

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
ВІДНОВЛЕННЯ МЕРЕЖ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ У  
ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД**

**APPLICATION OF EFFECTIVE TECHNOLOGIES FOR THE  
RESTORATION OF WATER TRANSPORTATION NETWORKS IN  
THE POST-WAR PERIOD**

**Добровольська О.Г., к.т.н., доцент, Чудновський П.Б., магістр  
(Запорізький національний університет)**

**Dobrovolska O.G., Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
Chudnovsky P.B., M.Sc (Zaporizhzhya National University)**

*Досліджено гідравлічні та техніко-економічні характеристики мереж транспортування води із трубопроводів з різних матеріалів. За результатами досліджень розроблені рекомендації, які дозволяють комунальним підприємствам за результатами визначення вузлових тисків з урахуванням матеріалу трубопроводів при проєктуванні мереж та при реконструкції окремих її ділянок, визначати кількість та місця розташування контрольних вузлів.*

*The hydraulic and technical and economic characteristics of water transportation networks using pipelines made of different materials were studied. Based on the results of the research, recommendations have been developed that allow utilities to determine the number and location of control units based on the results of determining nodal pressures, taking into account the material of pipelines when designing networks and reconstructing individual sections of them.*

*The relevance of the issue under consideration is explained by the fact that many Ukrainian utilities have faced major challenges the wartime. A sound approach to the construction, reconstruction, and modernization of water transportation networks will make a significant contribution to the restoration of urban infrastructure and reduce the dependence of utilities on external energy resources.*

*This paper analyzes changes in the hydraulic and technical and economic performance of the water supply network, taking into account the use of pipelines made of different materials for its construction and reconstruction. It is shown how the design pressure, capital and operating costs change when using pipelines made of cast iron, reinforced concrete, and polyethylene. The research results are presented in the form of a piezometric map, hydraulic and technical and economic indicators. The tasks to be solved by the flow distribution control system during the restoration and modernization of water transportation networks are defined.*

*Modeling of water supply networks schemes during their reconstruction and modernization, analysis of pressure zones in the network allows determining the required*

*number of pressure control units and their locations, taking into account the need. A distinctive feature of this approach to flow distribution management is the timely prevention of emergency water losses and the selection of priority areas for network modernization. Recommendations on flow distribution management can be offered for implementation in the work of the dispatching service of the Zaporizhzhia utility company*

**Ключові слова:** *матеріал трубопроводів, реконструкція мереж, динаміка тисків, гідравлічні показники, економічні показники.*

**Keywords:** *pipeline material, network reconstruction, pressure dynamics, hydraulic indicators, economic indicators.*

**Вступ.** В умовах війни енергоефективність всіх інженерних систем набуває нового значення, перед багатьма комунальними підприємствами України постали великі виклики. Це пов'язано з проведенням бойових дій, масованих обстрілів, результатом чого є повне або часткове руйнування інфраструктури міст.

Структурними підрозділами Державної установи «Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я» здійснюються моніторингові дослідження якості питної води у місцях водозаборів, на водопровідних спорудах і мережах централізованого господарсько-питного водопостачання на території Запорізької області. Станом на сьогодні проби на мікробіологічні та санітарно-хімічні показники відповідають прийнятим нормативам. Але в умовах воєнного стану з'являються додаткові фактори, що впливають на якість водозабезпечення.

За прогнозами, до 2050 року майже 70% населення світу проживатиме в урбанізованій місцевості, що вимагатиме вдвічі більше будівельного фонду. Ефективне використання енергії води, врахування якості життя мешканців при проєктуванні, будівництві та експлуатації є одними з головних принципів, яким повинно відповідати зелене будівництво. Розумний підхід до відновлення та модернізації мереж транспортування води дозволить зробити вагомий вклад у відновлення міської інфраструктури, зменшити залежність від зовнішніх енергоресурсів.

**Аналіз останніх досліджень.** Значна частина водопровідних мереж в Україні перебувала в аварійному стані ще в довоєнний час [1], воєнні дії погіршили цю ситуацію: «в аварійному стані знаходиться 35% водопровідних мереж, 38% мереж водовідведення та майже 30% насосних агрегатів» [2]. В європейських країнах, зокрема, в Польщі, Словенії, Хорватії та інших, мережі транспортування води побудовані зі сталевих

трубопроводів, пропускна здатність яких змінюється у часі в результаті впливу корозійних процесів [3]. У складних умовах воєнного часу в Україні було прийнято Закон «Про Загальнодержавну цільову соціальну програму «Питна вода України» на 2022 – 2026 роки» [4]. В рамках її виконання планується реалізувати понад 1,7 тисячі проєктів, зокрема побудувати 280 водопровідних та очисних споруд, 290 водозабірних споруд і понад тисячу водопровідних мереж [4].

Аварії на водопровідних мережах є проблемою комунальних підприємств багатьох країн. Контроль тиску в мережах транспортування води дозволяє зменшувати втрати води, особливо для мереж із тривалим періодом експлуатації. Так, для міста Гамільтон автори [5] пропонують імовірнісний підхід, який враховує розрахункове співвідношення між швидкістю розриву труби та максимальним тиском, значення якого отримані за допомогою моделювання Монте-Карло. Для локалізації аварій на мережах та усунення втрат води фахівцями [6] запропоновано методіку на основі вимірювання вібраційного стану трубопроводів, що може бути пов'язано з самим рухом потоку. За даними [7] розроблено модель для розрахунку оптимального часу заміни труб у водопровідній мережі, так, за результатом досліджень виходить, що оптимальний час заміни для міста Афіни становить 69 років після початку експлуатації мережі.

Для визначення критичного стану трубопроводів науковцями [8] розроблено схему, яка оцінює деградацію водопровідних труб із часом, розробка дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та витрати на технічне обслуговування комунальних підприємств протягом усього періоду експлуатації мереж.

За результатами проведеного економічного аналізу в дослідженнях [9] запропоновано контролювати тиски в реальному часі за допомогою звичайних редуційних клапанів та знижувати їх значення, застосовуючи клапани з дистанційним керуванням у режимі реального часу після збільшення експлуатаційних витрат та витрат на технічне обслуговування мережі.

За даними журналів обліку виникнення і ліквідації аварій та ремонтних робіт на водопровідних мережах, у які робітники аварійної служби комунального підприємства «Водоканал» (м. Запоріжжя) вносять інформаційні дані щодо виявлення поривів трубопроводів, були проаналізовані об'єми втрат води на трубопроводах із різних матеріалів – чавунних, сталевих, поліетиленових, які мають різні терміни початку

експлуатації – від 1940 р. до 2019 р. За результатами аналізу були побудовані діаграми, представлені на рис. 1.

Поліетиленові трубопроводи були введені в експлуатацію у 80–90 роках минулого століття. Найбільші об'єми втрат води в результаті пошкоджень трубопроводів спостерігаються на мережах із чавунних трубопроводів для ділянок, які експлуатуються з 1970–80 років, що у 1,5–2 рази перевищує об'єми втрат води на ділянках зі сталевих трубопроводів.

Враховуючи наслідки воєнних дій, житловий фонд багатьох міст, інженерні комунікації, система благоустрою, зелене господарство потребують реконструкції та модернізації.

Впровадження програм застосування нових енергоощадних та екологічно привабливих технологій, новітнього устаткування для водопровідно-каналізаційного господарства, є необхідною умовою реалізації подібних проєктів.

**Постановка мети та задач досліджень.** Метою роботи є дослідження впливу матеріалу трубопроводів на гідравлічні та економічні показники функціонування мереж транспортування води.

Об'єкт дослідження – мережа транспортування води одного із житлових районів м. Запоріжжя, яка складається із 18 контурів, 49 вузлів та 66 розрахункових ділянок, які входять до складу контурів та однієї тупикової ділянки. Предмет дослідження – гідравлічні та економічні показники функціонування мережі транспортування води.

**Методика досліджень.** Аналіз впливу матеріалу трубопроводів водопровідної мережі на її техніко-економічні показники виконано за наступною методикою: визначення розрахункових вузлових і шляхових витрат води; визначення початкового поточкорозподілу для режиму максимального водоспоживання та вибір діаметрів ділянок мережі; гідравлічний розрахунок мережі транспортування води МТВ1, матеріал трубопроводів – новий чавун; гідравлічний розрахунок мережі транспортування води МТВ2, матеріал трубопроводів – неновий чавун; гідравлічний розрахунок мережі транспортування води МТВ3, матеріал трубопроводів – поліетилен; гідравлічний розрахунок мережі транспортування води МТВ4, матеріал трубопроводів – залізобетон; гідравлічний розрахунок комбінованої мережі МТВ5, матеріали – неновий чавун, поліетилен); аналіз зміни гідравлічних показників мереж із різних матеріалів (мережі МТВ1 – МТВ 5); аналіз економічних показників мереж із різних матеріалів (для мереж МТВ1– МТВ5).

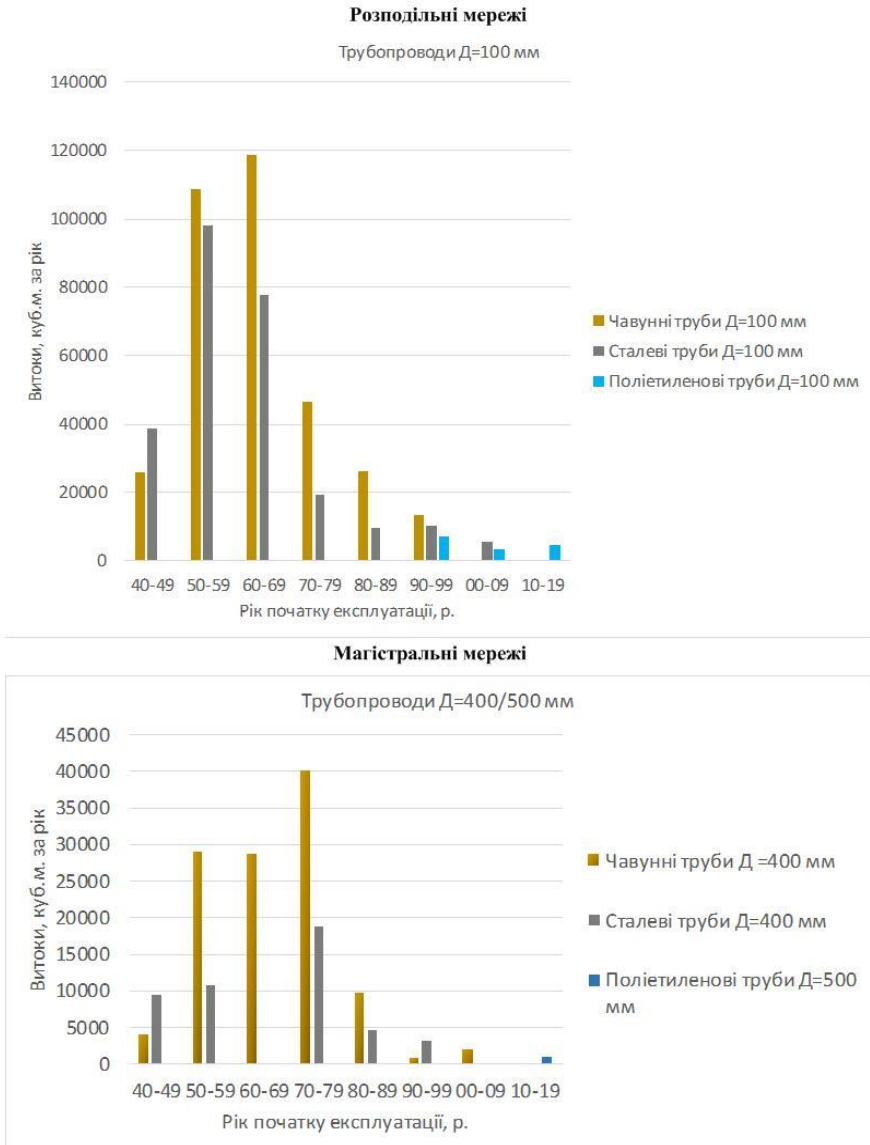


Рис. 1. Аналіз втрат води на трубопроводах із різних матеріалів

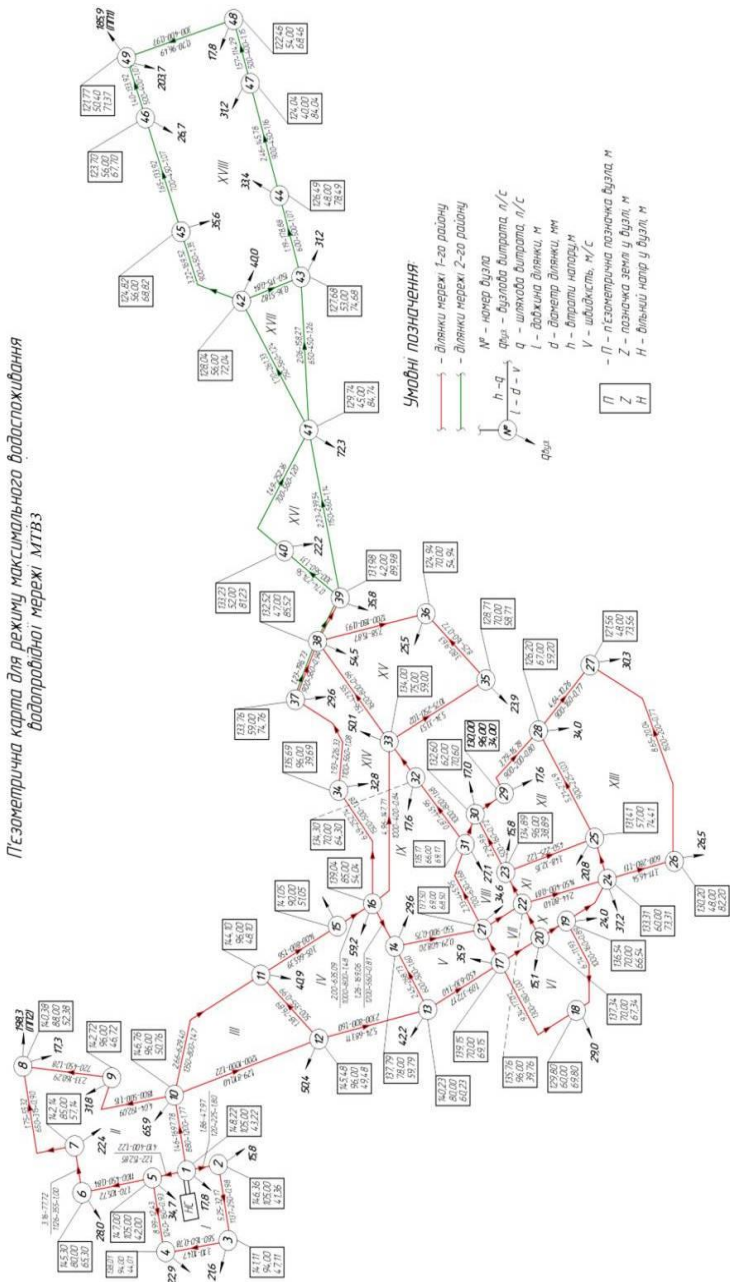


Рис. 2. П'єзометрична карта для мережі транспортування води МТВЗ із поліетиленових труб

**Результати досліджень.** За результатами гідравлічних розрахунків побудовані п'єзометричні карти для варіантів мереж транспортування води МТВ1–МТВ5, для схеми мережі транспортування води із поліетиленових труб п'єзометрична карта показана на рис. 2.

У таблиці 1 представлені результати розрахунків вільних тисків у вузлі приєднання водоводів насосної станції до мережі Н(1) та відхилення значень цих тисків  $\Delta H$  для мереж із різних матеріалів МТВ2–МТВ3 від значення Н(1) для вихідної мережі МТВ 1 з нових чавунних трубопроводів.

Таблиця 1

Результати визначення вільних тисків у вузлі №1 для мереж із різних матеріалів

№ п/п	Мережа	Н(1), м	$\Delta H$ , %
1	МТВ1	47,7	0,00
2	МТВ2	51,4	7,20
3	МТВ3	43,2	-10,3
4	МТВ4	47,0	-1,3
5	МТВ5	47,2	-1,1

Результати розрахунку техніко-економічних показників для вихідної мережі з чавунних труб МТВ1, мережі із поліетиленових труб МТВ3 та мережі МТВ4 з ділянками із залізобетонних трубопроводів представлені у таблиці 2.

Таблиця 2

Техніко-економічні показники

Показник	Одиниці вимірювань	МТВ1	МТВ 3	МТВ 4
Річні витрати електроенергії	тис.грн	275,942	267,182	271,562
Капітальні витрати	тис.грн	468781,62	215046,43	259062
Експлуатаційні витрати	тис.грн	83009,8	38814,15	46495,7
Приведені витрати	тис.грн	153327	71071,1	85355

Як видно з таблиці 1, спостерігається збільшення вільного напору у вузлі №1 для мережі МТВ 2 із нових чавунних труб на 7,2% у

порівнянні з мережею МТВ1, наслідком чого є зниження вільних тисків у вузлах мережі, в тому числі у невідповідній точці, тобто не забезпечуються необхідні напори у споживачів. Збільшення вільного напору у вузлі №1 для мережі МТВ2 показує збільшення загального опору мережі в цілому (збільшення втрат напору на ділянках мережі), у зв'язку зі зростанням гідравлічного опору. Для мережі МТВ3 розрахунковий вільний напір у вузлі №1 нижчий за такий для мережі МТВ1 на 10,27%, наслідком чого є зменшення витрат електроенергії для насосної станції.

Для мережі МТВ3 з пластикових труб необхідний вільний напір є найнижчим з усіх розглянутих варіантів мереж, що показує найнижчий загальний опір мережі в цілому (найменші гідравлічні опори ділянок), при цьому забезпечуються швидкості руху води, рекомендовані будівельними нормами [10]. Заміна 50,7% ділянок від загальної довжини мережі поліетиленовими трубопроводами дозволяє зменшити розрахунковий напір у мережі із ненових чавунних труб до розрахункових значень, визначених на початку проектування мережі. Результати розрахунку техніко-економічних показників показали найнижчі капітальні та експлуатаційні витрати для мережі транспортування із поліетиленових трубопроводів.

### **Висновки**

Встановлено, що при реконструкції окремих ділянок мережі змінюється динаміка вузлових тисків.

1. Оптимальні гідравлічні характеристики водопровідних мереж досягаються при застосуванні поліетиленових трубопроводів для їх будівництва та реконструкції.
2. За результатами техніко-економічних розрахунків найбільш ефективною є мережа із поліетиленових трубопроводів.
3. Запропоновано виконувати аналіз динаміки вузлових тисків із урахуванням матеріалу трубопроводів при проектуванні мереж транспортування води та при реконструкції окремих її ділянок для визначення зони недостатніх та надмірних тисків.
5. Для запобігання виникненню аварійних ситуацій запропоновано влаштовувати вузли контролю тиску у вузлах, враховуючи межі зон надмірних і недостатніх тисків.



## References

1. Krylova I. I. Analiz suchasnoho stanu sfery vodopostachannia ta vodovidvedennia v Ukraini. *Investysyii: praktyka ta dosvid*. 2018. № 23. S. 118–125. DOI: 10.32702/2306-6814.2018.23.118. 2. Tsentralne vodopostachannia Ukrainy: skilky merezh perebuvaie v avariinomu stani. URL:<https://www.slovoidilo.ua/2021/06/11/infografika/suspilstvo/centralne-vodopostachannya-ukrayiny-skilky-merezh-perebuvaie-avarijnomu-stani>. 3. Han Liu<sup>1</sup>, Ya Chzhan<sup>2</sup>, Villem-Yan Knibbe<sup>3</sup>, Tsuitsze Fen<sup>4</sup>. Potentsiinyi vplyv zminy yakosti vodopostachannia na rozpodil pytnoi vody: ohliad. *Doslidzhennia vody*, 2017. T. 116. S. 135–148. 4. Zakon Ukrainy «Pro Zahalnodержavnu tsilovu sotsialnu prohramu "Pytna voda Ukrainy" na 2022 - 2026 roky». URL:<https://ips.ligazakon.net/document/JI05633A>. 5. [Ghorbanian V.](#), [Guo Y.](#), [Karney B.](#) Field Data–Based Methodology for Estimating the Expected Pipe Break Rates of Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2016. V.142. DOI:[10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000686](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000686). 6. Fabbiano L., Vacca G., Dinardo G. Smart water grid: A smart methodology to detect leaks in water distribution networks. *Measurement*, 2020. V.151. URL: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107260>. 7. [Kanakoudis V.](#) The role of leaks and breaks in water networks – technical and economical solutions. *Aqua*, 2001. V. 50(5). P. 301-311. URL: <https://doi.org/10.2166/aqua.2001.0025>. 8. [Mann E.](#), [Frey J.](#) Optimized Pipe Renewal Programs Ensure Cost-Effective Asset Management. *In Proceedings of Pipelines*, ASCE, 2011 Conference, Seattle, Washington, 23–27 July, pp. 44–54. URL:<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/41187%28420%295>. 9. [Creaco E.](#), [Walski T.](#) Economic Analysis of Pressure Control for Leakage and Pipe Burst Reduction. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2017. V.143 (12). URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000846](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000846) 10. DBN V.2.5 – 74:2013 Vodopostachannia. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennia proiektuvannia. [Chynnyi vid 2014-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : Ministerstvo rehionalnoho rozvytku budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy. 2013. 172 s. URL: [https://polyplastic.ua/files/DSTU/dbn\\_v.2.5\\_74\\_2013.pdf](https://polyplastic.ua/files/DSTU/dbn_v.2.5_74_2013.pdf).

## Література

1. Крилова І. І. Аналіз сучасного стану сфери водопостачання та водовідведення в Україні. *Інвестиції: практика та досвід*. 2018. № 23. С. 118–125. DOI: [10.32702/2306-6814.2018.23.118](https://doi.org/10.32702/2306-6814.2018.23.118).
2. Центральне водопостачання України: скільки мереж перебуває в аварійному стані. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2021/06/11/infografika/suspilstvo/centralne-vodopostachannya-ukrayiny-silkyy-merezh-perebuyaye-avariynomu-stani>. Liu G., Zhang Y., Knibbe W., Feng C., Liu W., Medemabd G. [Potential impacts of changing supply-water quality on drinking water distribution.](#) *Water Research*, 2017. V. 116. P. 135–148. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135417302099?via%3Dihub>.
3. Закон України «Про Загальнодержавну цільову соціальну програму "Питна вода України" на 2022 - 2026 роки». URL: <https://ips.ligazakon.net/document/JI05633A>.
4. Ghorbanian V., Guo Y., Karney B. Field Data-Based Methodology for Estimating the Expected Pipe Break Rates of Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2016. V.142. DOI: [10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000686](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000686).
5. Fabbiano L., Vacca G., Dinardo G. Smart water grid: A smart methodology to detect leaks in water distribution networks. *Measurement*, 2020. V.151. URL: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107260>.
6. Kanakoudis V. The role of leaks and breaks in water networks – Technical and economical solutions. *Aqua*, 2001. V. 50(5). P. 301-311. URL: <https://doi.org/10.2166/aqua.2001.0025>.
7. Mann E., Frey J. Optimized Pipe Renewal Programs Ensure Cost-Effective Asset Management. *In Proceedings of Pipelines*, ASCE, 2011 Conference, Seattle, Washington, 23–27 July, pp. 44–54. URL: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/41187%28420%295>.
8. Creaco E., Walski T. Economic Analysis of Pressure Control for Leakage and Pipe Burst Reduction. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2017. V.143 (12). URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000846](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000846).
9. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України. 2013. 172 с. URL: [https://polyplastic.ua/files/DSTU/dbn\\_v.2.5\\_74\\_2013.pdf](https://polyplastic.ua/files/DSTU/dbn_v.2.5_74_2013.pdf).