

РОЗРОБКА ПІЛОТНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ НА ДЕСНЯНСЬКІЙ ВОДОПРОВІДНІЙ СТАНЦІЇ М. КИЄВА

Олександр Кравченко¹, Тетяна Куба², Світлана Потапенко³, Оксана Нечипор⁴,
Нестан Таварткіладзе⁵, Олег Бакуновський⁶

^{1,2,3,4,5,6} Київський національний університет будівництва і архітектури
31, пр. Повітрофлотський, м. Київ, Україна, 03037

⁶ ТОВ «ІВІК Формула води», 14/34, вул. Крамського Івана, м. Київ, Україна, 03115

¹ докт. техн. наук, kravchenko.ov@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-6289-0641

² cubatan2@gmail.com, orcid.org/0009-0003-1223-1818

³ potapenko_sp-2022@knuba.edu.ua, orcid.org/0009-0000-4221-4048

⁴ канд. техн. наук, okschena@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8635-2231

⁵ knucavv20@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6712-9576

⁶ bakunovsky@ukr.net, orcid.org/0009-0000-8929-425X

DOI: 10.32347/2524-0021.2024.47.23-28

Анотація. Забезпечення населення якісною питною водою є одним з пріоритетних завдань сучасного суспільства. В Україні, яка переживає виклики, пов'язані з необхідністю модернізації критичної інфраструктури, це завдання набуває особливої актуальності. Деснянська водопровідна станція (ДВС), що постачає питну воду значній частині Києва, потребує комплексного оновлення з огляду на погіршення якості води у джерелі водопостачання та застарілі технології очищення. У цьому контексті пілотні дослідження є важливим інструментом для оптимізації та вибору ефективних технологічних рішень перед їх впровадженням у промислових масштабах.

Представлена пілотна установка для удосконалення технології очищення води на Деснянській водопровідній станції м. Києва. Основна мета дослідження полягає у підвищенні ефективності процесу очищення води шляхом впровадження новітніх технологій та методів. У роботі описано 4 технологічні схеми очистки води та принцип дії пілотної установки, а також обґрунтування застосування саме таких технологічних схем. Вимоги до досліджень включають: відпрацювання технологічних схем протягом усіх сезонів року; проведення лабораторного контролю якості води на всіх етапах очищення та знезараження; підготовку проміжних та заключного звітів; презентацію результатів досліджень. Після проведення досліджень очікується значне покращення якості очищеної води та зниження витрат на експлуатацію. Запропоновані рекомендації можуть бути використані для модернізації існуючих водопровідних станцій та впровадження нових технологій у сфері водопостачання.

Ключові слова: водопідготовка, модернізація, Деснянська водопровідна станція, пілотні дослідження, технологічні схеми, якість питної води, застарілі технології, тригалогенметан.

ВСТУП

Протягом останніх десятиліть спостерігається стійка тенденція до погіршення якості води у річці Десна, яка є основним джерелом водопостачання для ДВС. Антропогенне навантаження, зумовлене розвитком промисловості та інтенсифікаці-

єю сільського господарства, призводить до збільшення концентрації органічних речовин, сполук важких металів та мікробіологічних забруднювачів у річковій воді [1, 2]. Ситуацію ускладнюють сезонні коливання якості води, пов'язані з процесами "цвітіння" та відмирання фітопланктону, а також зимовим льодоставом, що сприяє десорбції забруднень з донних відкладів [3].

Існуючі технології водопідготовки на ДВС, що були впроваджені ще в середині минулого століття, не спроможні забезпечити належний рівень очищення води у сучасних умовах. Використання хлору та аміаку для знезараження, хоч і є ефективним засобом боротьби з патогенною мікрофлорою, призводить до утворення небезпечних побічних продуктів, зокрема тригалогенметанів (ТГМ), що мають канцерогенний та мутагенний вплив на організм людини [4, 5]. Крім того, зберігання значних обсягів хлору та аміаку на території станції створює серйозні техногенні ризики.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Пілотні дослідження як інструмент оптимізації технологічних рішень

Враховуючи вищезазначені проблеми, модернізація ДВС є нагальною потребою. Однак впровадження нових технологій водопідготовки у промислових масштабах пов'язане зі значними капітальними та експлуатаційними витратами, а також ризиком непередбачених технічних складнощів. Саме тому пілотні дослідження відіграють вирішальну роль у процесі модернізації, дозволяючи:

- змодельовати та порівняти ефективність різних технологічних схем безпосередньо на реальній воді з джерела водопостачання [6-9];
- визначити оптимальні параметри роботи очисних споруд для кожної технологічної схеми, що дозволить досягти максимальної ефективності очищення та знезараження води при мінімальних витратах реагентів та енергії [10, 11];
- оцінити техніко-економічну доцільність різних варіантів модернізації, враховуючи не лише капітальні витрати на будівництво та обладнання, але й експлуатаційні витрати, пов'язані з використанням реагентів, електроенергії та обслуговуванням обладнання [12-14];
- забезпечити відповідність якості питної води чинним санітарним нормам та стандартам, що є запорукою безпеки та здоров'я населення [15, 16];

- знизити техногенні та екологічні ризики, пов'язані з використанням та зберіганням небезпечних реагентів, а також утворенням шкідливих побічних продуктів водопідготовки [17].

Обґрунтування вибору технологічних схем

На основі аналізу якості води у річці Десна та існуючих технологій водопідготовки на ДВС було запропоновано такі альтернативні технологічні схеми.

1. Оптимізація існуючої технології з використанням порошкоподібного активованого вугілля (П АВ) (рис. 1, *a*). Ця схема передбачає максимальне збереження існуючих споруд з їх частковою реконструкцією та впровадженням додаткових стадій: дозування П АВ, механічна фільтрація, впровадження механічних мішалок у камерах реакції відстійників тощо.

2. Застосування гранульованого активованого вугілля (Г АВ) у фільтрах (рис. 1, *b*). Ця схема аналогічна схемі №1, але замість П АВ використовується Г АВ у безнапірних або напірних фільтрах.

3. Система послідовних напірних фільтрів (рис. 1, *c*). Ця схема передбачає повну заміну існуючої безнапірної схеми на систему напірних фільтрів, що працюють у режимах контактної коагуляції, глибокого очищення та видалення органічних речовин за допомогою Г АВ.

4. Мембранні технології з ультрафільтрацією та напірними вугільними фільтрами (рис. 1, *d*). Ця схема передбачає застосування безреагентних мембранних технологій (ультрафільтрація) для видалення завислих речовин та мікроорганізмів, з подальшим очищенням води від органічних речовин на напірних вугільних фільтрах.

Вибір саме цих технологічних схем обумовлений їх потенціалом у вирішенні ключових проблем ДВС, таких як видалення органічних речовин, зниження рівня мікробіологічного забруднення та зменшення техногенних ризиків. Кожна схема має свої переваги та недоліки, які необхідно ретельно зважити при виборі оптимального рішення.

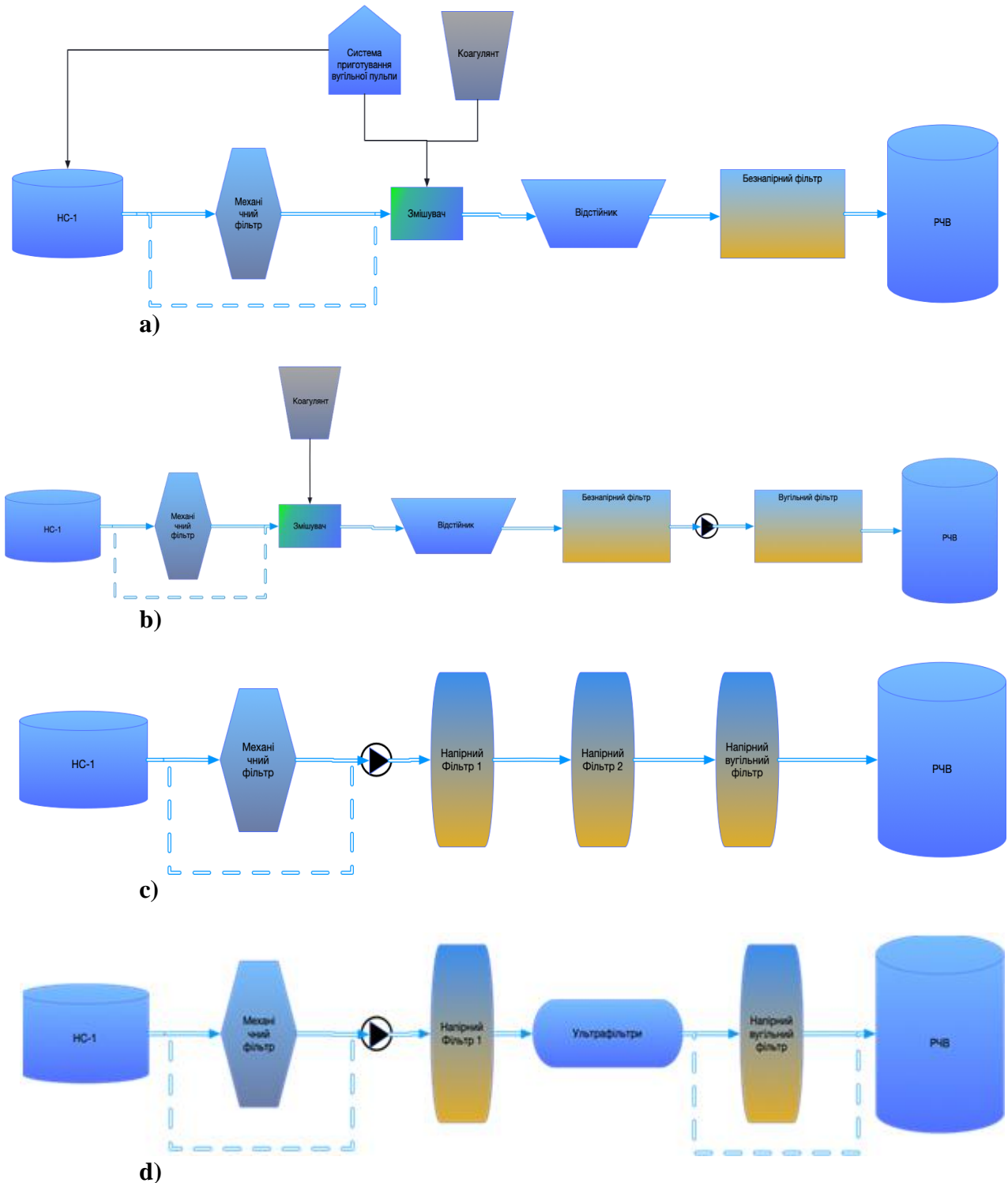


Рис. 1. Альтернативні технологічні схеми, запропоновані для Деснянської водопровідної станції (м. Київ): а) схема з використанням порошкоподібного активованого вугілля; б) схема з використанням гранульованого активованого вугілля у фільтрах; в) система послідовних напірних фільтрів; д) мембранні технології з ультрафільтрацією та напірними вугільними фільтрами

Fig. 4. Alternative technological schemes proposed for Desnianska water treatment plant (Kyiv): a) scheme using powdered activated carbon; b) scheme using granular activated carbon in filters; c) a system of sequential pressure filters; d) membrane technologies with ultrafiltration and pressure carbon filters

Технічні рішення пілотної установки

Для моделювання та порівняння ефективності запропонованих технологічних схем було розроблено пілотну установку. Основні технічні рішення, прийняті при проектуванні установки, включають:

- можливість паралельної роботи напірної та безнапірної лінії очищення;
- застосування комутаційної панелі для гнучкого підключення елементів установки;
- використання типових конструкцій напірних фільтрів та мембранних модулів;
- застосування нестандартних конструкцій для моделювання відстійників та безнапірних фільтрів;
- впровадження системи автоматичного управління та контролю.

Вимоги до досліджень на пілотній установці

Технічне завдання на проведення досліджень на пілотній установці включає детальний план робіт, перелік показників якості води, що підлягають контролю, та методики виконання вимірювань. Основні вимоги технічного завдання полягають у наступному:

- відпрацювання технологічних схем протягом усіх сезонів року;
- проведення лабораторного контролю якості води на всіх етапах очищення та знезараження;
- підготовка проміжних та заключного звітів;
- презентація результатів досліджень на засіданні Технічної ради ПрАТ "АК "Київводоканал".

ВИСНОВКИ

Модернізація Деснянської водопровідної станції є складним та багатограним завданням, що вимагає комплексного підходу. Пілотні дослідження на спеціально розробленій установці дозволять вибрати оптимальну технологічну схему водопідготовки, яка забезпечить високу якість питної води, мінімізує техногенні та екологічні ризики, а також буде економічно доцільною. Це сприятиме підвищенню рівня життя населення та забезпеченню сталого розвитку міста Києва.

ЛІТЕРАТУРА:

1. **Осипов В., Осадчий В., Осадча Н., Ухан О., Мостова Н.** Вплив змін клімату на хімічний склад водної системи Київського водосховища та р. Десна (Україна) // Генеральна асамблея Європейського геонаукового союзу 2020. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-9677>
2. **Чугай А., Нлод А., Пилипюк В.** Стан та якість води в басейні р. Десна (в межах Чернігівської області). Екологічні проблеми, 2021. Вип. 6, №4. С. 226–232. <https://doi.org/10.23939/ep2021.04.226>
3. **Соколюк В. М.** Сезонні коливання показників якості питної води у різних біогеохімічних зонах України // Наук. вісн. вет. Медицини, 2011. Вип. 8(87). С. 158–161. URL: <http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/14394>
4. **Mustafa B. M., Hassan N. E.** Water Contamination and Its Effects on Human Health: A Review // Journal of Geography, Environment and Earth Science International, 2024. 28(1), 38–49. <https://doi.org/10.9734/jgeesi/2024/v28i1743>
5. **Bull R. J.** Drinking Water Disinfection By-Products // Environmental Toxicants, 2008. 121–196. Portico. <https://doi.org/10.1002/9780470442890.ch6>
6. **Matilainen A., Sillanpää M.** Removal of natural organic matter from drinking water by advanced oxidation processes // Chemosphere, 2010 80(4), 351–365. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.04.067>
7. **Hozalski R. M., Bouwer E. J., Goel S. (1999)** Removal of natural organic matter (nom) from drinking water supplies by ozone-biofiltration // Water Science and Technology, 1999. 40(9). 157–163. [https://doi.org/10.1016/s0273-1223\(99\)00652-6](https://doi.org/10.1016/s0273-1223(99)00652-6)
8. **Heijman S. G. J., van Paassen A.M., van der Meer W. G. J., Hopman R.** Adsorptive removal of natural organic matter during drinking water treatment // Water Science and Technology, 1999. 40(9). 183–190. [https://doi.org/10.1016/s0273-1223\(99\)00655-1](https://doi.org/10.1016/s0273-1223(99)00655-1)
9. **Metsämuuronen S., Sillanpää M., Bhatnagar A., Mänttari M.** Natural Organic Matter Removal from Drinking Water by Membrane Technology // Separation & Purification Reviews, 2013. 43(1), 1–61. <https://doi.org/10.1080/15422119.2012.712080>
10. **Марцелюк Є.М., Чарний Д.В., Леицька В.Д., Марисик С.В.** Нові технологічні рішення для систем водопідготовки в сучасних умовах // Меліорація і водне господарство, 2021. Вип. 2, 201 – 209. <https://doi.org/10.31073/mivg202102-303>

11. **Chemil M., Zizi Z., Drouiche N., Khodja M., Hadji M.** Water treatment technology performance for chemical enhanced oil recovery: modeling, simulation and optimization // *Applied Water Science*, 2021. 11(9). <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01476-4>
12. **Przybylska, A., & Pruss, A. (2022).** The Impact of Modernization of the Water Treatment Plant on Improving the Quality of Water Directed to Recipients // *Journal of Ecological Engineering*, 23(11), 11–17. <https://doi.org/10.12911/22998993/152540>
13. **Pal P.** Design and Construction of Water-Treatment Plants on Novel Technology // *Industrial Water Treatment Process Technology*, 2017. 545–564. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810391-3.00009-6>
14. **Pal P.** Selection of Water-Treatment Technology // *Industrial Water Treatment Process Technology*, 2017. 537–544. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810391-3.00008-4>
15. **United Nations.** The millennium development goals. 2015. <https://doi.org/10.18356/3b971b46-en>
16. **Pal, P.** Sustainable Water-Treatment Technology // *Industrial Water Treatment Process Technology*, 2017, 565–571. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810391-3.00010-2>
17. **Кравченко О., Потапенко С., Аргатенко Т., Роговська Г.** Ризики застосування газоподібного хлору на водоочисних станціях під час воєнних дій // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*, 2023. Вип. 43, С. 29–35. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.43.29-35>

REFERENCES

1. **Osyrov, V., Osadchyi, V., Osadcha, N., Ukh an, O., & Mostova, N. (2020).** The impact of climate changes on the aquatic system chemistry in the Kyiv Reservoir and the Desna river (Ukraine). *EGU General Assembly 2020*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-9677>
2. **Chugai, A., Hlod, A., & Pylypiuk, V. (2021).** State and quality of water in the Desna river basin (within the Chernigiv region). *Environmental Problems*, 6(4), 226–232. <https://doi.org/10.23939/ep2021.04.226>
3. **Sokolyuk, V. M. (2011).** Seasonal fluctuations of drinking water quality indicators in different biogeochemical zones of Ukraine. *Nauk. release Vet. of medicine*, 8(87). 158–161. Retrieved from <http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/14394> [in Ukrainian]
4. **Mustafa, B. M., & Hassan, N. E. (2024).** Water Contamination and Its Effects on Human Health: A Review. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 28(1), 38–49. <https://doi.org/10.9734/jgeesi/2024/v28i1743>
5. **Bull, R. J. (2008).** Drinking Water Disinfection By-Products. *Environmental Toxicants*, 121–196. Portico. <https://doi.org/10.1002/9780470442890.ch6>
6. **Matilainen, A., & Sillanpää, M. (2010).** Removal of natural organic matter from drinking water by advanced oxidation processes. *Chemosphere*, 80(4), 351–365. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.04.067>
7. **Hozalski, R. M., Bouwer, E. J., & Goel, S. (1999).** Removal of natural organic matter (nom) from drinking water supplies by ozone-biofiltration. *Water Science and Technology*, 40(9). 157–163. [https://doi.org/10.1016/s0273-1223\(99\)00652-6](https://doi.org/10.1016/s0273-1223(99)00652-6)
8. **Heijman, S. G. J., van Paassen, A.M., van der Meer, W. G. J., & Hopman, R. (1999).** Adsorptive removal of natural organic matter during drinking water treatment. *Water Science and Technology*, 40(9). 183–190. [https://doi.org/10.1016/s0273-1223\(99\)00655-1](https://doi.org/10.1016/s0273-1223(99)00655-1)
9. **Metsämuuronen, S., Sillanpää, M., Bhatnagar, A., & Mänttari, M. (2013).** Natural Organic Matter Removal from Drinking Water by Membrane Technology. *Separation Purification Reviews*, 43(1), 1–61. <https://doi.org/10.1080/15422119.2012.712080>
10. **Matseluk, Y., Charnyy, D., Levytska, V., & Marysyk, S. (2021).** New technological solutions for water treatment systems in modern conditions. *Land Reclamation and Water Management*, (2), 201 - 209. <https://doi.org/10.31073/mivg202102-303>
11. **Chemil, M., Zizi, Z., Drouiche, N., Khodja, M., & Hadji, M. (2021).** Water treatment technology performance for chemical enhanced oil recovery: modeling, simulation and optimization. *Applied Water Science*, 11(9). <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01476-4>
12. **Przybylska, A., & Pruss, A. (2022).** The Impact of Modernization of the Water Treatment Plant on Improving the Quality of Water Directed to Recipients. *Journal of Ecological Engineering*, 23(11), 11–17. <https://doi.org/10.12911/22998993/152540>
13. **Pal, P. (2017).** Design and Construction of Water-Treatment Plants on Novel Technology. *Industrial Water Treatment Process Technology*, 545–564. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810391-3.00009-6>
14. **Pal, P. (2017).** Selection of Water-Treatment Technology. *Industrial Water Treatment Process Technology*, 537–544. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810391-3.00008-4>

15. **United Nations.** (2015). *The millennium development goals.*

<https://doi.org/10.18356/3b971b46-en>

16. **Pal, P.** (2017). Sustainable Water-Treatment Technology. *Industrial Water Treatment Process Technology*, 565–571. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810391-3.00010-2>

17. **Kravchenko, O., Potapenko, S., Arhatenko, T., & Rogovska, H.** (2023). Risks of using gaseous chlorine on water treatment stations during military actions. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, (43), 29–35.

<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.43.29-35>

Development of a pilot plant for improvement water purification technologies at Desnianska water treatment plant in Kyiv

Oleksandr Kravchenko, Tetiana Kuba, Svitlana Potapenko, Oksana Nechypor, Nestan Tavartkiladze, Oleg Bakunovskiy

Abstract. Providing the population with high-quality drinking water is one of the priority tasks of modern society. In Ukraine, which is experiencing challenges related to the need to modernize critical infrastructure, this task is of particular relevance. The Desnianska Water Supply Station (DVS), which supplies drinking water to a large part of Kyiv, needs a comprehensive renovation due to the deterioration of water quality at the water supply source and outdated treatment technologies. In this context, pilot studies are an important tool for optimizing and selecting effective technological solutions before their implementation on an industrial scale.

The article discusses the development of a pilot plant to improve the technology of water purification at the Desnianska water supply station in Kyiv. The main goal of the study is to increase the efficiency of the water purification process through the introduction of the latest technologies and methods. The paper describes 4 technological schemes of water purification and the principle of operation of the pilot plant, as well as the justification for the use of such technological schemes. Requirements for research include: working out technological schemes during all seasons of the year; laboratory control of water quality at all stages of purification and disinfection; preparation of interim and final reports; presentation of research results. After the research, a significant improvement in the quality of treated water and a reduction in operating costs are expected. The proposed recommendations can be used to modernize existing water supply stations and introduce new technologies in the field of water supply.

Key words: water treatment, modernization, Desnianska water treatment plant, pilot studies, technological schemes, drinking water quality, outdated technologies, trihalomethane.

Стаття надійшла до редакції 09.09.2024