребує корегування показників інших, а саме насосних станцій.

Оптимальним варіантом реконструкції є такі умови її виконання, за яких подача та напір насосних станцій не змінюються. Для цього необхідно, щоб не змінились сумарні втрати напору на шляху від підключення водоводів до мережі до найбільш несприятливого вузла (невигідної точки). Сумарні втрати напору на вказаному шляху є основою для розробки методу оцінки впливу реконструкції окремих ділянок на значення напору в місці підключення водоводів до мережі. Для цього треба визначити вплив ділянки, яка підлягає реконструкції, на загальний опір мережі. Розробка оперативного методу оцінки впливу реконструкції на гідравлічні показники роботи мережі, який дозволить комунальним підприємствам визначати об'єми та способи відновлення пропускної здатності окремих ділянок та мережі в цілому, є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. Реконструкція водопровідних мереж виконується за результатами моніторингу їх стану. Наприклад, авторами [1] пропонується оцінювати стан мереж, враховуючи кількість аварій, що трапляються на ділянках із чавунних та сталевих трубопроводів, стан аварійності визначати за зниженням витрати води на ділянці та розглядати дві стратегії відновлення: реконструкцію пошкодженої ділянки або її заміну. Як показує досвід фахівців [2], для швидкої та ефективної оцінки стану водопроводу слід застосовувати такі технічні показники, як вік і тип матеріалу труб, гідравлічна потужність, вплив на якість води, захист від гідроударів, швидкість розриву водопровідної магістралі, втрати води

тощо. Результати оцінки екологічного аспекту використання трубопроводів із різних матеріалів [3] показали, що трубопроводи з ковкого чавуну та сталі надавали більший вплив на навколишнє середовище, ніж труби з полівінілхлориду, поліетилену та фіброцементу на етапі виробництва. За даними досліджень [4] несуча здатність полівінілхлоридових труб при згині збільшується зі збільшенням діаметра, тому такі трубопроводи є найбільш рентабельним способом транспортування води. Як зазначили автори [5], труби та фітинги з поліетилену відрізняються тривалим терміном експлуатації, а витрати на їх обслуговування знижуються, результати дослідження впливу дезінфікуючих засобів на механічну та хімічну стійкість труб із поліетилену не показали їх руйнування після випробування тиском при постійній температурі протягом 2000 годин.

Тенденції останніх років свідчать про те, що комунальні служби вітчизняних і закордонних міст все більше уваги приділяють закритим (безтраншейним) технологіям ремонту та відновлення водопровідних трубопроводів, пов'язаним із заміною залізобетонних, чавунних і інших видів труб на труби із сучасних матеріалів:

- спосіб «труба в трубі», тобто протягування у внутрішню порожнину трубопроводу, який відновлюється, нової поліетиленової труби із зовнішнім діаметром, який є меншим за внутрішній діаметр пошкодженої ділянки [6];

- відновлення цілісності пошкоджених транспортних трубопроводів із застосуванням полімерно-композитних оболонок, армованих волокном [7];

- нанесення на внутрішню поверхню відновлювальної ділянки цементно-піщаного шару різної товщини [8];

- спосіб «панчошної» технології, коли всередину відновлювального трубопроводу протягується синтетична панчоха, яка формується в результаті полімеризації середовища, що подається під високим тиском [9];

- спосіб із використанням U-подібного трубопроводу, який протягується всередину попередньо очищеної пошкодженої ділянки з подальшим його випрямленням за допомогою теплоносія із заданою температурою [10];

- локальний ремонт труби із застосуванням 3D-реконструкції та автономного ремонтного робота [11] та ремонтної вставки, методи оцінювання пропускної здатності труби із застосуванням відеокамери [12].

На сьогодні немає наукового підходу, який дозволяє обґрунтовано обирати методи відновлення або ремонту ділянок водопровідної мережі, орієнтуючись на більшість параметрів її функціонування, відсутній однозначний механізм вибору ефективних безтраншейних методів

ремонту підземних комунікацій. Проведені дослідження направлені на визначення факторів, які впливають на гідравлічні характеристики водопровідної мережі після реконструкції окремих її ділянок.

Постановка мети і задач досліджень. Метою роботи є дослідження впливу зміни опору окремих ділянок мережі при її реконструкції на значення тиску в місці підключення водоводів до мережі. Для визначення впливу опору окремих ділянок мережі при її реконструкції на значення тиску були застосовані методи математичного моделювання опору ділянок мережі, методи гідравлічних розрахунків водопровідних мереж.

Розглянемо випадок, коли напір у місці підключення водоводів до мережі, який залежить від необхідних напорів у мережі і на який чинить вплив реконструкція окремих її ділянок, залишається постійним. Зміни надходження води в мережу не були розглянуті, тому що будь-які її зміни призводять до необхідності реконструкції насосної станції.

Для того, щоб не змінювався напір у місці підключення водоводів до мережі, необхідно, щоб не змінювались сумарні втрати напору на шляху від вузла підключення водоводів до невідгідного вузла. Сумарні втрати напору на стадії проектування можна визначити за результатами гідравлічного розрахунку, в процесі експлуатації – як різницю відповідних показників манометрів.

Сумарні втрати напору на вказаному напрямку можуть бути основою для розробки методу оцінки впливу реконструкції ділянок мережі на напір у місці підключення водоводів. Але для цього треба визначити вплив відновлювальної ділянки на загальний опір диктуючого напрямку, що розглядається.

При транспортуванні фіктивної постійної витрати Q_{ϕ} по магістральному напрямку, що характеризується сумарним фіктивним опором S_{ϕ} , виникають втрати напору, які визначаються за формулою

$$\Delta h = \sum S_{\phi i} \times Q_{\phi i}^2. \quad (1)$$

де $S_{\phi i}$, $Q_{\phi i}$ – відповідно повний опір та витрата води на i -тій ділянці.

Тоді сумарний фіктивний опір становить

$$S_{\phi} = \Delta h / Q_{\phi}^2. \quad (2)$$

При застосуванні сучасних безтраншейних методів реконструкції пошкоджених ділянок мережі застосовуються пластмасові трубопроводи, опір яких відрізняється від опору відновлювальних ділянок. Тому втрати напору в мережі змінюються. Практичне значення має оцінка впливу зміни опорів окремих ділянок на загальний фіктивний опір диктуючого напрямку.

Методика досліджень. Для дослідження впливу опору окремих ділянок на значення тиску та загальний фіктивний опір мережі була вибрана водопровідна мережа, схема якої складалась із 18 контурів, 66 ділянок та 49 вузлів. Досягнення мети передбачало виконання низки задач: моделювання 31 варіанту реконструкції мережі за кількістю окремих ділянок; моделювання для кожної ділянки 15 варіантів зміни опору: для ділянки з чавунних труб за початковим опором було розраховано діаметр пластмасового трубопроводу, для оцінки можливості використання пластмасових труб із меншим діаметром для кожної ділянки було розглянуто 3 найближчих менших діаметри за існуючим сортаментом; виконання гідравлічних розрахунків з урахуванням зміни опору кожної із ділянок; визначення напорів у місці підключення водоводів до мережі для різних значень зміни опору ділянок; аналіз отриманих результатів.

Результати досліджень. За результатами дослідження на рис.1 представлені діаграми зміни напору у вузлі підключення водоводів до мережі з урахуванням зміни питомого опору ділянок різних діаметрів. Як видно з діаграм, в результаті збільшення питомого опору ділянок мережі необхідний напір в місці підключення водоводів до мережі в більшості випадків збільшується.

Для деяких діаметрів лінії діаграм побудовані нижче нульового рівня.

При збільшенні питомого опору ділянок, що знаходились на найбільш коротких шляхах від точки підключення водоводів до невідгідної точки, напір у вузлі підключення водоводів збільшувався, що пояснюється зворотним напрямком руху води в цих ділянках по відношенню до диктуючого вузла.

Збільшення питомого опору на ділянках, що розташовані на найкоротшому напрямленні, найбільше впливають на значення напору у місці підключення водоводів (до 6%).

За отриманими даними питомий фіктивний опір, який характеризує питомий опір напрямку транспортування води в цілому, було визначено за формулою

$$S_{0нап} = \sum h / (\sum l \times Q^2), \quad (3)$$

де $\sum h$ – алгебраїчна сума втрат напору за вибраним напрямком у мережі, м; $\sum l$ – сумарна довжина всіх ділянок вибраного напрямку, м; Q – витрата води на ділянці, м³/с.

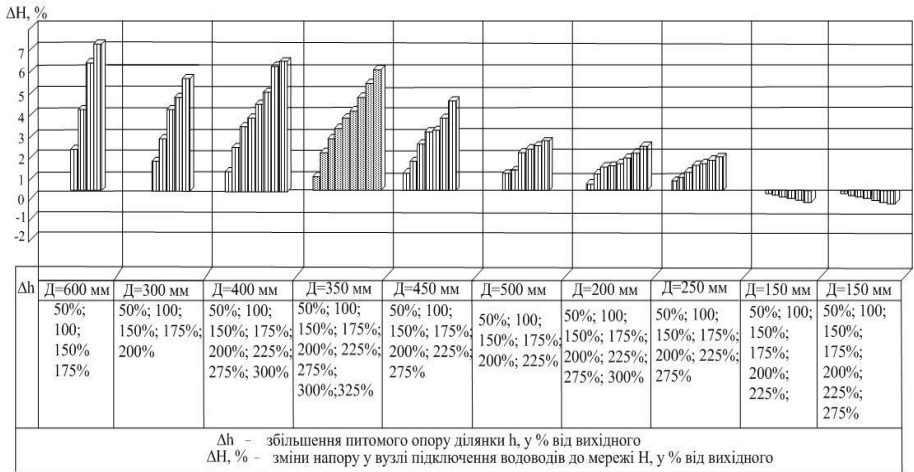


Рис. 1. Діаграми залежності напору у вузлі підключення водоводів до мережі від питомого опору ділянки



Рис. 2. Діаграми залежності питомого фіктивного опору напрямку транспортування води у мережі від питомого опору ділянки

Як видно з діаграм, представлених на рис. 2, при суттєвому збільшенні питомого опору окремих ділянок значно менше збільшується питомий фіктивний опір напрямку (у 3-4 рази).

Інтенсивність зміни фіктивного питомого опору для кожної ділянки визначається її довжиною і витратою води в ній. На значення зміни напору в місці підключення водоводів до мережі впливає не тільки диктуючий напрямок, але й наявність паралельного направлення потоків від місця підключення до невідгідної точки. Зміни фіктивного опору за диктуючим напрямком будуть впливати на значення фіктивних опорів на паралельних напрямках. Тому ступінь цього впливу повинна бути врахована під час оцінки зміни характеристик ділянки за диктуючим напрямком. Цей вплив залежить від співвідношення витрат потоків по напрямках, тобто, від співвідношення витрат на ділянках, які виходять із вузла підключення водоводів до мережі.

Висновки

1. Реконструкція ділянок, які транспортують воду до невідгідного вузла за найкоротшим шляхом, чинить найбільший вплив на значення напору в місці підключення водоводів до мережі у порівнянні з іншими ділянками.

2. Питомий опір є одним із критерієм, що дозволяє визначити діаметр пластмасового трубопроводу.

3. Перерозподіл потоків у кільцевій мережі дозволяє суттєво зменшити діаметр пластмасових труб.

4. Оцінка впливу ділянок на різних напрямках руху води у водопровідній мережі можна здійснювати за повним фіктивним опором відповідного напрямку транспортування води.

References

1. Wei L., Zhaoyang S., Min O. Lifecycle operational resilience assessment of urban water distribution networks. *Reliability Engineering & System Safety*. 2020. Vol.198. Art.106859.URL: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106859>.

2. Tuhovcaka L., Tausa M. MíkkaaIndirect P. Indirect condition assessment of water mains. *Procedia Engineering*. 2014. Vol.70. P. 1669-1678. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.184>.

3. Hajibabaei M., Nazif S. Life cycle assessment of pipes and piping process in drinking water distribution networks to reduce environmental impact. *Sustainable Cities and Society*. 2018. Vol.43. P. 538-549. URL:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.014>.
4. Al-Mahfooz M. J., Mahdi E. Bending behavior of glass fiber reinforced composite overwrapping pvc plastic pipes. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263822320325824?via%3Dihub> (дата звернення: 8.05.2022).
5. Modreaa A., Scarlatescub D. Mechanical Behavior of the HDPE Tubes Used in Water Supply Networks Determined with the Four-Point Bending Test. *Procedia Manufacturing*. 2019. №. 32. P. 194–200. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919302367>.
6. Lisong F., Shujie Z., Rui W. Strength design of tubular textile composites for pipeline rehabilitation under internal pressure. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2021.Vol.195. Art. 104572. URL:<https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104572>.
7. Lukacs J., Koncsika Zs., Chovan P. Integrity reconstruction of damaged transporting pipelines applying fiber reinforced polymer composite wraps. *Procedia Structural Integrity*. Vol.31. 2021.P. 51–57. URL: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2021.03.009>.
8. Goncharenko D.F., Starkova O.V., Bulgakov Yu.V. Metodyi zaschityi podzemnyih komunikatsiy ot vliyaniya negativnyih faktorov. Nauk. vSnik budIvnitstva: zb. nauk. prats. HarkIv: HNUBA, HOTV ABU, 2014. Vip. 4 (78). S. 82–86.
9. Mapec – Sonderlösungen für den anspruchsvollen Rohrleitungsbau. Siegen: Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH, 2012. 8 s.
10. Pressure Pipe Rehabilitation: Cipp Technologies. Liege: Sekisui SPR Sales, 2010. 12 s.
11. Reyes-Acosta A.V., Lopez-Juarez I. 3D pipe reconstruction employing video information from mobile robots. *Applied Soft Computing*. 2019. Vol.75. 2021.P. 562–574. URL:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.11.016>.
12. Nahangi M., Czerniawski T. Pipe radius estimation using Kinect range cameras. *Automation in Construction*. 2018.Vol.99. 2021. P. 197–205. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.015>.

Список використаної літератури

1. Wei L., Zhaoyang S., Min O. Lifecycle operational resilience assessment of urban water distribution networks. *Reliability Engineering & System Safety*. 2020. Vol.198. Art.106859. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106859>. 2. Tuhovcaka L., Tausa M, MikaaIndirect P. Indirect condition assessment of water mains. *Procedia Engineering*. 2014. Vol.70. P. 1669-1678. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.184>.

3. Hajibabaei M., Nazif S. Life cycle assessment of pipes and piping process in drinking water distribution networks to reduce environmental impact. *Sustainable Cities and Society*. 2018. Vol.43. P. 538-549. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.014>.
4. Al-Mahfooz M. J., Mahdi E. Bending behavior of glass fiber reinforced composite overwrapping pvc plastic pipes. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263822320325824?via%3Dihub>(дата звернення: 8.05.2022).
5. Modreaa A., Scarlatescub D. Mechanical Behavior of the HDPE Tubes Used in Water Supply Networks Determined with the Four-Point Bending Test. *Procedia Manufacturing*. 2019. №. 32. P. 194–200. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919302367>.
6. Lisong F., Shujie Z., Rui W. Strength design of tubular textile composites for pipeline rehabilitation under internal pressure. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2021.Vol.195. Art. 104572. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104572>.
7. Lukacs J., Koncsika Zs., Chovan P. Integrity reconstruction of damaged transporting pipelines applying fiber reinforced polymer composite wraps. *Procedia Structural Integrity*. Vol.31. 2021.P. 51–57. URL: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2021.03.009>.
8. Гончаренко Д.Ф., Старкова О.В., Булгаков Ю.В. Методы защиты подземных коммуникаций от влияния негативных факторов. Наук. вісник будівництва: зб. наук. праць. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2014. Вип. 4 (78). С. 82–86.
9. Mapec – Sonderlösungen für den anspruchsvollen Rohrleitungsbau. Siegen: Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH, 2012. 8 s.
10. Pressure Pipe Rehabilitation: Cipp Technologies. Liege: Sekisui SPR Sales, 2010. 12 s.
11. Reyes-Acosta A.V., Lopez-Juarez I. 3D pipe reconstruction employing video information from mobile robots. *Applied Soft Computing*. 2019. Vol.75. 2021.P. 562–574. URL: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.11.016>.
12. Nahangi M., Czerniawski T. Pipe radius estimation using Kinect range cameras. *Automation in Construction*. 2018.Vol.99. 2021. P. 197–205. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.015>.