

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.397-404

УДК 621.6

к.т.н., доцент **Кравчук О.А.**,
kravchuk.oa2@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6578-8896,
к.е.н., доцент **Лаврухіна К.О.**,
lavrukhina.ko@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2417-7153,
Кострич Б.О.,
kostrych_bo@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0005-4515-6943,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ В УМОВАХ ЕКОНОМІЧНИХ ВИКЛИКІВ І ВОЄННИХ ДІЙ В УКРАЇНІ

Присвячено дослідженню сучасних підходів та перспектив підвищення енергоефективності насосних станцій систем водопостачання та водовідведення в умовах економічних викликів та воєнних дій в Україні. Вона включає аналіз поточного технічного стану обладнання, оцінку енергоспоживання, огляд найбільш ефективних технологій та методів модернізації, а також визначення основних проблем, викликів та перспектив щодо їх впровадження з урахуванням обмежених ресурсів та необхідності підвищення стійкості до кризових ситуацій. Підкреслено важливість системного та комплексного підходу до модернізації насосних станцій як інструменту забезпечення надійності критичної інфраструктури, зниження енергозатрат та здатності протистояти зовнішнім викликам.

Ключові слова: насос; насосна станція; водопостачання; водовідведення; енергоефективність.

Постановка проблеми. Системи водопостачання та водовідведення відіграють критично важливу роль у забезпеченні життєдіяльності населення та функціонуванні промисловості. Проте в умовах сучасних економічних викликів та воєнних дій в Україні їхня стабільна робота опинилась під загрозою. Значна частина систем водопостачання та водовідведення має високий рівень фізичного зносу, морально застаріле обладнання та характеризується неефективним енергоспоживанням.

Воєнні дії також завдали значних пошкоджень інфраструктурі, що спричинило необхідність оперативного відновлення систем водопостачання за умов обмежених фінансових і технічних ресурсів [1]. Додатковий тиск створює енергетична криза, яка супроводжується зростанням цін на енергоносії,

дефіцитом електроенергії та перебоями в її постачанні, оскільки енергетична складова витрат насосних станцій складає до 60% від загальних операційних витрат підприємств водопостачання [2]. Це посилює навантаження на бюджети підприємств водоканалів, які часто стикаються з фінансовими труднощами, обмеженими можливостями модернізації та зростаючим попитом на послуги.

Крім того, міжнародні зобов'язання України щодо скорочення викидів парникових газів та адаптація до стандартів ЄС у сфері екології стимулюють модернізацію водопровідних мереж. Інноваційні рішення можуть одночасно сприяти економії ресурсів, покращенню екологічної ситуації та підвищенню стійкості системи в умовах кризи [3].

Таким чином, питання підвищення енергоефективності насосних станцій систем водопостачання та водовідведення є актуальним як з економічної, так і з соціальної точки зору. Воно вимагає комплексного підходу, який має враховувати потреби відновлення інфраструктури, впровадження інноваційних технологій, забезпечення енергетичної стійкості та мінімізації витрат.

Аналіз сучасного стану насосних станцій в Україні. На сьогоднішній день більшість насосних станцій експлуатується у складних умовах. Більш ніж половина насосів, що використовуються, працює понад 20 років і перевищила термін своєї експлуатації. Це призводить до частих поломок, значних витрат на ремонт та низького коефіцієнта корисної дії (ККД). Застаріле обладнання не відповідає стандартам енергоефективності, що збільшує експлуатаційні витрати. Багато насосних станцій все ще працюють без сучасних систем моніторингу та автоматизації, що ускладнює оперативне реагування на зміни в роботі [4].

Через обстріли та інші воєнні дії значна частина насосних станцій зазнала руйнувань та пошкоджень. Особливо постраждали об'єкти в Донецькій, Луганській, Харківській, Херсонській, Сумській областях, що унеможливило нормальне водопостачання та водовідведення, ускладнює доступ до води для побутових потреб, промисловості та сільського господарства [5, 6].

Насосні станції є найбільшими споживачами електроенергії у системах водопостачання та водовідведення. Через застарілі технології регулювання, енерговитрати є значно вищими, ніж могли б бути при застосуванні сучасного обладнання [7]. Крім цього, пошкодження енергетичної інфраструктури, спричинені воєнними діями, призводять до перебоїв у постачанні електроенергії, що також негативно впливає на стабільність роботи насосних станцій.

Метою представленої роботи є дослідження сучасних підходів до підвищення енергоефективності насосних станцій систем водопостачання та водовідведення в Україні в умовах економічних викликів та воєнних дій, що

включає аналіз технічного стану обладнання, оцінку енергоспоживання, визначення найбільш ефективних технологій та методів модернізації, а також розробку рекомендацій щодо їх впровадження з урахуванням обмежених ресурсів та підвищення стійкості до кризових ситуацій.

Сучасні рішення для підвищення енергоефективності насосних станцій. На сьогоднішній день технічний прогрес пропонує низку інноваційних рішень, які можуть значно зменшити енергоспоживання насосних станцій [8, 9].

Модернізація обладнання: встановлення сучасних насосів з високим коефіцієнтом корисної дії (ККД) та новітніх електродвигунів класу енергоефективності IE3 або IE4 відповідно до Регламенту ЄС 2019/1781.

Використання частотних перетворювачів: частотні перетворювачі дозволяють регулювати швидкість обертання двигунів, забезпечуючи оптимальний режим роботи насосів відповідно до реального споживання води. Це не лише знижує витрати енергії, але й зменшує зношення обладнання, подовжуючи термін його експлуатації.

Автоматизація та моніторинг: впровадження системи моніторингу та автоматизації для контролю параметрів роботи насосних станцій у режимі реального часу; забезпечення можливості управління та діагностики насосних станцій на відстані для підвищення безпеки персоналу в умовах бойових дій; встановлення датчиків для моніторингу витрат, тиску та споживання енергії.

Оптимізація гідравлічних систем: зниження гідравлічних втрат в системах завдяки використанню трубопроводів з гладкими внутрішніми стінками та оптимізації їх діаметра; перепланування мереж трубопроводів для мінімізації споживання енергії за рахунок скорочення відстані перекачування; використання обладнання для підтримки оптимального тиску в системах.

Використання альтернативних джерел енергії: інтеграція відновлюваних джерел енергії (сонячні панелі, вітряки) для живлення насосних станцій у регіонах з відповідним кліматом; встановлення енергетичних систем накопичення (акумуляторів) або генераторів для забезпечення безперебійної роботи в умовах перебоїв з енергопостачанням; комбінування електричної мережі та локальних джерел енергії для підвищення автономності (гібридні системи живлення).

Фінансові та організаційні рішення: впровадження державних програм фінансування для модернізації критичної інфраструктури; залучення інвестицій від приватних компаній для реалізації проєктів з енергоефективності; використання грантів та кредитів від міжнародних організацій на підтримку комунальних підприємств.

Освітні та наукові ініціативи: організація навчання для технічного персоналу з питань енергоефективності; підтримка наукових досліджень щодо інновацій у сфері водопостачання та водовідведення.

Застосування перелічених технічних рішень дозволить значно зменшити енергоспоживання насосних станцій, скоротити витрати на експлуатацію, підвищити надійність і забезпечити стабільність роботи навіть в умовах кризи. Це є стратегічно важливим для підтримки водопостачання та водовідведення в умовах воєнних дій і економічних викликів.

Перешкоди та виклики впровадження енергоефективних технологій.

Однією з головних перешкод для модернізації насосних станцій є значна вартість енергоефективного обладнання. Сучасні насоси зі змінною частотою обертів, системи автоматизації та моніторингу, а також відновлювані джерела енергії потребують значних фінансових вкладень. Для багатьох комунальних підприємств такі витрати є непосильними, особливо в умовах економічної кризи та підвищення цін на енергоресурси.

Економічна нестабільність, спричинена війною, значно обмежує можливості фінансування проєктів із підвищення енергоефективності. Багато місцевих бюджетів спрямовані на відновлення критичної інфраструктури, ліквідацію наслідків бойових дій та забезпечення базових потреб населення. До того ж, міжнародні інвестори та донори часто обмежують фінансування проєктів у зонах активних бойових дій через високі ризики. Як наслідок, впровадження енергоефективних технологій відкладається на невизначений термін.

Успішне впровадження енергоефективних рішень вимагає наявності кваліфікованих кадрів, здатних обслуговувати сучасне обладнання та працювати із системами автоматизації. Однак багато комунальних підприємств стикаються з браком фахівців, які мають достатній досвід і знання у сфері енергоефективності.

Додатковою проблемою є трудова міграція: через війну та економічну кризу частина спеціалістів покинула свій регіон або країну, що погіршило ситуацію з кадровим забезпеченням.

Перспективи та можливості впровадження енергоефективних технологій. Незважаючи на обмеженість фінансових ресурсів, інвестиції в енергоефективність насосних станцій є економічно доцільними у середньо- та довгостроковій перспективі. Встановлення сучасного обладнання з високим ККД, частотних перетворювачів та систем автоматизації дозволяє зменшити енергоспоживання на 20-30%, залежно від стану існуючої інфраструктури [8]. Економічний ефект таких інвестицій може бути виражений через скорочення експлуатаційних витрат, зниження залежності від зростання тарифів та

підвищення надійності роботи систем. Наприклад, модернізація одного середнього насосного агрегату може окупитися протягом 3-5 років за рахунок економії електроенергії.

Крім того, залучення коштів міжнародних донорів та державних програм з енергоефективності, які активно підтримуються в умовах війни, відкриває додаткові можливості для впровадження інноваційних рішень. Грантове фінансування, пільгові кредити та субсидії можуть суттєво знизити фінансовий бар'єр для реалізації таких проєктів. Важливим аспектом є те, що багато грантових програм передбачають також технічну допомогу в реалізації проєктів, що дозволяє мінімізувати ризики та збільшити ефективність витрат.

Інвестування в енергоефективність також сприяє підвищенню екологічної стійкості підприємств, що відповідає сучасним тенденціям сталого розвитку. Завдяки зменшенню обсягів споживаної енергії скорочуються викиди парникових газів, що є важливим чинником з огляду на зобов'язання України у сфері кліматичних змін [3].

Впровадження цифрових технологій та кластерних ініціатив відіграє важливу роль у підвищенні енергоефективності насосних станцій водопостачання та водовідведення, зокрема в умовах нестабільності та воєнного часу. Використання цифрових платформ для моніторингу, оптимізації і прогнозування енергоспоживання, а також створення кластерів для обміну технологіями, знаннями та ресурсами, координації дій у кризових ситуаціях, дозволяє знизити ризики, пов'язані з енергетичними проблемами, і підвищити ефективність роботи насосних станцій [10, 11].

Важливим аспектом перспектив розвитку є включення енергоефективних заходів у стратегії післявоєнного відновлення України. Враховуючи масштаб руйнувань, післявоєнний період відкриває нові можливості для комплексної модернізації інфраструктури. Впровадження енергоефективних технологій стане не лише економічно вигідним, але й важливим кроком у забезпеченні сталого розвитку [12].

Висновок.

Модернізація насосних станцій є критично важливою для забезпечення стабільності водопостачання в Україні, особливо в умовах воєнних дій та економічної нестабільності. Впровадження енергоефективних технологій дозволить знизити витрати на електроенергію, підвищити надійність системи та зменшити залежність від зовнішніх постачальників енергоресурсів. Не зважаючи на такі виклики, як продовження воєнних дій, висока вартість модернізації, брак фінансування та кваліфікованих кадрів, міжнародна підтримка, державні програми та публічно-приватні партнерства створюють можливості для залучення інвестицій і впровадження інновацій. Створення

сприятливих умов для інвестування в енергоефективність має стати важливою складовою стратегії економічного відновлення та сталого розвитку України.

Література

1. Кравченко О., Хоружий В., Каніболоцький В. Особливості експлуатації систем питного водопостачання в умовах воєнного часу. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2022. Вип. 38. С. 18-37. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.38.18-37>.
2. Чорній В. Вплив війни на енергетичну систему України. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки*. 2022. Том 304, № 2 (2). С. 196-202. [https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-304-2\(2\)-31](https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-304-2(2)-31).
3. Васильківський Д., Сисюк В. Європейські механізми підвищення енергоефективності економіки та перспективи їх впровадження в Україні. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 66. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-44>.
4. Основні підсумки узагальнення досвіду експлуатації систем централізованого водопостачання/водовідведення під час воєнних дій. Заходи з відновлення і подальшого сталого розвитку підприємств ВКГ. *Виробничо-практичний журнал «Водопостачання та водовідведення» (Спецвипуск)* / гол. ред. О.П. Мудрий. 2022. Вип. 6. 68 с.
5. Кравчук О., Андріященко О., Левітін В., Єремченко Л., Лаврухіна К. Рекомендації щодо особливостей роботи насосних станцій водопостачання та водовідведення в період воєнних дій. *Містобудування та територіальне планування*. 2024. Вип. 85. С. 268-276. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.268-276>.
6. Кравчук О., Возний О. Основні виклики та заходи для забезпечення стабільної роботи насосних станцій систем водопостачання та водовідведення під час воєнних дій. *Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених «Build-Master-Class-2024»*, Київ, 05.11-07.11.2024. Київ: КНУБА, 2024. С. 235-236.
7. Abdelsalam A.A., Gabbar H. A. Energy saving and management of water pumping networks. *Heliyon*. 2021. Vol. 7, No 8. e07820. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07820>.
8. Gan X., Pei J., Pavesi G., Yuan S., Wang W. Application of intelligent methods in energy efficiency enhancement of pump system: A review. *Energy Reports*. 2022. Vol. 8, 11592–11606. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.016>.
9. Кравчук О., Кострич Б. Сучасні підходи та методи підвищення енергоефективності насосних станцій систем водопостачання та водовідведення. *Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених «Build-Master-Class-2024»*, Київ, 05.11-07.11.2024. Київ: КНУБА, 2024. С. 237-238.
10. Лаврухіна К., Кравчук О. Інноваційні аспекти кластерних ініціатив в умовах цифровізації економіки України. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2024. Вип. 2 (38). С. 21-33. [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2\(38\)-21-33](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2(38)-21-33).
11. Лаврухіна К. Кластери в промислових екосистемах – нові інноваційні тренди розвитку повоєнної України. *Екологічна безпека та природокористування*. 2023. Т. 48, № 4. С. 62-73. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.4.62-73>.
12. Мініна О., Коваль В. Ключові аспекти повоєнного відновлення України на засадах сталого розвитку. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2024. Вип. 2 (38). С. 9-20. [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2\(38\)-9-20](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2(38)-9-20).

Ph.D., Associate Professor **Kravchuk Oleksandr**,
Ph.D., Associate Professor **Lavrukhina Kateryna**, **Kostrych Bohdan**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

PROSPECTS FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF WATER SUPPLY AND WASTEWATER PUMPING STATIONS IN THE CONTEXT OF ECONOMIC CHALLENGES AND MILITARY ACTIONS IN UKRAINE

This paper is dedicated to the analysis of the prospects for improving the energy efficiency of water supply and wastewater pumping stations in Ukraine under the conditions of economic challenges and military actions. An assessment of the current state of pumping stations in Ukraine is presented, highlighting their technical obsolescence, high energy consumption, and vulnerability in crisis situations. The study explores innovative technologies, including the use of modern pumps, frequency converters, automation systems, hydraulic system optimization, and the integration of renewable energy sources, all of which contribute to the optimization of pump operations. Particular attention is given to the obstacles and challenges to implementing energy-efficient technologies, such as a lack of funding, infrastructure damage, and insufficient technical qualifications of personnel. The potential for integrating modern technologies, digitalization, renewable energy sources, state programs, and international cooperation for attracting investment is outlined. The paper emphasizes the importance of a systemic approach to the modernization of pumping stations as a tool for ensuring the reliability of critical infrastructure, reducing energy costs, and enhancing resilience to external challenges.

Keywords: pump; pumping station; water supply; water sewerage; energy efficiency.

REFERENCES

1. Kravchenko, O., Khoruzhy, V., & Kanibolotsky, V. (2022). Peculiarities of operation of drinking water supply systems in wartime. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, 38, 18-37. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.38.18-37>. {in Ukrainian}
2. Chornii, V. (2022). Impact of the war on the energy system of Ukraine. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*, 304(2(2)), 196-202. [https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-304-2\(2\)-31](https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-304-2(2)-31). {in Ukrainian}
3. Vasylykivskyi, D., & Sysyuk, V. (2024). European mechanisms for increasing the energy efficiency of the economy and prospects for their implementation in Ukraine. *Economy and Society*, (66). {in Ukrainian} <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-44>. {in Ukrainian}

4. Osnovni pidsumky uzahalnennia dosvidu ekspluatatsii system tsentralizovanoho vodopostachannia/vodovidvedennia pid chas voiennykh dii. Zakhody z vidnovlennia i podalshoho staloho rozvytku pidpriemstv VKH. (2022). *Industrial and practical magazine "Water supply and drainage"*, 6, 68. {in Ukrainian}
5. Kravchuk, O., Andriiashchenko, O., Levitin, V., Yeremchenko, L., & Lavrukhina, K. (2024). Recommendations regarding the operation features of water supply and sewerage pumping stations during military actions. *Urban Development and Spatial Planning*, (85), 268-276. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.268-276>. {in Ukrainian}
6. Kravchuk, O., Voznyi, O. (2024). Main challenges and measures to ensure stable operation of pumping stations of water supply and sewerage systems during military actions. *International Scientific and Practical Conference of Young Scientists «BUILD-MASTER-CLASS-2024»*. Kyiv, KNUCA. 235-236. {in Ukrainian}
7. Abdelsalam, A. A., & Gabbar, H. A. (2021). Energy saving and management of water pumping networks. *Heliyon*, 7(8), e07820. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07820>. {in English}
8. Gan, X., Pei, J., Pavesi, G., Yuan, S., & Wang, W. (2022). Application of intelligent methods in energy efficiency enhancement of pump system: A review. *Energy Rep.*, 8, 11592-11606. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.016>. {in English}
9. Kravchuk, O., Kostrych, B. (2024). Modern approaches and methods for improving energy efficiency of pumping stations in water supply and sewerage systems. *International Scientific and Practical Conference of Young Scientists «BUILD-MASTER-CLASS-2024»*. Kyiv, KNUCA. 237-238. {in Ukrainian}
10. Lavrukhina, K., & Kravchuk, O. (2024). Innovative aspects of cluster initiatives in the context of digitalization of Ukraine's economy. *Problems and Prospects of Economics and Management*, 2 (38), 21-33. [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2\(38\)-21-33](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2(38)-21-33). {in Ukrainian}
11. Lavrukhina, K.O. (2023). Clusters in industrial ecosystems – new innovative trends in the development of post-war Ukraine. *Environmental Safety and Natural Resources*, 48(4), 62-73. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.4.62-73>. {in Ukrainian}
12. Minina, O., & Koval, V. (2024). Key aspects of the post-war reconstruction of Ukraine based on sustainable development. *Problems and Prospects of Economics and Management*, 2 (38), 9-20. [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2\(38\)-9-20](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2(38)-9-20). {in Ukrainian}