

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

САХНОВСЬКА ВІКТОРІЯ МИКОЛАЇВНА

УДК 502.1:504+628.1:628.4

**ДИСЕРТАЦІЯ
ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПЛАНУВАННЯ ЗАХОДІВ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МУНІЦИПАЛЬНИХ СИСТЕМ
ВОДОВІДВЕДЕННЯ**

Спеціальність 101 – Екологія
Галузь знань 10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії вперше

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В.М. Сахновська

Науковий керівник (консультант) Ткаченко Тетяна Миколаївна, д.т.н., професор

Київ – 2025

АНОТАЦІЯ

Сахновська В.М. Теоретичне обґрунтування планування заходів забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 101 «Екологія» – Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, 2025.

Дисертаційне дослідження присвячено розробленню методичних та прикладних положень комплексного оцінювання та моніторингу впливу на довкілля муніципальних систем водовідведення для забезпечення їхньої екологічної безпеки. В роботі поставлено основні завдання, мету і завдання дослідження, предмет та об'єкт, на які спрямовано вирішення проблеми.

У роботі проаналізовано сучасний екологічний стан муніципальних систем водовідведення в Україні, досліджено теоретичні та методологічні підходи до забезпечення їхньої екологічної безпеки, а також екологічну значущість та існуючі методи визначення ексфільтрації та інфільтрації.

Аналіз літературних джерел показав, що загальний обсяг збитків зруйнованої та пошкодженої інфраструктури водопостачання та водовідведення станом на початок 2024 року сягав 3,318 мільярдів доларів США. Згідно з даними за 2023 рік, основна частка забруднених стічних вод, припадала на сектор "Водопостачання, каналізація, поводження з відходами", що визначає його як основне джерело антропогенного навантаження на водні ресурси країни. Наявність розгалуженої нормативно-правової бази в Україні у галузі водовідведення, не гарантує її ефективності без належного застосування та контролю за дотриманням встановлених екологічних норм.

Незважаючи на значний обсяг досліджень та актуальність питань, пов'язаних з екологічною безпекою систем водовідведення та надійністю їх окремих компонентів, комплексна оцінка екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення залишається недостатньо висвітленою в науковій літературі. Особливої уваги потребує інтеграція та взаємодія між системами водопостачання та водовідведення, що мають суттєвий вплив на екологічну безпеку навколишнього середовища.

Для вирішення цього завдання запропоновано та теоретично-обґрунтовано концепцію оцінювання екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення, яка ґрунтується на системній моделі та враховує хімічні, біологічні та експлуатаційні фактори. Системна модель «Муніципальна система водовідведення» складається з трьох підсистем: «Експлуатація приймачів», «Мережі водовідведення», «Очисні споруди водовідведення». В свою чергу кожна підсистема складається з 3х блоків: експлуатаційного, біологічного та хімічного забруднення. Аналіз кожного блоку здійснюється відповідно до запропонованих критеріїв, на підставі чого кожен блок набуває бального значення «1» - екологічно безпечна система, «-1» - екологічно небезпечна система, «0» - умовно екологічно безпечна система. Загальний стан системи визначається за допомогою інтегрального показнику. При отриманні значень <1 розробляються комплекс заходів по інтенсифікації роботи системи в розрізі кожного окремого блоку до отримання значення «екологічно безпечна система».

Ця модель, завдяки своїй універсальності, легко адаптується до різних міських систем і може бути інтегрована в "розумні міста" для оперативного моніторингу. З розвитком штучного інтелекту в майбутньому, вона зможе автоматично аналізувати дані та прогнозувати тренди, мінімізуючи шкоду довкіллю та сприяючи сталому розвитку міст.

З метою забезпечення екологічної безпеки та сталого функціонування муніципальних систем водовідведення, особливо в умовах антропогенного навантаження, спричиненого воєнними діями, пропонується застосування методу експрес-моніторингу екологічної безпеки систем водовідведення.

Для диференційованого реагування на різні рівні ризику, системи водовідведення класифікуються на чотири категорії (I-IV). Це дозволяє розробити адаптивні стратегії, що базуються на результатах експрес-моніторингу, який використовує дев'ять ключових індикаторів для оперативного виявлення динаміки змін та загальний показник екологічного ризику. Запропоновано алгоритм визначення пріоритетності заходів з відновлення елементів системи водовідведення, який складається з чотирьох етапів. Алгоритм базується на визначенні коефіцієнта значущості. Планування відновлювальних робіт здійснюються відповідно до ієрархічного принципу, де об'єкти, що характеризуються високим коефіцієнтом значущості, мають найвищий рівень пріоритету.

Для еколого-економічного обґрунтування оптимізації роботи систем водовідведення в умовах експлуатації, запропоновано метод, який складається з 5-ти етапів: розрахунок вузла прийому стічних вод з урахуванням надійності роботи мережі та корегування норм водоспоживання; оцінка зміни якості води у колекторах; еколого-економічна оцінка остаточного вибору споруд та системи водовідведення; остаточне корегування систем водовідведення. Метод базується на інтеграції інженерно-екологічного аналізу з економічним моделюванням та застосуванні методу TOPSIS. Вибір системи водовідведення здійснюється на підставі 12 критеріїв з подальшим розрахунком еколого-інвестиційної привабливості.

Розроблено організаційні принципи підвищення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України, які спиралися на проведений експрес-моніторинг MWWS під час триваючих військових дій.

Практично та теоретично обґрунтовано застосування запропонованого балансово-аналітичного методу для кількісної оцінки додаткового припливу та ексфільтрації як інструменту зменшення антропогенного навантаження на екосистеми, що дозволило розробити математичну модель для прогнозування обсягів водовідведення та визначити заходи з інтенсифікації роботи систем, спрямовані на підвищення їх екологічної безпеки. Розрахунки показали, що постійний додатковий приплив до системи водовідведення, населеного пункту, що досліджувався, коливається від 15 до 21%. При цьому постійний обсяг ексфільтрації може сягати 10% від загального обсягу стічних вод, що поступають на очисні споруди.

Ретроспективний аналіз екологічної безпеки систем водовідведення України за останнє десятиліття, проведений з використанням експрес-методу моніторингу, виявив критичний стан. У 2013 році 67% муніципальних систем водовідведення характеризувалися високим рівнем ризику екологічної небезпеки. До 2023 року спостерігалось погіршення ситуації в 9 областях, де зафіксовано суттєве зростання екологічного ризику. Лише одна область продемонструвала низький показник ризику.

Кількісна оцінка змін екологічного ризику показує, що в Донецькій області відповідний показник зріс на 48%, в Запорізькій - на 26%, Харківський – на 33%. Ці дані свідчать про значну деградацію стану систем водовідведення протягом 10 років війни та критичне погіршення екологічного стану урбанізованих територій впродовж останніх 10 років.

Хоча по Київській області в цілому стан систем водовідведення залишається стабільним (середній ризик), подальше проведення комплексної оцінки

муніципальної системи водовідведення малого населеного пункту на півдні області виявило її критичний екологічний стан. Основними факторами, що обумовили цей стан, є значний фізичний знос інфраструктури та несанкціоноване скидання 50 м³/добу неочищених стічних вод на 0,6 га рельєфу. Це призвело до значного забруднення ґрунтового покриву, загальні економічні збитки від якого оцінюються в 462,335 млн грн. Також зафіксовано перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі.

Для вирішення даної екологічної проблеми було розглянуто дві альтернативні стратегії. Рекомендовано впровадження централізованої системи водовідведення з будівництвом нового напірного колектору. Еколого-економічний аналіз показав термін окупності даного варіанту у 1 рік 5 місяців. Запропоновано застосування комбінованого методу прокладання трубопроводів.

Крім того, розроблено комплекс першочергових та планових заходів з інтенсифікації роботи муніципальної системи водовідведення з метою досягнення екологічно безпечного стану системи.

Основний науковий результат, який виноситься на захист, полягає теоретичному обґрунтуванні планування заходів забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення.

Ключові слова: експрес-моніторинг, екологічний ризик, екологічна безпека, муніципальні системи водовідведення, комплексне оцінювання, балансово-аналітичний метод, інфільтрація.

ABSTRACT

Sakhnovska V.M. Theoretical Substantiation of Planning Measures to Ensure Environmental Safety of Municipal Wastewater Systems. – Qualification scientific work as a manuscript.

Thesis for obtaining the degree of Philosophy Doctor in the specialty 21.06.01 - environmental safety (101 - Ecology). - Kyiv National University of Construction and Architecture of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2023.

The dissertation research is dedicated to the development of methodological and applied principles for the comprehensive assessment and monitoring of the impact of municipal wastewater systems on the environment, with the aim of ensuring their ecological safety. The work outlines the main goals, objectives, research aim and tasks, subject matter, and object to which the problem's solution is directed.

The study analyzes the current ecological state of municipal wastewater systems in Ukraine, investigates theoretical and methodological approaches to ensuring their ecological safety, as well as the ecological significance and existing methods for determining exfiltration and infiltration.

The analysis of literature sources revealed that the total damage to destroyed and damaged water supply and wastewater infrastructure amounted to USD 3.318 billion as of the beginning of 2024. According to 2023 data, the main share of polluted wastewater came from the "Water supply; sewerage, waste management" sector, identifying it as the primary source of anthropogenic pressure on the country's water resources. The presence of an extensive regulatory and legal framework in Ukraine in the field of wastewater management does not guarantee its effectiveness without proper application and control over compliance with established environmental standards.

Despite a significant volume of research and the relevance of issues related to the ecological safety of wastewater systems and the reliability of their individual components, a comprehensive assessment of the ecological safety of municipal wastewater systems remains insufficiently addressed in the scientific literature. Particular attention needs to be paid to the integration and interaction between water supply and wastewater systems, which have a significant impact on the ecological safety of the environment.

To address this task, a concept for assessing the ecological safety of municipal wastewater systems is proposed and theoretically substantiated, based on a system model that considers chemical, biological, and operational factors. The "Municipal Wastewater System" system model consists of three subsystems: "Sewage receiver unit," "Wastewater networks," "Wastewater treatment plants". In turn, each subsystem consists of three blocks: operational, biological, and chemical pollution. The analysis of each block is carried out according to the proposed criteria, based on which each block acquires a score value: "1" - ecologically safe system, "-1" - ecologically unsafe system, "0" - conditionally ecologically safe system. The overall state of the system is determined using an integral indicator. If values <1 are obtained, a set of measures is developed to intensify the system's operation across each individual block until a value of "ecologically safe system" is achieved. This model, due to its universality, is easily adaptable to various urban systems and can be integrated into "smart cities" for operational monitoring. With the development of artificial intelligence in the future, it will be able to automatically analyze data and predict trends, minimizing environmental damage and promoting sustainable urban development.

To ensure the ecological safety and sustainable functioning of municipal wastewater systems, especially under anthropogenic pressure caused by military actions, the application of a rapid environmental safety monitoring method for wastewater systems is proposed.

For differentiated response to various risk levels, wastewater systems are classified into four categories (I-IV). This allows for the development of adaptive strategies based on the results of rapid monitoring, which uses nine key indicators for the operational detection of change dynamics and an overall ecological risk indicator. An algorithm for determining the priority of measures for the restoration of wastewater system elements, consisting of four stages, is proposed. The algorithm is based on determining a significance coefficient. Restoration work planning is carried out according

to a hierarchical principle, where objects characterized by a high significance coefficient have the highest level of priority.

For the ecological and economic substantiation of optimizing the operation of wastewater systems under operational conditions, a method consisting of five stages is proposed: calculation of the wastewater reception unit, considering network reliability and adjusting water consumption norms; assessment of changes in water quality in collectors; ecological and economic evaluation of the final selection of facilities and the wastewater system; final adjustment of wastewater systems. The method is based on the integration of engineering and ecological analysis with economic modeling and the application of the TOPSIS method. The selection of the wastewater system is carried out based on 12 criteria, followed by the calculation of ecological and investment attractiveness.

Organizational principles for improving the ecological safety of Ukraine's municipal wastewater systems have been developed, based on the rapid MWWS monitoring conducted during the ongoing hostilities.

The application of the proposed balance-analytical method for the quantitative assessment of additional inflow and exfiltration as a tool for reducing anthropogenic pressure on ecosystems has been practically and theoretically substantiated. This allowed for the development of a mathematical model for forecasting wastewater volumes and determining measures to intensify system operation aimed at improving their ecological safety. Calculations showed that the constant additional inflow to the wastewater system of the studied settlement ranges from 15 to 21%. At the same time, the constant volume of exfiltration can reach 10% of the total volume of wastewater entering the treatment facilities.

A retrospective analysis of the ecological safety of Ukraine's wastewater systems over the past decade, conducted using the rapid monitoring method, revealed a critical state. In 2013, 67% of municipal wastewater systems were characterized by a high level

of ecological risk. By 2023, the situation had worsened in 9 regions, where a significant increase in ecological risk was recorded. Only one region showed a low risk indicator.

The quantitative assessment of changes in ecological risk shows that in the Donetsk region, the corresponding indicator increased by 48%, in Zaporizhzhia - by 26%, and in Kharkiv - by 33%. These data indicate a significant degradation of the state of wastewater systems during the 10 years of war and a critical deterioration of the ecological state of urbanized areas over the past 10 years.

Although the overall state of wastewater systems in the Kyiv region remains stable (medium risk), further comprehensive assessment of the municipal wastewater system of a small settlement in the south of the region revealed its critical ecological state. The main factors contributing to this state are significant physical deterioration of infrastructure and unauthorized discharge of 50 m³/day of untreated wastewater onto 0.6 hectares of terrain. This has led to significant soil contamination, the total economic damage from which is estimated at UAH 462.335 million. Exceedances of maximum permissible concentrations of harmful substances in the atmospheric air were also recorded.

To address this ecological problem, two alternative strategies were considered. The implementation of a centralized wastewater system with the construction of a new pressure pipeline is recommended. An ecological and economic analysis showed a payback period for this option of 1 year and 5 months. The application of a combined method of pipeline laying is proposed.

In addition, a set of priority and planned measures has been developed to intensify the operation of the municipal wastewater system in order to achieve an ecologically safe state of the system.

The main scientific result submitted for defense lies in the theoretical substantiation of planning measures to ensure the ecological safety of municipal wastewater systems.

Keywords: express monitoring, environmental risk, environmental safety, municipal wastewater systems, comprehensive assessment, balance-analytical method, infiltration

Список публікацій здобувача:

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Сахновська В., Ткаченко Т. Забезпечення екологічної безпеки систем водовідведення під час бойових дій. *Екологічні науки* . 2024. № 5 (56). С. 105–109. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.15> (дата звернення: 12.03.2025). **(Фахове видання)**

Особистий внесок здобувача полягає у розробці алгоритму визначення пріоритетності заходів з відновлення елементів системи водовідведення, техніко-економічного обґрунтування варіантів забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення.

2. Planning of green roofs for the best thermotechnical effect / Т. Tkachenko et al. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences (SREES)*. 2025. Vol. 34, no. 1. P. 42–54. URL: <https://doi.org/10.22630/srees.9954> (дата звернення: 15.04.2025). **(SCOPUS, Q3)**

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі існуючих технологій зменшення навантаження на очисні споруди за рахунок ефективного управління поверхневим стоком при застосуванні зелених конструкцій (зелених покрівель, дощових зелених садів, зелених схилів тощо)

3. Т.М. Ткаченко, В.М. Сахновська. Експрес-метод моніторингу екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України під час військових дій. *Екологічна безпека та природокористування*, 53(1), 48-61. URL: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.1.48-61> (дата звернення: 19.04.2025) **(Фахове видання)**

Особистий внесок здобувача полягає у розробці методу проведення експрес-моніторингу екологічної безпеки та визначенні екологічних ризиків муніципальних систем водовідведення України під час військових дій.

4. Сахновська В. Концепція оцінки забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення // Moderní aspekty vědy: LV. Díl mezinárodní kolektivní monografie. Česká republika : Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2025. С. 527-538 URL: <https://doi.org/10.52058/55-2025> (одноосібний розділ у колективній монографії)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

1. Ткаченко Т., Сахновська В. Забезпечення екологічної безпеки систем водовідведення під час військових дій. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»): Матеріали міжнар. конф., м. Київ, 16–17 квіт. 2024 р. Київ, 2024. С. 303–305. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj-4.pdf (дата звернення: 15.04.2025).*

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні пріоритетності заходів з відновлення елементів системи водовідведення.

2. Михайловська Ю., Сахновська В. Надійність, як критерій екологічної безпеки мереж водопостачання та водовідведення. *Міжнародний форум «Безпечна, комфортна, спроможна, територіальна громада»:* Матеріали міжнар. конф., м. Дніпро, 11–13 жовт. 2023 р. Дніпро, 2023. С. 36–37. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/19824> (дата звернення: 15.04.2025).

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні залежності аварійності мереж водовідведення від аварійності мереж водопостачання.

3. Сахновська В. Екологічна безпека та стійкі системи водовідведення під час надзвичайних ситуацій в умовах воєнного стану. *Запобігання виникненню*

надзвичайних ситуацій, реагування та ліквідація їх наслідків: Матеріали круглого столу (вебінару)., м. Харків, 23 лют. 2023 р. Харків, 2023. С. 72–73.

4. Сахновська В. Розробка заходів забезпечення екологічної безпеки та надійності роботи систем водопостачання та водовідведення під час надзвичайних ситуацій та воєнних дій східних регіонів України. *Екологія. Ресурси. Енергія* : IV міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 22–24 листоп. 2023 р. Київ, 2023. С. 54–55. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2023/12/j_ere_2023.pdf. (дата звернення: 15.04.2025).

5. Сахновська В., Михайловський О. Забезпечення техногенної та екологічної безпеки об'єктів критичної інфраструктури під час військових дій на прикладі систем водопостачання та водовідведення. *Енергоощадні машини і технології*: Матеріали V Міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 22–24 трав. 2024 р. Київ, 2024. С. 199–201.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці механізму прийняття рішень щодо відновлення об'єктів критичної інфраструктури

6. Сахновська В. Системна модель забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водопостачання та водовідведення під час воєнного стану. *Енергія. Ресурси. Екологія багатofункціональні еко - та енергоефективні, ресурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях*: V-та міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 27–29 листоп. 2024 р. Київ, 2024. С. 100–102. URL: <https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/ere-2024-ua.pdf> (дата звернення: 15.04.2025).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

Статті у журналах:

1. Сучасні технології реновації водопровідних мереж / Н. Насонкіна та ін. *Водопостачання та водовідведення*. 2008. № 5. С. 16–22.

Особистий внесок здобувача полягає у аналізі сучасних методів відновлення трубопроводів.

2. Nasonkina N., Sakhnovskaya V. Complex evaluation of water supply and sewerage systems. *Інженерні системи та техногенна безпека*. 2009. No. 2009-2(76). P. 158–166.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці системної моделі оцінки екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України

3. Nasonkina N., Sakhnovskaya V. System analysis of evaluation of ecological safety of Water supply and water disposal. *Industrial and civil construction*. 2009. Vol. 5, no. 3. P. 113–123.

Особистий внесок здобувача полягає концептуалізації та розробці інтегративної системної моделі, призначеної для кількісної оцінки екологічних ризиків, пов'язаних з функціонуванням муніципальних систем водовідведення в Україні, та їх впливу на екологічну безпеку довкілля.

4. Стратегія проведення моніторингу й реформування систем муніципального водопостачання / Н. Насонкіна та ін. *Водопостачання та водовідведення* 2009. Т. 2. С. 2–8.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці п.1 моніторингу систем муніципального водопостачання.

5. Сахновська В. Визначення базових та додаткових факторів, що впливають на надійність та екологічну безпеку мереж водопостачання і водовідведення. *Nauchno-tekhnycheskyi sbornyk "Kommunalnoe khoziaistvo horodov"*. 2009. № 2. С. 376–383. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/17106/>.

6. Сахновська В. Аналіз стану та визначення заходів щодо покращення роботи водопровідної мережі міст Донецької області. *Вісник ДонНАБА*. 2010. Т. 3, № 83. С. 276–284.

7. Сахновська В. Моніторинг стану водопровідної мережі міст Донецької області. *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник*. 2009. № 32. С. 385–394.

8. Насонкіна Н., Сахновська В., Пашков В. Аналіз стану та критерії безпеки мереж водовідведення. *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник*. 2010. № 37. С. 349–358.

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні значимості критеріїв, що впливають на роботу мереж водопостачання та водовідведення, побудові графів зв'язності та матриці домінування.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	19
ВСТУП	20
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ УКРАЇНИ.....	26
1.1. Сучасний екологічний стан систем водовідведення України	26
1.2. Сучасні підходи теоретико-методологічні засад забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення.....	41
1.3. Екологічна значущість та існуючі методи визначення ексфільтрації та інфільтрації муніципальних систем водовідведення	52
Висновки до розділу 1	63
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МУНІЦИПАЛЬНИХ СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ.....	66
2.1. Системна модель оцінювання екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України	66
2.2. Екологічне оцінювання підсистеми «Вузол приймання стоків»	73
2.3. Екологічне оцінювання підсистеми «Мережа системи водовідведення»	81
2.4. Екологічне оцінювання підсистеми «Очисні споруди водовідведення»	97
Висновки до розділу 2	104
РОЗДІЛ 3. МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ПЛАНУВАННЯ ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МУНІЦИПАЛЬНИХ СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ	106
3.1. Метод проведення експрес-моніторингу екологічної безпеки роботи муніципальних систем водовідведення України	106

3.2. Метод балансово-аналітичного аналізу визначення інфільтрації та ексфільтрації муніципальних систем водовідведення як інструмент зменшення антропогенного навантаження на екосистеми	124
3.3 Еколого-економічне обґрунтування оптимізації роботи систем водовідведення в умовах експлуатації.....	128
Висновки до розділу 3	143
РОЗДІЛ 4. ОРГАНІЗАЦІЙНІ ПРИНЦИПИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МУНІЦИПАЛЬНИХ СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ	145
4.1. Експрес-моніторинг екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України під час триваючих військових дій	145
4.2. Визначення обсягів водокористування, як інструмент екологічної оптимізації функціонування муніципальних систем водовідведення.....	155
4.3. Забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення малих населених пунктів.....	167
Висновки до розділу 4	183
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	185
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	188
ДОДАТОК А. Список опублікованих праць за темою дисертації	232
ДОДАТОК Б:	
Лист підтримки «БВК «ЕЛІТ-ПРОЕКТБУД»	237
Лист підтримки ТОВ «ТЕХДАР»	238
Лист підтримки депутату сьомого округу Гірської сільської ради	239
ДОДАТОК В: Матриця домінування до розділу 2.....	240
ДОДАТОК Г: Вплив критеріїв оцінки на екологічну безпеку та інвестиційну привабливість.....	241

ДОДАТОК Д:.....	243
Додаток Д.1. Вихідні дані для проведення експрес-моніторингу	243
Додаток Д.2. Експрес-моніторинг муніципальних систем водовідведення України в 2013 році	247
Додаток Д.3. Забруднення території населеного пункту стічними водами..	250
Додаток Д.4. Капітальні витрати до альтернативи 2	251
Додаток Д.5. Капітальні витрати до альтернативи 1	254
Додаток Д.6. Експлуатаційні витрати до Альтернативи 1	257
Додаток Д.7. Експлуатаційні витрати до Альтернативи 2	258
Додаток Д.8. Експлуатаційні витрати варіантів 1,2	259
Додаток Д.9. Еколого-економічна оцінка варіанту 1.....	260
Додаток Д.10. Еколого-економічна оцінка варіанту 2	261
Додаток Д.11. Капітальні витрати варіант 1	262
Додаток Д.12. Капітальні витрати варіант 2	269

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ESS - екологічно безпечна система

EUS - екологічно небезпечна система

ER – екологічний ризик

CESS - умовно екологічно безпечна система

MWSS - муніципальна система водопостачання

MWWS -муніципальна система водовідведення

ВВ – водопостачання та водовідведення

КНС – каналізаційна насосна станція

ВНС -водопровідна насосна станція

ЛОС – локальні очисні споруди

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Екологічна безпека систем водовідведення в Україні опинилася в критичному стані, що є результатом синергетичного впливу глобальних екологічних змін, внутрішніх системних недоліків та руйнівних наслідків військової агресії. На тлі загальносвітових тенденцій погіршення доступу до санітарно-гігієнічних послуг та кліматичних змін, Україна зіткнулася з унікальними викликами, такими як масштабне руйнування інфраструктури, забруднення водних ресурсів та невідповідність євроінтеграційним стандартам. Це вимагає не лише відновлення фізичних об'єктів, але й фундаментального переосмислення стратегій управління водними ресурсами.

Війна каталізувала існуючі проблеми, спричинивши екологічну катастрофу та вимагаючи активізації міжнародного співробітництва. Статистичні дані демонструють скорочення обсягів водокористування, низький рівень водопродуктивності та збільшення обсягів скиду неочищених стічних вод до навколишнього середовища, що свідчить про неефективне використання водних ресурсів та посилення антропогенного навантаження на екосистеми. Тому для забезпечення екологічної безпеки систем водовідведення в Україні необхідний комплексний підхід, який повинен базуватися на теоретичному обґрунтуванні планування відповідних заходів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні дослідження дисертаційної роботи виконані відповідно до Указу Президента України №111/2021 від 23.03.2021 р. «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації», Закону України «Про водовідведення та очищення стічних вод» № 2887-20 від 12.01.2023 р., Водного кодексу України (поточна редакція) від 06.06.95 р. № 213/95-ВР; Водної стратегії України на період до 2050 року, затвердженою розпорядженням КМУ

09.12.2022 року; науково-дослідних робіт 0122U001197 «Створення перспективних технологій формування безпечного середовища будівель поєднанням «зелених» конструкцій», 0120U101145 «Управління дощовими стічними водами з використанням «зелених» конструкцій», 0117U003297 «Екологічна безпека будівельних конструкцій та споруд».

Мета і завдання дослідження. Мета дисертаційного полягає у розробленні методичних та прикладних положень комплексного оцінювання та моніторингу впливу на довкілля муніципальних систем водовідведення для забезпечення їхньої екологічної безпеки.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі були поставлені та вирішені наступні наукові завдання:

1. Виконати аналіз існуючого стану екологічної безпеки систем водовідведення України.
2. Розробити концепцію оцінювання забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення.
3. Розробити методологічні принципи планування заходів забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення.
4. Виконати експрес-моніторинг систем водовідведення України за останні 10 років та визначити організаційні принципи підвищення екологічної безпеки цих систем.

Об'єкт дослідження – комплексний процес забезпечення екологічної безпеки роботи муніципальних систем водовідведення.

Предмет дослідження – методологічні та системні принципи планування заходів з забезпечення екологічної безпеки роботи муніципальних систем водовідведення.

Методи дослідження: для розв'язання поставлених наукових завдань в дисертаційному дослідженні використовувались методи та прийоми емпіричних,

теоретичних та експериментальних способів пізнання: абстрактно-логічний – для обґрунтування необхідності оптимізації систем водопостачання та водовідведення; статистичний аналіз – для обробки та інтерпретації вихідних даних щодо технічного стану систем водовідведення та обсягів водокористування; прийоми порівняльного аналізу – з метою співставлення та аналізу змінення гідравлічного режиму роботи систем водопостачання та водовідведення від показників надійності її роботи та кліматичних умов; теорія графів – для побудови графів зв’язності та визначення ваги факторів впливу показників, індикаторів та критеріїв; логіко-математичне моделювання – для побудови моделей балансово-аналітичної моделі інфільтрації ексфільтрації, розрахунку обсягів водокористування та комплексної оцінки стану систем водопостачання та водовідведення; теорія надійності – для визначення основних показників надійності роботи мереж; методи-багатокритеріальної оцінки (MCDM) та TOPSIS, методи фінансового аналізу - для проведення експрес-моніторингу та еколого-економічного обґрунтування оптимізації роботи систем водовідведення в умовах експлуатації.

Наукова новизна отриманих результатів:

Вперше: розроблено системну модель оцінки екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України;

Вдосконалено: методи проведення моніторингу екологічної безпеки роботи муніципальних систем водовідведення; математичні моделі, які забезпечують науково обґрунтоване прогнозування загального обсягу водовідведення з урахуванням поточного стану мереж водопостачання та водовідведення.

Набули подальшого розвитку: методи визначення ексфільтрації і інфільтрації систем водопостачання та водовідведення України; методи еколого-економічного обґрунтування оптимізації роботи систем водовідведення в умовах експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробленні методологічних принципів планування заходів забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення.

Запропоновані метод експрес-моніторингу та класифікація систем водовідведення за впливом воєнних дій дозволяють оперативно оцінювати стан інфраструктури водовідведення, запобігаючи аваріям та забрудненню довкілля, тоді як метод еколого-економічного обґрунтування оптимізації роботи систем водовідведення в умовах експлуатації дозволяє покращити роботу систем, зменшуючи антропогенне навантаження на екосистеми. Алгоритм визначення пріоритетності заходів з відновлення елементів системи водовідведення під час воєнних дій забезпечує прийняття обґрунтованих рішень щодо послідовності та терміновості відновлювальних робіт. Крім того, розробки можуть бути використані для подальших досліджень, впроваджені в цифрові системи управління містами, а також слугувати основою для нових нормативних документів та стандартів. Важливим є можливість застосування методики еколого-економічного обґрунтування для підтримки інвестиційних проектів з метою надання допомоги Україні у відновленні інфраструктури водовідведення та її адаптації для використання в інших країнах, що стикаються з подібними проблемами.

Основні положення та результати дисертації було відображено у роботі «Новітні технології водопостачання та водовідведення: наукове технічне обґрунтування», за яку автору присуджено Премію Президента України для молодих вчених. Результати дослідження інтегровані у план заходів на 2024-2027 роки з реалізації Стратегії розвитку Гірської сільської ради Бориспільського району Київської області до 2027 року, а саме до оперативної цілі В.3 «Розвиток систем водопостачання та водовідведення, забезпечення мешканців громади якісною питною водою», у роботу підприємств ТОВ «ТЕХДАР» та ТОВ «БВК «ЕЛІТ-ПРОЕКТБУД».

Запропоновані підходи надають органам місцевого самоврядування, проектувальникам та будівельникам інструменти для прийняття обґрунтованих рішень щодо управління системами, планування інвестицій та реагування на надзвичайні ситуації.

Особистий внесок здобувача полягає у комплексному дослідженні, що включає аналіз проблеми, розробку концепції оцінки забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення, формулювання мети, розробці методик та алгоритмів розрахунку, статистичній обробці та аналізі результатів, формулюванні наукової новизни та основних положень дисертації.

Особистий внесок у спільні наукові праці відображено в додатку А.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення і результати дисертаційної роботи були представлені та обговорені на міжнародних конференціях Безпечна, комфортна та спроможна територіальна громада (Дніпро, 2023), Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, реагування та ліквідація їх наслідків (Харків, 2023), Філософія науки, техніки і архітектури в гуманістичному вимірі (Київ, 2023), IV Міжнародна науково-практична конференції Екологія. Ресурси. Енергія. (Київ, 2023), Міжнародна науково-практична конференція «Green Construction» (Київ, 2023), V Міжнародна науково-практична конференції «Енергоощадні машини і технології» (Київ, 2024), Екологія. Ресурси. Енергія. (Київ, 2024), Materials, Structures, Technologies and Management in Civil and Environmental Engineering (Czestochowa, Poland, 2024).

Публікації.

За темою дисертації опубліковано 18 наукових робіт. З них 2 статті у наукових фахових виданнях, 1 стаття - у науково метричній базі «SCOPUS», 1 одноосібний розділ у міжнародній колективній монографії, 8 статей у наукових виданнях та 6 тез доповідей у наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів та висновків до них, загальних висновків, списку використаних джерел з 310 найменувань, 5 додатків; містить 66 формул, 40 зображень і 36 таблиць.

Загальний обсяг роботи становить 186 сторінок основного тексту.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ УКРАЇНИ

1.1. Сучасний екологічний стан систем водовідведення України

В теперішній час проблема екологічного стану навколишнього середовища здобула особливої актуальності в силу об'єктивної необхідності та реакції на зріст кількості змінення клімату та оточуючого середовища в результаті діяльності людини [1]. Необхідність проектування та експлуатації мереж водовідведення з урахуванням вимог екологічної безпеки виникла, як послідовність Рамочної конвенції ООН [2], Паризької угоди в Ріо-де-Жанейро [3] та підписання Кіотського протоколу в 1997 році [4].

Глобальна статистика 2022 року виявляє критичну ситуацію з доступом до базових санітарно-гігієнічних послуг: понад два мільярди осіб не мають безпечної питної води, 115 мільйонів з яких використовують забруднені поверхневі джерела; три з половиною мільярди позбавлені належних санітарних умов, а 419 мільйонів практикують відкриту дефекацію; два мільярди не мають доступу до елементарних гігієнічних послуг, а понад шістьсот мільйонів позбавлені будь-яких засобів для підтримання особистої гігієни [5]. Ці дані свідчать про глибоку нерівність у доступі до життєво необхідних ресурсів, де дефіцит чистої води, санітарії та гігієни є ключовими факторами захворюваності та смертності, особливо серед дітей, що вимагає невідкладних та рішучих дій для забезпечення загального доступу до цих базових послуг.

Глобальна спільнота, прагнучі до досягнення Цілі 6.2 Сталого розвитку, що передбачає забезпечення загального доступу до адекватних санітарно-гігієнічних умов та ліквідацію відкритої дефекації до 2030 року [6], стикається з серйозними

викликами, оскільки наразі лише трохи більше половини світового населення має доступ до безпечної санітарії [7]. Незважаючи на певний прогрес, досягнутий за останні роки, темпи покращення є недостатніми, що підкреслює необхідність активізації зусиль на глобальному, національному та місцевому рівнях для подолання нерівності в доступі до життєво важливих ресурсів, де нестача належної санітарії та гігієни є ключовим фактором поширення інфекційних захворювань, особливо серед дітей, та має негативні соціально-економічні наслідки (рис. 1.1).

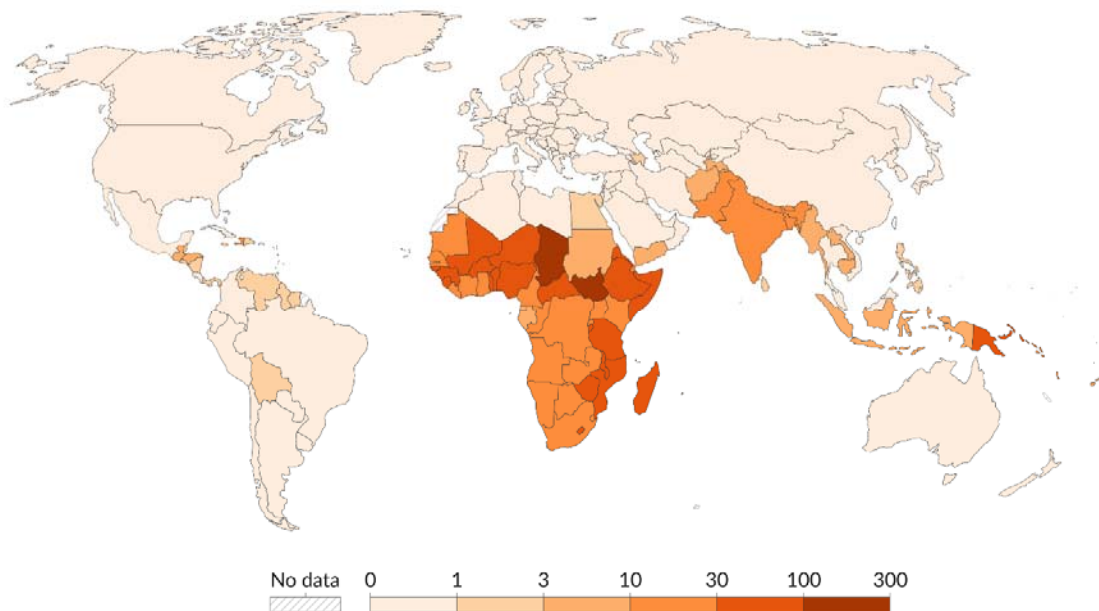


Рис. 1.1. Смертність від небезпечних систем водовідведення у 2021 році (кількість смертей на 1000 осіб) [7] .

Актуальність Цілі 6.3 сталого розвитку, що передбачає покращення якості води шляхом зменшення забруднення, ліквідації скидання відходів, мінімізації викидів небезпечних хімічних речовин та матеріалів, скорочення вдвічі частки неочищених стічних вод і суттєве збільшення переробки та безпечного повторного використання [8], для України обумовлена не лише загальносвітовими тенденціями (рис. 1.2), але й специфічними викликами, спричиненими воєнними діями, що

призвели до екологічних катастроф, руйнування інфраструктури та забруднення водних ресурсів, та вимагає невідкладних заходів для відновлення екологічної безпеки, забезпечення населення якісною водою та відповідності євроінтеграційним стандартам у сфері охорони навколишнього середовища.

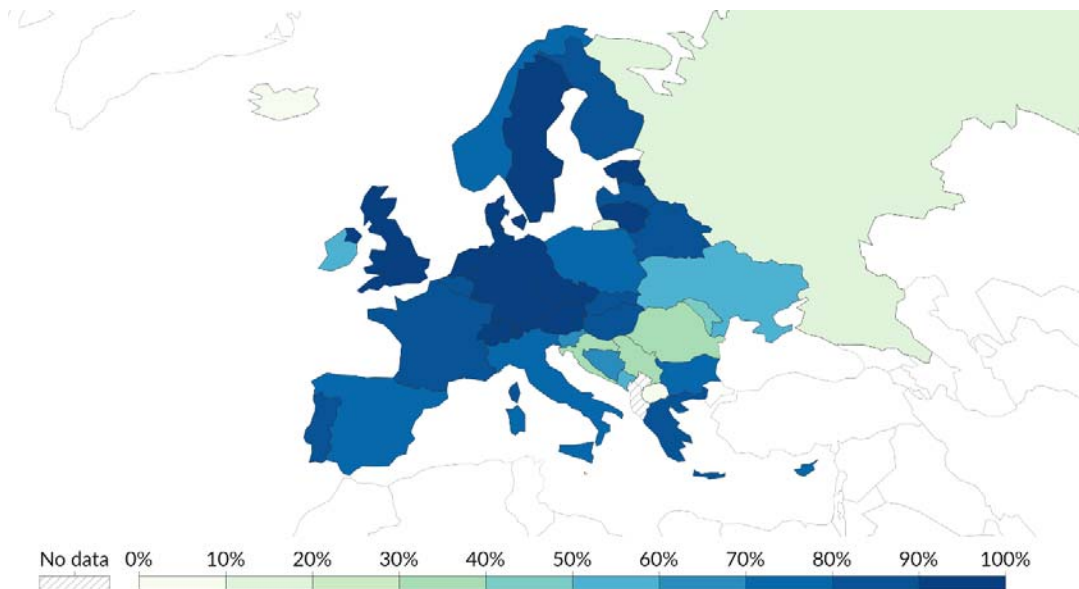


Рис. 1.2. Відсоток стічних вод, які безпечно очищаються 2022 році [7].

Усвідомлюючи критичність проблеми, держава активно впроваджує відповідні законодавчі та нормативні акти [1]. Зокрема:

- Угода про асоціацію між Україною та Європейським Союзом (розділ V, глава 5) передбачає поступове наближення законодавства України до законодавства ЄС у сфері охорони навколишнього середовища, включаючи управління водними ресурсами, а Додаток XXX до Угоди встановлює конкретні директиви ЄС, які Україна зобов'язана імплементувати [9], зокрема Директиву 91/271/ЄЕС "Про очищення міських стічних вод"[10];
- стаття 2 Конвенції «Про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер» регламентує, що сторони вживають усіх відповідних заходів для недопущення, обмеження та зменшення будь-якого транскордонного впливу, а стаття 3 встановлює, що сторони співпрацюють

на основі рівності та взаємності, особливо шляхом укладання двосторонніх або багатосторонніх угод [11];

- стаття 13 Конституції України, закріплюючи право власності Українського народу на природні ресурси, встановлює високий рівень захисту водних ресурсів [12]. Це означає, що держава зобов'язана забезпечити їх раціональне використання та охорону в інтересах усього народу. Стаття 50, гарантує кожному право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та на відшкодування завданої порушенням цього права шкоди [12]. Це безпосередньо стосується якості водних ресурсів, оскільки їх забруднення завдає шкоди здоров'ю громадян;
- Закон України "Про національну безпеку України" [13] та «Стратегія національної безпеки України» [14] визначає погіршення екологічного стану водних басейнів, загострення проблеми транскордонних забруднень і зниження якості води як основні загрози національній безпеці в екологічній сфері, а поліпшення екологічного стану річок України та якості питної води – як один з головних напрямів державної політики з питань національної безпеки;
- Водний кодекс України, визначаючи всі води національним надбанням (ст. 3), регулює використання, охорону та відтворення водних ресурсів (ст. 1), встановлюючи права (ст. 44) та обов'язки (ст. 48) водокористувачів, регламентуючи охорону вод (ст. 70) та відповідальність за порушення (ст. 110) [15];
- Закон України «Про водовідведення та очищення стічних вод» (ст. 3) визначає правові, економічні та організаційні засади функціонування систем водовідведення (ст. 5, 6), встановлює вимоги до якості стічних вод (ст. 21) та їх очищення стічних вод (ст. 16), передбачає державний моніторинг (ст. 23)

за системами водовідведення, а також відповідальність та відшкодування (ст. 29, 30) у разі порушень [16];

- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (ст. 3) визначає завдання законодавства, спрямовані на запобігання негативному впливу господарської діяльності на природні ресурси, а стаття 51 зобов'язує підприємства вживати заходів для запобігання забрудненню навколишнього середовища [17];
- Закон України «Про житлово-комунальні послуги» (ст. 2) регулює відносини між виконавцями та споживачами послуг з водовідведення, встановлюючи (ст. 7) вимоги до якості послуг та (ст. 10) порядок тарифоутворення [18];
- ДБН В.2.5-75:2013 вимагає запобігання забрудненню водних ресурсів шляхом дотримання вимог до якості стічних вод та забезпечення надійного функціонування споруд для їх очищення, що передбачає також мінімізацію ризиків аварійних скидів та контроль за впливом на ґрунтові води [19];
- пункт 1 розділу III «Правил приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення» [20] вимагає їх відповідності нормам, що гарантують безпечну експлуатацію мереж і споруд та ефективне очищення відповідно до "Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами" [21]. Додатково, пункти 3 та 4 розділу III вимагають попереднього очищення стічних вод на локальних спорудах для певних виробничих процесів та забороняють скидання забруднюючих речовин з додатку 2 без знешкодження, що спрямовано на забезпечення належного екологічного стану та захист здоров'я населення через контроль якості стічних вод;
- Порядок, затверджений постановою КМУ № 548, встановлює механізм оцінки стану водовідведення та очищення стічних вод, що проводиться підприємствами, спрямований на визначення технічного стану об'єктів, надійності їх роботи та ефективності очищення, включаючи аналіз технічної

документації, візуальне та інструментальне обстеження, оцінку зносу обладнання, показників ефективності та потенційних наслідків аварій, а також оцінення якості очищення стічних вод, що проводиться не рідше одного разу на п'ять років з метою забезпечення безпеки та оптимізації систем водовідведення [22];

- Водна стратегія України до 2050 року [23] передбачає модернізацію інфраструктури водовідведення, посилення контролю за шкідливими речовинами у стічних водах та удосконалення законодавства згідно з вимогами ЄС. Реалізація цих заходів спрямована на покращення якості послуг водовідведення, досягнення «доброго» екологічного стану водних об'єктів та зниження ризиків від повеней та паводків. Стратегія є особливо актуальною в умовах воєнних дій та необхідності інтеграції до ЄС.

Як бачимо, на сьогодні в Україні дійсно існує розгалужена нормативно-правова база, що регулює питання охорони та раціонального використання водних об'єктів. Проте, важливо зазначити, що ефективність цієї бази залежить не лише від її обсягу, а й від якості застосування та контролю за дотриманням встановлених норм [1].

Насамперед, необхідно акцентувати увагу на обов'язку водокористувачів дотримуватися встановлених нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин, що, на думку науковця Євстегнєєва А.С., за умови ефективного правового регулювання та невідворотності покарання за порушення, стане ключовим елементом забезпечення безпечного водокористування [24]. Цей обов'язок, як зазначає науковець, тісно пов'язаний з нормативами екологічної безпеки водокористування, визначеними статтею 36 Водного кодексу України.

Порядок розроблення та затвердження нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин, затверджений постановою Кабінету Міністрів України №1100 [25], визначає водокористувачів як замовників розроблення

нормативів, встановлює вимоги до розроблення нормативів для підприємств, що проектується, та передбачає подання розроблених нормативів до органів, уповноважених видавати дозвіл на спеціальне водокористування. Однак, цей механізм має недоліки, зокрема недостатність гарантій достовірності інформації та слабка матеріально-технічна база контролюючих органів.

Постанова Кабінету Міністрів України № 321, що регулює видачу дозволів на спеціальне водокористування [26], стикається з низкою проблемних питань, серед яких виділяються недостатня деталізація процедури, відсутність чітких критеріїв для видачі дозволів, слабкий контроль за дотриманням умов, недостатня прозорість процесу, застарілість деяких положень та бюрократичні перепони. Постанова недостатньо деталізує механізми контролю за дотриманням умов виданих дозволів, що ускладнює забезпечення виконання вимог Водного кодексу. Ці недоліки створюють умови для суб'єктивності, корупції, ускладнюють процес отримання дозволів, не забезпечують ефективний контроль за водокористувачами та потребують удосконалення для забезпечення раціонального використання водних ресурсів та захисту довкілля.

Для забезпечення ефективного управління водними ресурсами необхідно здійснити комплексний перегляд та модернізацію нормативно-правової бази, зокрема шляхом усунення розбіжностей між Постановою КМУ № 321 та Водним кодексом України, що передбачає внесення відповідних законодавчих змін, чітке розмежування повноважень між органами державної влади у сфері управління водними ресурсами, удосконалення механізмів контролю за дотриманням умов виданих дозволів, забезпечення прозорості та доступності інформації про видачу дозволів, а також оновлення Постанови з урахуванням сучасних вимог та екологічної ситуації для забезпечення сталого та раціонального використання водних ресурсів.

В умовах війни міжнародні нормативні документи у сфері води набувають особливого значення, оскільки вони визначають основні принципи та стандарти, яких повинні дотримуватися держави у питаннях водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів.

Так, Протокол про воду та здоров'я до Конвенції ЄЕК ООН набуває критичного значення, адже відповідно до статті 6.2 вимагається адаптація національних цільових показників до надзвичайних обставин, Стаття 7 зобов'язує забезпечити доступ до безпечної питної води та належних санітарних умов, стаття 8 передбачає посилення санітарного нагляду для запобігання захворюванням, пов'язаним з водою, а стаття 14 закликає до міжнародного співробітництва для відновлення інфраструктури та обміну інформацією [27], що робить цей протокол ключовим інструментом для захисту здоров'я населення та відновлення водних ресурсів в умовах конфлікту, особливо зважаючи на ратифікацію протоколу Україною.

Женевські конвенції 1949 року, зокрема Додаткові протоколи I [28] та II [29], у контексті водовідведення регламентують захист об'єктів, необхідних для виживання цивільного населення, що охоплює інфраструктуру водовідведення, від навмисних атак, оскільки руйнування цих систем спричиняє антисанітарні умови, епідеміологічні ризики та забруднення водних ресурсів. Також, відповідно до принципів запобігання надмірним стражданням та захисту довкілля, конвенції забороняють застосування методів ведення війни, що спричиняють довготривале та масштабне забруднення, зокрема скидання неочищених стоків, які створюють загрозу для здоров'я населення та екологічної стійкості [28, 29].

Однак станом на початок 2024 року об'єкти водопостачання та водовідведення в Україні продовжують зазнавати активних руйнувань внаслідок воєнних дій, що спричиняє комплексну гуманітарну та екологічну кризу [30-34]. Масштабні пошкодження критичної інфраструктури, включаючи водопроводи,

каналізаційні мережі, насосні станції та очисні споруди (рис. 1.3), в ряді регіонів призводять до катастрофічного дефіциту питної води та порушення санітарно-гігієнічних норм, що створює пряму загрозу для здоров'я населення та сприяє поширенню інфекційних захворювань.

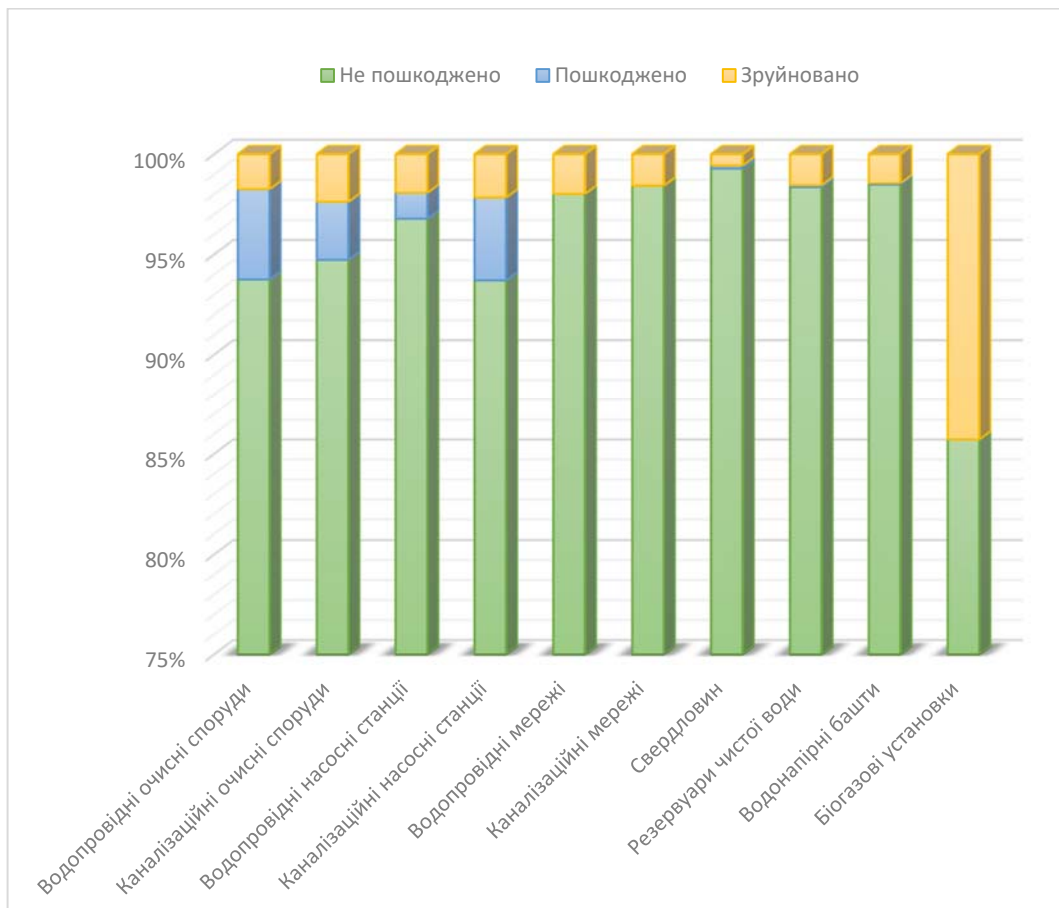


Рис. 1.3. Пошкодження об'єктів інфраструктури водопостачання та водовідведення станом на початок 2024 року (побудовано за даними [35]).

Крім того, неконтрольоване потрапляння неочищених стоків до навколишнього середовища завдають значної шкоди екосистемі, створюючи довгострокові екологічні ризики:

- глобальне моделювання розповсюдження забруднюючих речовин зі стічних вод вказує на масштабне забруднення поверхневих водних об'єктів [36]. Навіть

після ефективного очищення стічні води можуть чинити значний вплив на структуру та функціональну організацію екосистеми водотоку [37];

- забруднення поверхневих вод фекальними вірусами, ендокринними руйнівниками, важкими металами, фармацевтичними препаратами та патогенними мікроорганізмами [38]. Організми, які живуть у або навколо водойм, забруднених стічними водами, схильні до біонакопичення токсинів та патогенів, що містяться в цих стоках, часто акумулюють токсичні речовини та хвороботворні мікроорганізми, присутні в цих стоках. Дослідження показують, що молоді особини лосося, спіймані неподалік від скидів очисних споруд, містять понад 40 різних забруднювачів, характерних для стічних вод [39];

- зменшення біорізноманіття через розміщення обробленого або необробленого осаду стічних вод на поверхні водно-болотних угідь і низинних лісів [40];

- забруднення прісних вод стічними водами призводить до зростання концентрації та поширення хвороботворних мікроорганізмів, що, за оцінками, є причиною близько 829 000 смертей щорічно [41]. Таке забруднення також підвищує випадки отруєння важкими металами як серед людей, так і серед риб [42].

Загальний обсяг збитків зруйнованої та пошкодженої інфраструктури водопостачання та водовідведення станом на початок 2024 року сягав 3,318 мільярдів доларів США [35]. В умовах триваючого конфлікту, відновлення зруйнованої інфраструктури вимагає значних фінансових та технічних ресурсів, що обумовлює критичну необхідність міжнародної гуманітарної допомоги та співпраці для забезпечення базових потреб населення та запобігання екологічній катастрофі.

Згідно до Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні в 2023 році [43] з природних джерел було забрано 5,667 мільярдів м³ води (прісної – 5,658), з них з них 0,813 млрд. м³ – з підземних водних джерел. Крім того порівняно з 1990 р. відбувається суттєве зменшення обсягів

водокористування: водозабору на 628%, водовідведення майже на 1000%, що безперечно значно знижує антропогенне навантаження на природні ресурси (рис. 1.4).

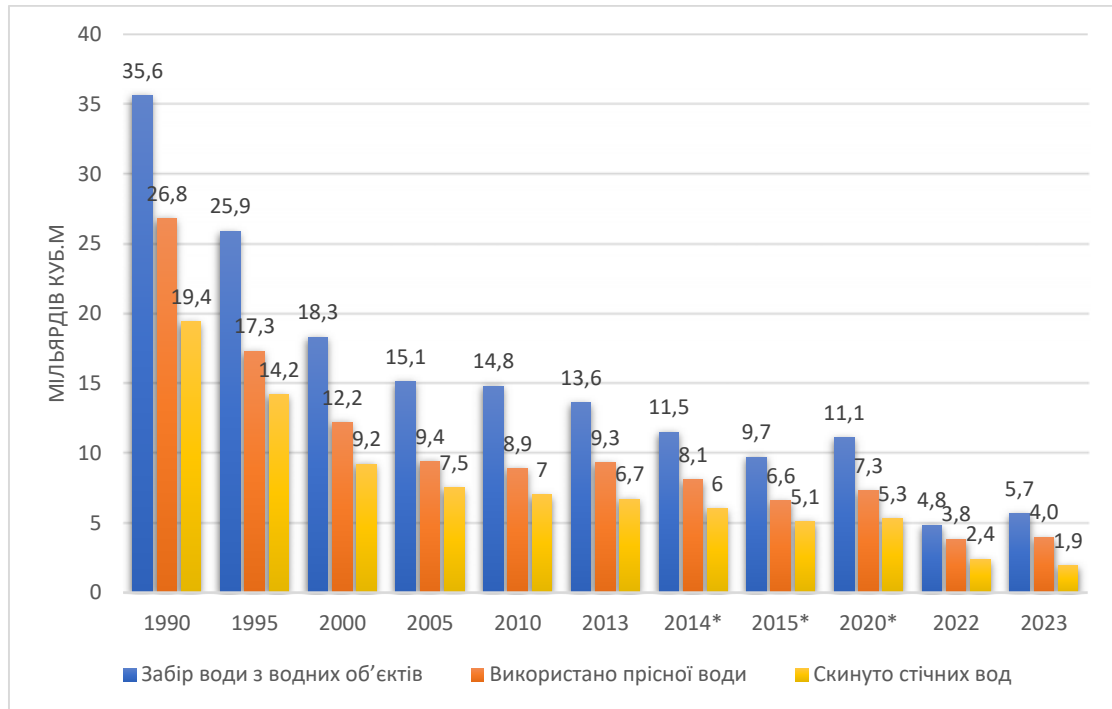


Рис. 1.4. Обсяги водокористування в Україні за період 1990-2023 роки (побудовано за даними [35,44]).

Основними водокористувачами країни залишаються промислові підприємства - 78%, житлово-комунальне господарство - 17% та сільського господарства - 5%. Динаміка використання води основними галузями економіки України за останні двадцять років наведена в таблиці 1.1.

Згідно з аналізом даних про водокористування за 2021 рік, найбільшим джерелом забруднення водних ресурсів в Україні є сектор "Водопостачання; каналізація, поводження з відходами", який відповідає за скидання 541,5 мільйона кубічних метрів забруднених стічних вод [47] (рис. 1.5, б).

Таблиця 1.1

Динаміка використання води
основними галузями економіки у 2001-2023р.р. [43-46]

Галузь	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2013	2014	2019	2020	2022	2023
Промисловість	6020	5637	4903	4483	4575	4475	5363	4266	4723	4055	2392	3623
Сільське господарство	2265	2269	2388	1936	2233	2395	1925	1361	1420	1477	196	241
Житлово-комунальне господарство	2928	2800	2762	2578	2496	2294	1765	1500	1148	1169	753	767
<i>Загалом</i>	<i>13214</i>	<i>10782</i>	<i>10120</i>	<i>9055</i>	<i>9360</i>	<i>9335</i>	<i>9053</i>	<i>7127</i>	<i>7291</i>	<i>7291</i>	<i>3341</i>	<i>4631</i>

Активні руйнування об'єктів водопостачання та водовідведення, що тривають в Україні станом на 01.01.2025 року, створюють не лише гуманітарну та екологічну кризу, але й негативно впливають на показники сталого розвитку країни. Зокрема, індикатор 6.4.1 – «зміна ефективності використання води з часом» у рамках Цілей сталого розвитку ООН (ЦСР), який вимірює відношення вартості, доданої певним сектором, до обсягу використаної води, в Україні залишається на низькому рівні порівняно з країнами Європи (рис. 1.5,а) [48]. Це свідчить про неефективне використання водних ресурсів для створення економічної цінності.

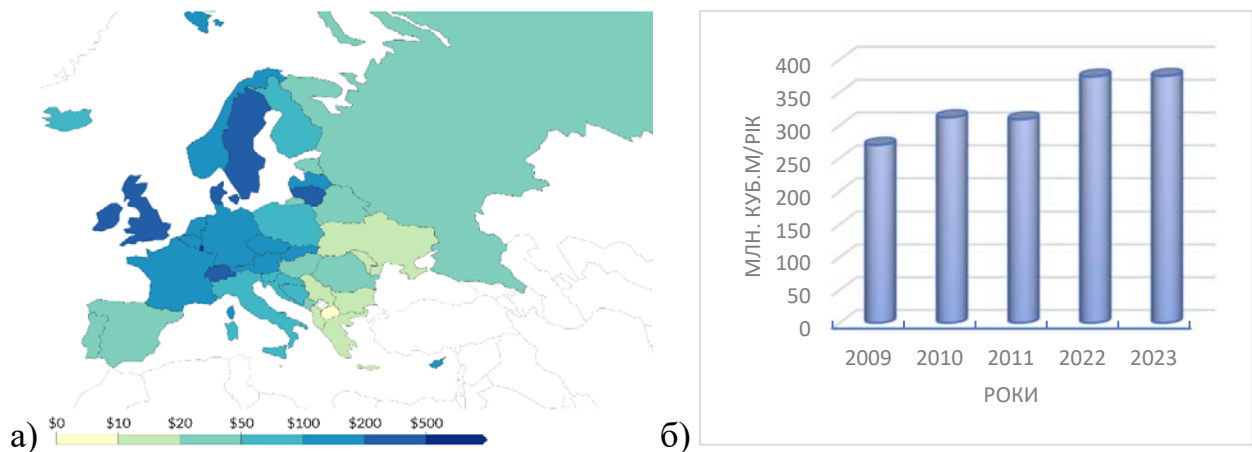


Рис. 1.5. а) Водопроодуктивність, ВВП на кубічний метр забору прісної води, 2021р. [48]; б) Скид забруднених стічних вод у 2009-2023 роках (побудовано на підставі даних [43-46]).

Це свідчить про критичну необхідність модернізації застарілої інфраструктури, збільшення фінансування галузі, покращення управління підприємствами та посилення контролю за скидами, особливо в умовах воєнного конфлікту, який додатково ускладнює ситуацію та погіршує екологічний стан водних об'єктів.

Тому при проектуванні, розміщенні, будівництві, введенні в дію нових і реконструкції діючих підприємств, споруд та інших об'єктів, удосконаленні існуючих і впровадженні нових технологічних процесів та устаткування, а також в процесі експлуатації цих об'єктів однією з основних задач є забезпечення екологічної безпеки людей, раціональне використання природних ресурсів, додержання нормативів шкідливих впливів на навколишнє природне середовище.

Забезпечення належного екологічного стану навколишнього середовища та стає використання природних ресурсів, яке передбачає комплексну стратегію вловлювання, утилізації та детоксикації шкідливих речовин, є ключовим імперативом, оскільки техногенні аварії в системах водопостачання та водовідведення виникають внаслідок порушень технічних регламентів при будівництві та експлуатації, що спричиняє дестабілізацію екосистем, а також внаслідок помилок в управлінні та недостатності технічного обслуговування технологічного обладнання.

Трубопровідні системи є невід'ємною частиною комунального господарства держави, вартість яких складає від 40% до 70% вартості всієї системи [49, 50]. При цьому сумарна протяжність ветхих та аварійних мереж в Україні дорівнює 35,279 тис. км, в або 41,5 % [43].

Незадовільний стан та багато чисельні аварії трубопроводів оказують глибокий вплив на техногенну структуру територій міст [51]. Від надійності мереж водопостачання та водовідведення і якості їх роботи залежить забезпеченість

населення питною водою, екологічний стан та безпека поверхневих та підземних джерел водопостачання. Розгерметизація трубопроводів приводить до негативного впливу на підземні та поверхневі води, атмосферу, літосферу, соціальну сферу та людину[52-58] (рис. 1.6).

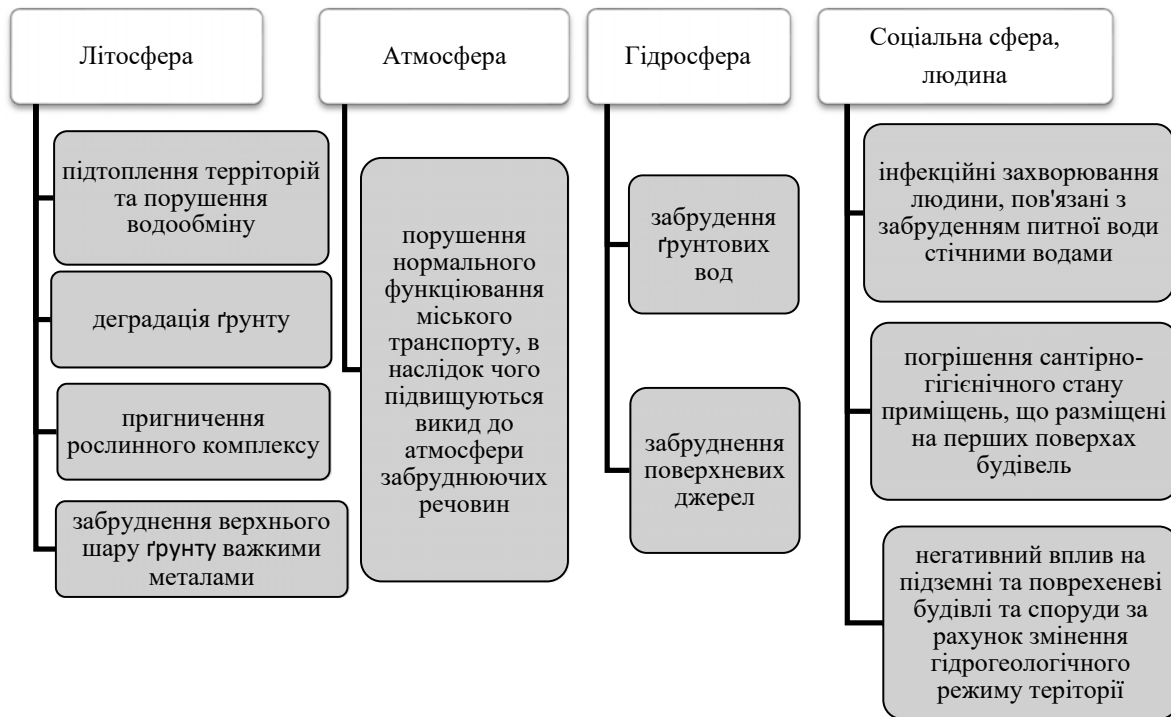


Рис. 1.6. Наслідки впливу аварій мереж водопостачання та водовідведення.

За даними [47] Україні в 2021 році в підтопленому стані знаходилося біля 88,82 тис.км² міських та сільських територій, що складає біля 15% всієї території адміністративних одиниць (рис. 1.7).

Підтоплення території несе суттєві зміни гідрогеологічного середовища: водно-сольового режиму земель і вод та водного балансу території, погіршення умов виробничої діяльності та проживання людей. Особливої уваги потребує техногенне підтоплення, яке виникає в умовах порушеного балансу ґрунтових вод під впливом антропогенної діяльності, де домінують техногенні джерела, такі як зрошувальні системи, канали, водосховища, ставки, а в населених пунктах – мережі водопостачання та водовідведення. Ділянки техногенного підтоплення

спостерігаються по всій території України, проте найбільш інтенсивні зони локалізуються в Херсонській, Одеській, Миколаївській, Дніпропетровській, Запорізькій, Донецькій областях, а також у південно-східних частинах Полтавської та Харківської областей [47].

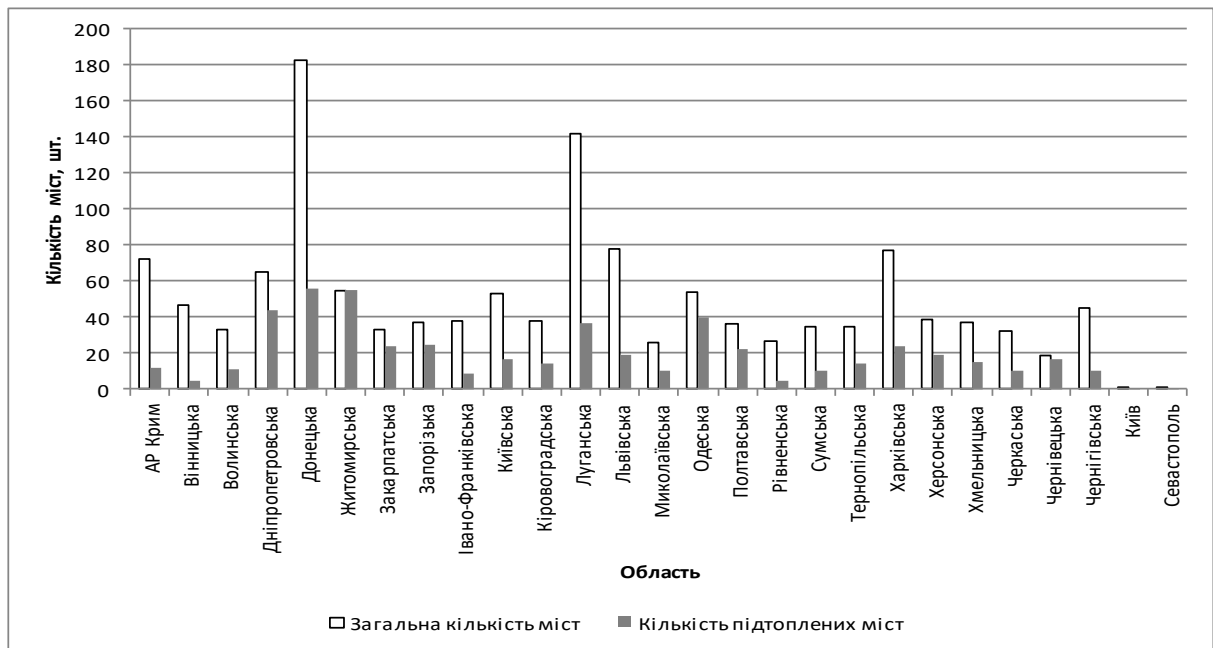


Рис. 1.7. Підтоплення міст України [47].

Ситуація погіршується наявністю гірничих виробіток, оскільки осідання земної поверхні залишається одним з найбільш значущих проявів антропогенного впливу гірничих робіт на геологічне середовище, що безпосередньо впливає на мережі водопостачання та водовідведення, спричиняючи їх деформацію, руйнування та витіки [60]. Негативні трансформації геологічного середовища детермінуються не лише методами видобутку та ліквідації шахт, але й геолого-гідрогеологічними та структурно-тектонічними природними умовами, що характеризуються унікальними специфічними особливостями в кожному конкретному випадку. Загальна площа підроблених земель в Україні перевищує 5,5 тис. км² [47], що свідчить про масштабність проблеми та її потенційні негативні

наслідки не лише для екологічної стабільності регіонів, але й для функціонування критичної інфраструктури, зокрема систем водопостачання та водовідведення.

Окрім того необхідність виконання ремонтно-будівельних робіт при аваріях мереж водопостачання і водовідведення значно погіршують комфортність проживання населення.

Підсумовуючи, сучасний екологічний стан систем водовідведення в Україні характеризується комплексом викликів, що вимагають негайного реагування. Глобальні тенденції, такі як зміна клімату та погіршення доступу до базових санітарно-гігієнічних послуг, посилюються специфічними проблемами України, спричиненими війною. Руйнування інфраструктури, забруднення водних ресурсів та невідповідність євроінтеграційним стандартам вимагають не лише відновлення фізичних об'єктів, але й кардинального перегляду підходів до управління водними ресурсами.

Для забезпечення екологічної безпеки систем водовідведення в Україні необхідний комплексний підхід, який включає модернізацію інфраструктури, удосконалення законодавства, посилення контролю за водокористуванням, міжнародну співпрацю та врахування техногенних факторів.

1.2. Сучасні підходи теоретико-методологічних засад забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення.

С кінця XX століття на міжнародному рівні екологія та безпека розглядаються як єдиний вектор сталого розвитку. Базові потреби у житлі, водопостачанні,

санітарії та охорони здоров'я є важливими для навколишнього середовища. Недоліки в цих областях часто є видимими проявами екологічного стресу [61].

Основні закони екології, що було сформовано Б. Коммонером є не лише загальними екологічними принципами, а й фундаментальними орієнтирами для формування та реалізації концепції екологічної безпеки. Ці фундаментальні принципи розкривають складні взаємозв'язки між природними системами та діяльністю людини, підкреслюючи, що будь-яке втручання в екосистеми матиме наслідки [62].

Програми ООН з довкілля та міжурядова група експертів зі зміни клімату, наголошують на тому, що розробка та впровадження ефективної екологічної політики, повинна бути спрямована на забезпечення екологічної безпеки в рамках сталого розвитку та потребує глибоких екологічних знань: розуміння функціонування екосистем, впливу антропогенних факторів, механізмів зміни клімату, а також розробку науково обґрунтованих методів оцінки ризиків та управління ними [63, 64].

Таким чином, інтеграція екологічного підходу в оцінку стану інженерної інфраструктури, зокрема систем водовідведення, є критично важливою. У цьому контексті екологічна безпека виступає як інструмент реалізації екологічних принципів у сфері природокористування, інфраструктурного планування, урбаністики та охорони здоров'я.

Дослідження проблеми забезпечення екологічної безпеки різноманітних муніципальних систем водовідведення є одним з пріоритетних напрямів досліджень в сучасній науці. Тому для формулювання категорії «екологічна безпека муніципальних систем водовідведення» розглянемо її крізь сучасну призму поглядів на це питання.

Згідно до ЗУ «Про охорону навколишнього природного середовища» [17]: «Екологічна безпека є такий стан навколишнього природного середовища, при

якому забезпечується попередження погіршення екологічної обстановки та виникнення небезпеки для здоров'я людей».

Згідно до ЗУ «Про водовідведення та очищення стічних вод» система водовідведення - система централізованого або нецентралізованого водовідведення та водовідведення поверхневих стічних вод [16].

В українських нормативно-правових актах немає єдиного офіційного визначення терміну "екологічна безпека систем водовідведення". Тому на основі вищенаведених визначень, екологічну безпеку систем водовідведення можна трактувати як: стан функціонування систем водовідведення, за якого забезпечується запобігання негативному впливу на довкілля та здоров'я людей, шляхом контролю якості стічних вод, їхнього належного очищення та безпечного відведення.

Разом з тим у тому ж законі [16], відсутнє визначення для систем водовідведення, які здійснюють одночасне водовідведення централізовано та децентралізовано. Це створює правову прогалину, особливо в контексті малих населених пунктів. Ця невизначеність ускладнює застосування існуючих норм, регулюючих окремо централізовані та децентралізовані системи. Ігнорування цієї проблеми може призвести до погіршення екологічної ситуації, ускладнення залучення інвестицій та створення ризиків для здоров'я населення через неконтрольоване забруднення водних ресурсів.

Для подолання правової невизначеності та ефективного регулювання систем водовідведення, що поєднують централізовані та децентралізовані елементи, необхідно законодавчо закріпити термін "комбінована система водовідведення".

Комбінована система водовідведення — це сукупність об'єктів водовідведення, що поєднує в собі елементи централізованого та нецентралізованого водовідведення, забезпечуючи часткове централізоване відведення, збирання, транспортування, очищення та скидання стічних вод з

одночасним використанням локальних систем очищення для окремих споживачів або груп споживачів, технічно не пов'язаних із загальною системою, з метою ефективного та екологічно безпечного управління стічними водами населеного пункту.

Під терміном «муніципальні системи водовідведення» в цій роботі розуміються системи централізованого, нецентралізованого, комбінованого водовідведення та водовідведення поверхневих стічних вод всіх форм власності, які обслуговують окремі населені пункти та/або об'єднані територіальні громади.

Ігор Ліхно та Михайло Нечипорук установлюють екологічну безпеку держави як концепцію, що пов'язана з охороною природних ресурсів та екологічною рівновагою, забезпеченням стійкого розвитку економіки, запобіганням екологічних криз та забезпеченням належного рівня життя населення [65].

Не можливо не погодитись з думкою А. Качинського, який вважає, однією з основних внутрішніх загроз стану екологічної безпеки України надзвичайні ситуації техногенного характеру [66]. Так, за даними з відкритих джерел [67] за період з 1991 по 2023 р. в Україні на долю надзвичайних ситуацій техногенного характеру приходить 59% від загальної кількості (рис. 1.8).

Джон Браунілл, акцентуючи увагу на аспектах безпеки сталого розвитку, відзначає, що екологічна безпека є ключовим чинником для досягнення сталого розвитку, а різноманітність у рівнях розвитку країн у контексті глобалізації може призвести до загострення проблем екологічної безпеки та викликів для сталого розвитку [68].

Аналіз робіт Ніколаса Стерна [69], Вільяма Нордхауса [70], Річарда Тола [71], Томаса Стернера, Йенса Евальда та Еріка Стернера [72] підкреслює критичну важливість економічного підходу до проблеми екологічної безпеки та необхідності комплексного підходу.

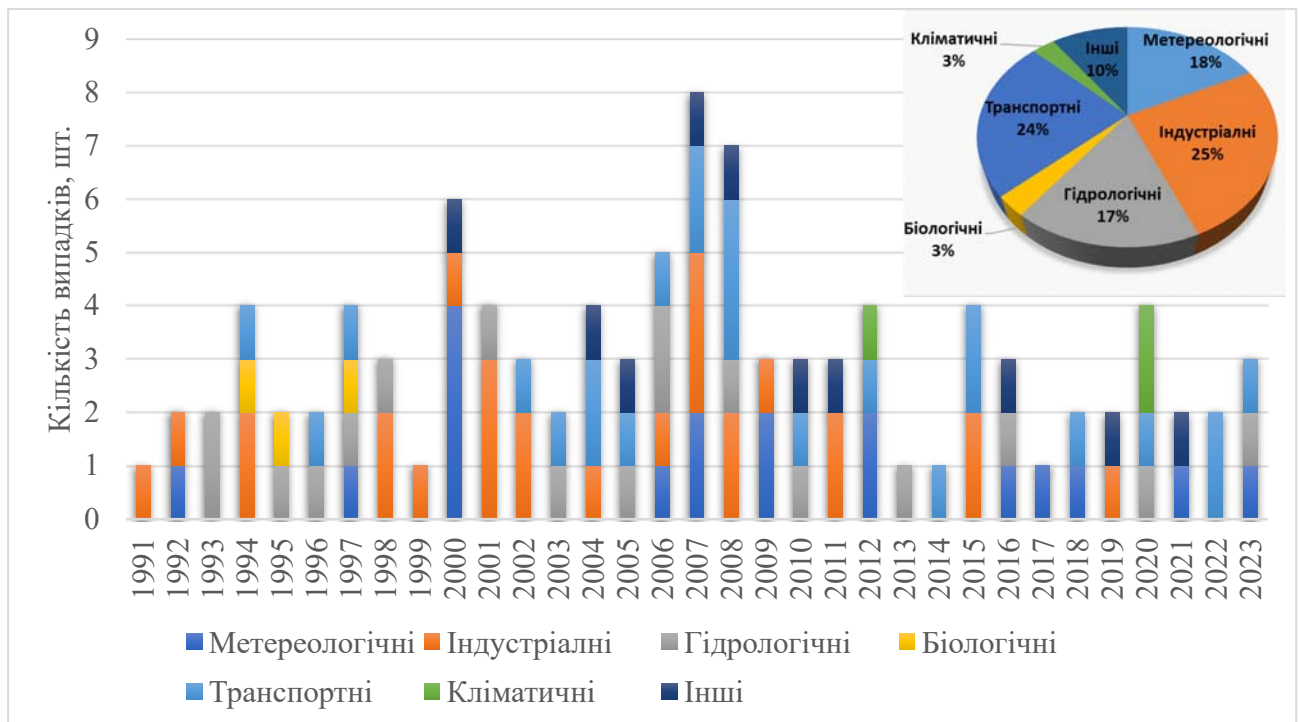


Рис. 1.8. Надзвичайні ситуації в Україні за період 1991-2023 рр. за даними з відкритих джерел (створено на підставі [67]).

У своїй праці "The Economics of Climate Change: The Stern Review" Майкл Мендельсон, аналізуючи економічні наслідки зміни клімату та їх вплив на безпеку людей та майна, наполягає на необхідності термінових дій та зазначає, що вартість бездіяльності перевищує витрати на дії [73].

В той же час Вэй-Лунь Хуан та Янь-Кай Фу, стверджують, що провадження системи екологічного обліку може негативно вплинути на фінансові показники корпорацій, проте суттєво не покращать їх екологічні результати. Між екологічними показниками та фінансовими результатами компаній повинна існувати позитивна кореляція [74]. Однак, хоча впровадження системи екологічного обліку може мати короткострокові фінансові витрати, його потенційні довгострокові вигоди можуть перевершувати початкові недоліки, сприяючи стійкості бізнесу та його адаптації до сучасних екологічних викликів.

Так, у роботі [75] представлено типологію мотивуючих підприємства стратегій, що базуються на відмінностях між утилізацією відходів і використанням відновлених ресурсів.

Нещодавні дослідження китайських вчених показують, що інновації в галузі зелених технологій призводять до просторового ефекту поширення, так інновації в одному регіоні можуть сприяти зростанню зелених технологій у сусідніх регіонах [76]. Таким чином, інтеграція зеленого фінансування та технологічних інновацій є критично важливою для досягнення екологічної безпеки, сприяючи сталому розвитку та збереженню природного середовища.

На підставі однієї з можливих класифікацій можна виділити чотири основні методи оцінювання екологічних ризиків і окрему кількість спеціальних методів [77]. До основних відносять: інженерний метод з так званим логіко-ймовірнісним розглядом можливого сценарію розвитку подій; модельний; метод експертного судження залишає багато можливостей для отримання «бажаного» результату в оцінці ризику; метод соціального опитування.

Міжнародний та український досвід [78-91] показує, що дієвим механізмом для управління екологічною безпекою та оцінювання ризиків підприємств є застосування стандартів ISO 14001[92] та ISO 31000:2018 [93].

Згідно до досліджень Г.М. Дрозда та І.П. Калініної збереження природних ресурсів для майбутніх поколінь є важливим аспектом, що підкреслює значення сталого розвитку. Головна мета полягає у зменшенні ризиків негативного впливу діяльності підприємств на навколишнє середовище та врегулюванні інтересів різних зацікавлених сторін, таких як власники, споживачі, працівники, держава та суспільство. Таке розуміння розглядає екологічну безпеку як складне поняття, що враховує багатогранність впливу діяльності підприємства на навколишнє середовище та суспільство в цілому [94] .

М.В. Шульга в своїй науковій роботі «Управління безпекою життєдіяльності підприємства» до ризиків в екологічній безпеці підприємства відносить ризики, які виникають в результаті впливу підприємства на довкілля та можуть мати негативні наслідки для природних ресурсів, здоров'я людей та інших живих організмів [95].

М.І. Журба та О.М. Крючек встановлюють процесний підхід до концепції екологічної безпеки підприємств, розглядаючи її як систему управління, спрямовану на забезпечення екологічної стійкості підприємства. Вони рекомендують проводити аналіз та оцінку ризиків впливу підприємств на довкілля на кожному етапі технологічного процесу, визначати технологічні параметри, що можуть впливати на довкілля, та розробляти заходи з мінімізації цього впливу [96].

М.М. Кобильська та В.В. Ігнатенко розглядають екологічну безпеку підприємств з використанням результативного підходу, який ґрунтується на оцінці досягнення результатів у сфері екологічної діяльності підприємства. Згідно з цією концепцією, екологічна безпека підприємства вважається досягнутою у разі досягнення певної екологічної мети за визначений період часу. Для оцінки досягнення результатів у сфері екологічної діяльності підприємства використовуються показники екологічної ефективності, які мають бути чіткими, вимірюваними та порівнюваними [97].

У роботі [98] показниками економіко-екологічної оцінки процесів і виробництв є вірогідність забруднення природних комплексів, безпека порушення екологічної рівноваги в навколишньому середовищі, можливість деградації природних комплексів, ймовірність захворювання людей і тварин від забруднення природних комплексів. Запропонований автором підхід здійснення оцінки екологічної безпеки за станом якості навколишнього середовища використовує критерій оцінки зміни якості довкілля.

Т. В. Бойко та А. О. Абрамова до виконання оцінки ефективного оцінювання ризиків впливів на навколишнє середовище у контексті проектування промислових

об'єктів пропонують використання безрозмірних індексів з застосуванням функції бажаності Харрінгтона, що дозволяє згортати екологічну інформацію, спрощуючи аналіз даних і підвищуючи достовірність оцінок ризиків, забезпечує систематичне управління екологічною безпекою під час проектування промислових об'єктів, що є критично важливим для забезпечення сталого розвитку та збереження навколишнього середовища [99].

Х.Р. Васишин пропонує кількісне оцінювання рівня екологічного ризику в Україні визначати як абсолютне відображення ймовірності виникнення певних несприятливих подій, що можуть призвести до екологічних збитків у вигляді показника інтегральної оцінки екологічного ризику [100].

Підходи [94-100] можна вважати ефективними, оскільки вони орієнтовані на досягнення конкретної екологічної мети та використовують чіткі та вимірювані показники екологічної ефективності для оцінки рівня екологічної безпеки підприємств. Однак, слід зазначити, що вони не містять цих показників саме для муніципальних систем водовідведення.

Чимало сучасних досліджень українських вчених присвячено питанням екологічної безпеки окремих елементів систем водовідведення, а саме мереж каналізації та очисних споруд. Ці дослідження охоплюють широкий спектр аспектів, включаючи аналіз технічних характеристик, оцінку ефективності роботи, а також вивчення впливу на навколишнє середовище.

Системні дослідження Г.Я. Дрозда, С.С. Душкіна, Н.І. Зотова, В.М. Маслака, О.С. Лебедевої, В.О. Юрченко, Д.Ф. Гончаренка, А.І. Алейнікової, В.М. Волкова та інш. та свідчать про те, що основними причинами порушення екологічної безпеки каналізаційних мереж України є корозійні процеси, що призводять до їх руйнації [101-115]. При чому одним з ключових аспектів, що впливає на корозію є час перебування стічної рідини в мережі [101, 102, 110], таким чином при розробці

заходів с забезпечення екологічної безпеки особливу увагу слід приділити гідравлічному режиму роботи систем водовідведення.

В своїх роботах [104, 107] автори виконують оцінку викидів сірководню до навколишнього середовища, пропонують методику визначення класу екологічної небезпеки та експлуатаційної надійності окремих ділянок водовідведення, що в свою чергу дозволяє розробляти заходи з підвищення екологічної безпеки окремих ділянок мереж водовідведення. Запропонований дослідниками підхід [109] до виконання оцінки рівня екологічної небезпеки для навколишнього середовища та здоров'я населення шахт каналізаційних колекторів на підставі алгоритмічного забезпечення аналізу екологічних ризиків експлуатації каналізаційних споруд шахт та камер гасіння, є ефективним при розробці заходів з інтенсифікації роботи окремих елементів каналізаційних мереж. Однак, ці підходи є досить трудомісткими і вимагають проведення систематичних спостережень за кожним окремим елементом системи, що не завжди можливо забезпечити в сучасних умовах.

Таким чином, показники екологічної безпеки системи транспортування стічних вод, яка включає мережі каналізації та об'єкти для збору і транспортування стічних вод повинна визначати, наскільки ефективно та безпечно відбувається транспортування стічних вод до очисних споруд. Існуючі дослідження стану елементів системи транспортування стічних вод показують змінну складу стічної рідини за рахунок біологічних процесів [101-109]. В результаті, якість стічних вод, які надходять на очисні споруди, може бути значно змінена, що в свою чергу може ускладнювати подальший процес очищення на існуючих спорудах і підвищувати ризики негативного впливу для здоров'я людей і екосистем.

Т.Віракун та інші у своїй роботі для задоволення зростаючого попиту на безпечну та чисту воду в майбутньому пропонує застосування міждисциплінарного підходу до управління очищенням стічних вод [116].

О. Проскурін з колегами пропонують визначення екологічного ризику очисних споруд розглядати як ймовірність порушення встановлених нормативів якості водного об'єкта внаслідок скидання стічних вод, а розрахунок допустимих концентрацій речовин у стічних водах виконувати на підставі оцінки екологічного ризику, спричиненого скиданням стічних вод у водний об'єкт [117]. Такий підхід є ефективним для запобігання екологічним катастрофам і забезпечення сталого використання водних ресурсів, оскільки дозволяє оцінити потенційний вплив скидання стічних вод на екосистему.

Тайванські вчені оцінку впливу на навколишнє середовище здійснювали на підставі методу EPD 2018, з використанням ряду параметрів для вимірювання впливу на навколишнє середовище, де вимірюваними екологічними показниками були евтрофікація, GWP100, БПК та дефіцит води [118].

М.Лой-Пільх та А.Закжевська для оцінки екологічних ризиків вважають найбільш оптимальними застосування змішаних методів, що в свою чергу передбачає одночасне використання кількісних і якісних методів [119].

Шінта Ф. Р., Кернінгром Н. та Мардіанто М. А оцінку ризиків екологічної безпеки очисних споруд пропонують виконувати за допомогою методу аналізу RCA («риб'ячої кістки»), з наступною обробкою результатів за допомогою методу FMEA для отримання номера пріоритету ризику (RPN) [120]. Застосування методу FMEA для оцінки окремих ризиків, що виникають на очисних спорудах, підтримують і інші дослідники [121-123].

FMEA - «це процедура, з допомогою якої проводиться аналіз всіх можливих помилок системи та визначення наслідків на систему з метою класифікації всіх помилок за ознакою їх критичності до роботи системи» [124, с.4], тому визначення всіх ризиків, що виникають на очисних спорудах за цією методикою є дуже трудомістким процесом та потребує багато досліджень. Це визначає недостатню ефективність її застосування при використанні комплексного підходу для

визначення екологічної безпеки очисних споруд як частини системи водовідведення. В той же час ця методологія може бути ефективно використана для аналізу ризиків при проектуванні окремих елементів систем водовідведення.

У процесі оцінки екологічної безпеки значення кожного критерію має вагоме значення для кінцевих результатів, оскільки вага показників є визначальним чинником, що впливає на точність оцінки. Тому Джуннан Ву та інш. при оцінці ризиків роботи очисних споруд [125] та інших складних систем [126-135] вважають оптимальною для вирішення проблем багатокритеріального прийняття рішень (MCDM) методику BWM (best-worst method), запропоновану Джафаром Резаї в 2015 році. BWM, на відміну від інших MCDM методів, вимагає менше порівнянь даних і веде до більш надійних, стабільних, логічних і раціональних порівнянь [135]. У традиційних MCDM методах, таких як АНР (Аналіз Ієрархії Процесів) або TOPSIS та інших [136, 137], процес порівняння часто вимагає великої кількості оцінок, що може призвести до неузгодженостей у судженнях респондентів. Це може бути викликано як суб'єктивними упередженнями, так і складністю самого процесу, оскільки експертам потрібно порівнювати численні альтернативи за різними критеріями. У результаті, це може викликати труднощі в досягненні консенсусу та знижувати загальну надійність отриманих рішень.

Використовуючи BWM можна визначати, які екологічні проекти мають найбільший потенціал для зниження негативних впливів на навколишнє середовище або економії ресурсів. Це може стати у нагоді при обґрунтуванні рішень щодо інвестицій у проекти, які сприятимуть сталому розвитку та охороні навколишнього середовища. Однак для вирішення комплексних складних задач потужним інструментом для багатокритеріального прийняття рішень може стати доцільним використання поєднання методів TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), АНР (Analytic Hierarchy Process), BWM

(Best-Worst Method) та інш. Таке поєднання може бути особливо корисним у складних ситуаціях, коли потрібно врахувати численні критерії та альтернативи.

При досить широкому огляді та актуальності питань екологічної безпеки систем водовідведення та надійності роботи окремих їх елементів, в наукових працях залишається недостатньо висвітленим питання оцінки забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення в цілому. Це також стосується інтеграції та взаємодії між системами водопостачання та водовідведення, які мають значний вплив на загальну ефективність і екологічну безпеку водних ресурсів.

Системи водопостачання та водовідведення тісно пов'язані. Проте, в багатьох випадках, ці системи аналізуються і оцінюються окремо, що може призводити до неповного розуміння їхньої взаємодії і, відповідно, до недостатньої ефективності в управлінні екологічною безпекою.

Для вирішення цієї задачі необхідно застосування комплексного підходу, який дозволить ідентифікувати потенційні екологічні ризики та розробити ефективні стратегії управління, які забезпечать екологічну безпеку муніципальних систем водовідведення.

1.3. Екологічна значущість та існуючі методи визначення ексфільтрації та інфільтрації муніципальних систем водовідведення

Інфільтрація та ексфільтрація стічних вод є вагомими факторами, що впливають на екологічну безпеку, оскільки спричиняють зміни у гідрологічному балансі, забруднення водних об'єктів та деградацію ґрунтів [138, 139]. Інфільтрація, яка полягає у проникненні зовнішніх вод у каналізаційні системи через

конструктивні дефекти, призводить до перевантаження інженерних мереж, що може спричинити несанкціоновані скиди недостатньо очищених стічних вод у довкілля [140]. Це спричиняє надходження до водних екосистем значної кількості органічних і хімічних забруднень, порушує природні біохімічні процеси, зокрема стимулює евтрофікацію водойм, що своєю чергою негативно позначається на біорізноманітті [141]. Крім того, розведення стічних вод інфільтраційними потоками ускладнює роботу очисних споруд, знижуючи ефективність технологічних процесів очищення та підвищуючи енергетичні витрати [142, 143 с.9-17] .

Ексфільтрація, що проявляється у неконтрольованому витіканні стічних вод із пошкоджених трубопроводів у навколишнє середовище, також становить серйозну екологічну загрозу [144, 145]. Через дефекти каналізаційних мереж до ґрунтових та підземних вод можуть потрапляти патогенні мікроорганізми, важкі метали, фармацевтичні залишки та інші токсичні сполуки, що зумовлює ризики вторинного забруднення водоносних горизонтів і значно ускладнює процес забезпечення якісною питною водою [146-151]. Тривалий процес ексфільтрації спричиняє хімічну деградацію ґрунтів, їх засолення та порушення фізико-хімічних властивостей, що негативно позначається на агроекосистемах та природних ландшафтах [152, 153].

Таким чином, моніторинг та мінімізація явищ інфільтрації та ексфільтрації є необхідними заходами для збереження екологічної рівноваги, захисту водних ресурсів та підвищення ефективності систем водовідведення.

В загальній практиці вивчення процесів інфільтрації потрапляння до мереж водовідведення додаткового притоку стічних вод є атмосферні опади та підземні води, що у науковій літературі зазвичай позначається відношенням I/I (приплив атмосферних вод/приплив ґрунтових вод) [154-156]. Інфільтрацію атмосферних вод

відносять до компонентів швидкого реагування, що мають тимчасовий характер, а ґрунтових до компонентів тривалого реагування [154, 156-159].

Оскільки існує велика різноманітність методів для дослідження процесів інфільтрації та ексфільтрації в каналізаційних системах [160], у цій роботі ми зосередимося на ключових підходах. Всі існуючі методи визначення інфільтрації/ексфільтрації умовно можна поділити на три групи: балансові, вимірювально-аналітичні, математично-аналітичного моделювання.

Балансові методи ґрунтуються на визначенні відношення прогнозованого обсягу водовідведення до загального обсягу стічних вод, що поступили на очисні споруди. Вони базуються на вимірюванні потоку, а також статистичні підходи, які поєднують дані про потік з додатковою інформацією. До таких даних належать відомості про споживання питної води та обсяги утворення побутових стічних вод [161]. Ключовим аспектом цих методів є формування припущень щодо можливості ігнорування певних компонентів потоку за конкретних гідрологічних умов. На основі цих припущень здійснюється балансування компонентів стічних вод протягом заданого періоду часу, що дозволяє оцінити обсяги інфільтрації/ексфільтрації. Варто зазначити, що деякі з припущень, що використовуються в методах, також знаходять застосування в інших методах.

Серед існуючих методів можна виділити метод мінімального нічного потоку, який ґрунтується на припущенні, що нічний потік складається переважно з інфільтрації/ексфільтрації [162]. Інший поширений метод – метод сухого погодинного потоку [163], який використовує дані про потік після періоду сухої погоди, коли рівень ґрунтових вод є високим. Також застосовуються методи рухомого мінімуму та трикутника [164, 165], які дозволяють оцінити частку інфільтрації/ексфільтрації, спричиненої дощем.

Для оцінки інфільтрації/ексфільтрації також застосовується ще один метод водного балансу [166], який базується на порівнянні обсягів стічних вод, що

надходять на очисні споруди, з обсягами спожитої питної води. Окрім того, існують емпіричні методи визначення сезонної інфільтрації ґрунтових вод [167], які використовують рівняння, що включають середньодобові обсяги утворення стічних вод, витрати та мінімальні витрати. Метод вимірювання потоку та аналіз балансу потоку, шляхом порівняння обсягів надходження та витрат стічних вод [168]. Метод відстежування долі інфільтрованої атмосферних опадів з інфільтраційного басейну за допомогою мережі п'єзометрів та складання балансу [169]. Визначення обсягів інфільтрації на підставі визначення витоків з водопровідних мереж та інфільтрація ґрунтових вод у каналізаційну систему, які виявилися визначальними факторами балансу ґрунтових вод у деяких великих містах Японії [170]. Комплексний метод, що поєднує моделювання потоку підземних вод та аналіз балансу розчинених речовин, використовуючи хлориди, сульфати та загальний азот як індикатори [171]. Водно-балансовий підхід, в якому для кожного вододілу розраховується шляхом віднімання відтоків (тобто відділення потоку води, що забирається громадськими системами водопостачання (АЕТ) від притоків (тобто опадів, витоків з труб водопостачання та стоків, що не належать до І/І, з очисних споруд) [172].

Вищезазначені методи мають суттєві обмеження через спрощені припущення, які, як зазначають Бехешті та ін. [173] і Де Бенедеттіс та Бертран-Краєвські [174], можуть призвести до неточних результатів. Зокрема, припущення про постійність потоку санітарних стічних вод, який оцінюється на основі річного споживання питної води або контрольного значення скидання на душу населення, вносить значну невизначеність. Також, оцінка інфільтрації на основі нічного потоку, без урахування відкачування ґрунтових вод та витоків питної води, є недостатньою. В той же час, на нашу думку, загальний принцип водного балансу може бути застосований в основі алгоритму визначення інфільтрації та ексфільтрації.

Вимірювально-аналітичні методи базуються на виконанні натурних вишукувань з подальшою обробкою отриманих результатів (трасування) або без неї (сенсорні методи).

Існує широкий спектр методологій для діагностики каналізаційних мереж, проте не всі вони ефективно виявляють місця інфільтрації/ексфільтрації [175-177].

Відеодіагностика каналізаційних мереж за допомогою системи відеоспостереження (CCTV) є визнаним та найпоширенішим методом інспектування, що включає встановлення камер для візуального аналізу стану труб. Використовуючи камери з штовхачем або роботизовані краулери, можна в режимі реального часу виявити пошкодження та джерела інфільтрації [173, 175-180].

Метод розподіленого вимірювання температури (DTS), який здійснюється за допомогою оптоволоконного кабелю, що розміщено на дні труби, та спирається на вимірюванні різниці температур між побутовими та інфільтрованими стічними водами, на підставі чого останні можна виявити та локалізувати [181-183]. Однак метод розподіленого вимірювання температури демонструє певний рівень похибки порівняно з традиційними витратомірами, особливо за умов низьких потоків [173].

Крім того, для діагностики каналізаційних систем застосовуються різноманітні технології, такі як інфрачервона термографія, ультразвук та георадари, як зазначено в оглядах [174, 175, 177]. Зокрема, відомі дослідження успішного використання інфрачервоної камери для виявлення інфільтрації [184], а також застосування ультразвукових датчиків для кількісної оцінки цього явища [185], моніторингу електропровідності [186].

Для виявлення інфільтрації у каналізаційних мережах застосовуються як прості візуальні методи, так і складніші технічні підходи [187, 188]. Найпростіший спосіб полягає у відстеженні потоку стічних вод шляхом відкриття люків у суху погоду, особливо вночі, коли потік мінімальний [189]. Для покращення візуального огляду використовують каналізаційний перископ та проводять фізичний огляд

великих недіючих трубопроводів [177]. Зливові та побутові стічні води виявляють візуально або за допомогою витратомірів [189]. Для виявлення перехресних витоків у систему додають барвники, дим або воду [181, 189] що є аналогічним до методів трасування, які базуються на введенні в систему спеціальних речовин-трасерів, які потім відстежуються для визначення шляхів руху води [174, 190, 191].

Для визначення ексфільтрації також широко використовують вимірювальні методи [192-197].

Аналіз стабільних ізотопів, як метод природного трасування, дозволяє визначити джерела забруднення каналізаційних систем, оскільки ізотопний склад компонентів стічних вод залежить від їх походження [190]. Для застосування цього методу необхідно, щоб питна та ґрунтові води не змішувалися до потрапляння в каналізацію, а також щоб ізотопні характеристики ґрунтових вод та інфільтраційних вод суттєво відрізнялися [191]. Дослідження [174, 190, 198] демонструють ефективність цього підходу для розрізнення побутових стічних вод від інфільтраційних, шляхом аналізу ізотопного складу. Вимірювання проводяться в період сухої погоди, коли інфільтрація ґрунтових вод є основним джерелом притоку. Відомі застосування цього методу для визначення ексфільтрації [193].

Методи часових рядів забруднюючих речовин, або хімічні методи, ґрунтуються на аналізі розбавлення забруднюючих речовин [174]. Ідея цих методів полягає у виборі забруднюючої речовини, яка, як передбачається, присутня лише в побутових стічних водах, а не в інфільтрованих [190]. Вимірюючи або оцінюючи концентрацію забруднюючої речовини, можна розрахувати, наскільки розбавлені побутові стічні води, та отримати обсяг інфільтрації. Як трасери можна використовувати кілька різних речовин. Аналізуючи невизначеність методу оцінки часових рядів концентрацій забруднюючих речовин з застосуванням моделювання, дослідники дійшли висновку, що цей підхід не спричиняє істотного зростання невизначеності порівняно з прямими вимірюваннями нічного потоку [199].

Точність визначення інфільтраційних процесів у каналізаційних системах залежить від якості, кількості та часу проведення пробовідбору та вимірювань. Оптимізація стратегії відбору проб, зокрема проведення вимірювань у нічний час, сприяє зниженню невизначеності, притаманної традиційним методам [174]. У свою чергу, необхідне досягнення балансу між кількістю вимірювань і їхньою точністю [200].

Оптимізація методів оцінки інфільтрації у каналізаційних системах є критичною для підвищення точності вимірювань і зниження невизначеності. Дослідження свідчать, що стратегічний вибір часу та кількості пробовідбору, зокрема нічні вимірювання, можуть мінімізувати похибки. Водночас необхідно враховувати обмеження гідравлічних умов та точність приладів, оскільки вони впливають на достовірність результатів. Використання методів, таких як DTS та аналіз часових рядів із застосуванням моделювання Монте-Карло, дозволяє підвищити надійність оцінок без суттєвого збільшення невизначеності.

Математично-аналітичне моделювання інфільтрації стічних вод ґрунтується на побудові математичних моделей, дозволяючи прогнозувати обсяги інфільтрації та розробляти заходи реагування. До них можна віднести ГІС, математичні та цифрові (digital) методи.

Для ефективного управління міськими водними ресурсами необхідно моделювати взаємодію ґрунтових вод, поверхневих вод та каналізаційної системи. Для чого дослідниками запропоноване використання інтегрованих моделей, що враховують гідрологічний цикл, включаючи потік ґрунтових вод. Моделювання проводилося в два етапи: спочатку була створена регіональна модель (GFLOW), яка визначила граничні умови для детальної локальної моделі (MODFLOW). Калібрування моделей проводилося на основі даних про гідравлічні напори, потоки поверхневих вод, вертикальні градієнти та інфільтрацію [154]. Використання стратегії поетапного калібрування дозволяє створити точну гідрологічну модель,

розділивши процес на послідовні етапи: спочатку калібрування гідрогеологічних параметрів, використовуючи дані про рівень ґрунтових вод та гідрогеологічні дослідження; потім – параметри зливогого стоку, використовуючи дані про опади та швидкість стоку; і, нарешті, параметри взаємодії між ґрунтовими водами та негерметичними системами труб, використовуючи дані про витрати стічних вод [201, 202]. Це дозволяє поступово уточнити параметри моделі, зменшити невизначеність та підвищити ефективність моделювання.

Франц у своєму огляді принципів та методів моделювання інфільтрації/ексфільтрації (I/I) стверджує, що існує два основних типи моделей: гідрологічні та гідравлічні [165]. Гідролого-геологічна модель є інтегрованою системою, що дозволяє комплексно аналізувати взаємозв'язок між опадами, ґрунтовими водами та каналізаційною мережею, візуалізуючи рух води, оцінюючи обсяги інфільтрації, прогножуючи зміни гідрологічного режиму та оцінюючи ефективність заходів з мінімізації інфільтрації, що робить її потужним інструментом для управління водними ресурсами [203, 204]. Багатомодельний підхід для кількісної оцінки інфільтрації в каналізаційних системах, передбачає розкладання загального потоку на окремі компоненти, індивідуальне моделювання кожного з них, калібрування моделей у суху погоду, об'єднання моделей у квазілінійну модель та визначення параметрів за допомогою оптимізації найменших квадратів, що дозволяє підвищити точність та гнучкість оцінки [161]. Використання нелінійного алгоритму для розділення загального притоку до очисних споруд на потік ґрунтових вод (базовий потік) та інші компоненти, враховуючи різницю в їх динаміці, дозволяє оцінити базовий потік та, відповідно, обсяги інфільтрації/ексфільтрації [205, 206].

Як бачимо, різноманітність підходів до моделювання інфільтрації дозволяє адаптувати методи до конкретних умов та завдань, проте таке моделювання потребує значних зусиль на налаштування та калібрування, оскільки точність

результатів залежить від якості даних та адекватності використовуваних моделей, що підкреслює необхідність ретельного вибору методів та їх адаптації до специфіки досліджуваної каналізаційної системи.

ГІС моделювання в масштабі околиць базується на оцінці дрібномасштабної неоднорідності міських ґрунтів та підземної інфраструктури, щоб забезпечити змодельований напрямок потоку на основі міських кварталів. Різні напрямки течії в місцевому та регіональному масштабах означають вплив міських умов на поведінку ресурсів підземних вод. Розуміння цієї різниці є важливим для точного прогнозування шляхів транспортування забруднюючих речовин та ефективного застосування методів відновлення [207].

Метод ГІС-аналізу для виявлення ділянок з високим ризиком інфільтрації спирається на дані з дощомірів та витратомірів, які оброблялися в ArcGIS за допомогою кригінгу для інтерполяції та прогнозування рівнів інфільтрації, спричинених інтенсивними опадами, шляхом порівняння максимальної та середньої десятирічної швидкості потоку, що дозволяє виявити просторові закономірності та визначити ділянки високого ризику, а співпраця з MCES допомагає верифікувати точність методології [208].

Аналіз ризиків, пов'язаних з транспортуванням рідких небезпечних відходів, проведений за допомогою геоінформаційної системи (ГІС), використовує архівні дані дозволяє спрогнозувати маршрути транспортування, враховуючи критерії маршрутизації та характеристики дорожньої мережі. Додатково, дані про розподіл населення та вразливість ґрунтових вод є базою для оцінки потенційних наслідків розливу відходів [209]. Такий метод аналізу ризиків демонструє свій потенціал в оцінці та управлінні екологічними ризиками.

Незважаючи на потужні аналітичні можливості, застосування геоінформаційних систем (ГІС) має ряд недоліків: висока вартість ліцензійного програмного забезпечення та необхідність навчання персоналу, складність

використання та залежність від якості вхідних даних, проблеми з сумісністю між різними ГІС-програмами, обмеження моделювання реальних процесів та необхідність регулярного оновлення даних, що вимагає значних ресурсів.

В загальному сенсі цифрова (digital) вода – це використання сучасних цифрових технологій для ефективного управління водними ресурсами, водопостачанням та водовідведенням, яке включає збір та аналіз даних за допомогою датчиків, управління в реальному часі для оптимізації роботи мереж, покращення обслуговування клієнтів через цифрові платформи, а також оптимізацію процесів управління системами водопостачання та водовідведення. В міжнародних дослідженнях відомо декілька назв цього напрямлення Digital Water, Smart Water, Internet of Water, Water 4.0 [210]. Це визначення включає ті самі основні функції та терміни промислової революції ІНДУСТРІЯ 4.0, такі як «об'єднання машин, процесів, систем зберігання та ресурсів», «розумні мережі», «Інтернет речей і послуг», і об'єднує їх у системний контекст управління водними ресурсами. У реалізації WATER 4.0 Cyber Physical Systems (CPS) є рушійними силами оптимальної мережі віртуальних і реальних систем водопостачання, причому планування, будівництво та експлуатація в основному виконуються програмним забезпеченням [211]. Ці методи використовують SCADA, IoT, VR та AR.

Системи SCADA (диспетчерське управління та збір даних) стали революційним інструментом в управлінні стічними водами, дозволяючи операторам оптимізувати роботу очисних споруд та забезпечити ефективне очищення. У контексті управління стічними водами, SCADA забезпечує моніторинг в реальному часі ключових параметрів, таких як швидкість потоку, рівень рН та дозування хімікатів, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення та оптимізувати процеси [211-216].

IoT – це парадигма, в якій фізичні, цифрові та віртуальні об'єкти з'єднані та можуть взаємодіяти через Інтернет [217]. Представляють собою системи

управління стічними водами на основі Інтернету (IoT-WMS) в розумних містах з використанням технології блокчейн [218].

Фізично-цифровий простір, у контексті "цифрової води" охоплює візуалізацію даних за допомогою віртуальної реальності (VR), яка занурює користувача в штучне середовище, доповненої реальності (AR), що поєднує реальний світ з цифровим контентом, та технології цифрових двійників міст, дозволяючи моделювати та оптимізувати інфраструктуру водовідведення, покращуючи розуміння складних систем та сприяючи прийняттю обґрунтованих рішень у сфері управління водними ресурсами [219, 220].

Машинне навчання (AI) у системах водовідведення – це інноваційні підходи до їх моніторингу та аналізу процесів на основі аналітики великих даних і хмарних обчислень [219]. Використання штучного інтелекту для прогнозування роботи систем водовідведення, після навчання відповідної моделі, дозволяє значно зменшити необхідність у тривалих лабораторних аналізах та дослідженнях. Ці прогнозні моделі є цінним інструментом для оптимізації роботи інфраструктури, забезпечуючи екологічну та економічну вигоду, оскільки вони дозволяють налаштовувати параметри процесу, оперативно приймати рішення та автоматично або вручну коригувати роботу обладнання [221].

У контексті водовідведення, цифровізація, дозволяє оптимізувати роботу систем водовідведення [210], знижуючи ризик аварій та забруднення довкілля, покращуючи моніторинг якості стічних вод, забезпечуючи ефективне управління очисними спорудами, а також надаючи громадам інформацію про стан систем водовідведення та можливості для їх покращення.

Перспективними методами боротьби з інфільтрацією поверхневих атмосферних вод є застосування «зелених технологій» [215], що включають інтеграцію зелених дахів та стін, дощових садів, проникних покриттів, систем збору та повторного використання дощової води, відновлення водно-болотних угідь та

створення комплексної «зеленої» інфраструктури, спрямованих на зменшення обсягу поверхневого стоку та оптимізацію гідрологічного балансу міських територій [222-230].

Аналіз значного обсягу наукових досліджень виявляє подвійну значущість проблеми ексфільтрації та інфільтрації в системах каналізації. По-перше, численні дослідження підкреслюють високу актуальність цієї проблеми, яка має суттєвий вплив на екологічну безпеку та якість водних ресурсів. По-друге, результати цих досліджень вказують на критичну необхідність розробки індивідуалізованих методик для визначення ексфільтрації/інфільтрації, адаптованих до специфічних гідрогеологічних та кліматичних умов кожного окремого регіону.

Необхідність регіональної адаптації методик зумовлена значною варіативністю факторів, що впливають на процеси ексфільтрації та інфільтрації. Тому для муніципальних систем водовідведення України, особливо у воєнний та перші 10 років післявоєнного часу, повинен бути розроблений такий метод, який з одного боку є нетрудомістким, потребує невеликої кількості вхідних даних та капіталовкладень, однак з іншого боку забезпечував би необхідну точність прогнозування.

Висновки до розділу 1:

1. Екологічний стан систем водовідведення в Україні перебуває є критично нестабільним, що обумовлено синергетичним впливом глобальних екологічних змін, внутрішніх системних недоліків та руйнівних наслідків воєнної агресії. На тлі загальносвітових тенденцій погіршення доступу до санітарно-гігієнічних послуг та змін клімату, Україна стикається з унікальними

викликами, такими як масштабне руйнування інфраструктури, забруднення водних ресурсів та невідповідність євроінтеграційним стандартам, що вимагає не лише відновлення фізичних об'єктів, але й фундаментального переосмислення стратегій управління водними ресурсами. Незважаючи на наявність розгалуженої нормативно-правової бази, її ефективність нівелюється недоліками в механізмах контролю та застосування, що обумовлює необхідність термінової модернізації законодавства. Війна каталізувала існуючі проблеми, спричинивши екологічну катастрофу та вимагаючи активізації міжнародного співробітництва на основі міжнародних нормативних актів. Статистичні дані демонструють скорочення обсягів водокористування, що, з одного боку, свідчить про зниження антропогенного навантаження, але з іншого – виявляє неефективність використання водних ресурсів. Додатково, техногенні фактори, такі як підтоплення та гірничі виробки, спричиняють деформацію мереж та негативно впливають на екологічну стабільність, а аварії на мережах водовідведення підвищують екологічну небезпеку. Для забезпечення екологічної безпеки систем водовідведення в Україні вимагається комплексний підхід, який включає модернізацію інфраструктури, удосконалення законодавства, посилення контролю за водокористуванням, активізацію міжнародного співробітництва та врахування екологічних факторів, впровадження системи експрес-моніторингу, що дозволить оперативно оцінювати стан систем, виявляти критичні зміни та своєчасно реагувати на потенційні екологічні загрози.

2. Муніципальні системи водовідведення, які охоплюють різні форми власності та обслуговують населені пункти, потребують оцінки з урахуванням концепцій екологічної безпеки держави, загроз техногенного характеру, принципів сталого розвитку та економічних аспектів. Аналіз наукових праць підкреслює важливість комплексного підходу до оцінювання екологічних ризиків, з

використанням методів, таких як логіко-ймовірнісний аналіз, моделювання, експертні оцінки та соціальні опитування, а також застосування міжнародних стандартів. Для оцінки екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення необхідно використовувати інтегрований підхід, який включає аналіз технічних характеристик, оцінку ефективності роботи, вивчення впливу на довкілля та врахування взаємодії між системами водопостачання та водовідведення.

3. Інфільтрація та ексфільтрація стічних вод є критичними факторами, що впливають на екосистеми, спричиняючи забруднення водних об'єктів та деградацію ґрунтів. Для їх визначення застосовуються різноманітні методи, які можна класифікувати на балансові, вимірювально-аналітичні та математично-аналітичні. Балансові методи, такі як метод мінімального нічного потоку та метод сухого погодинного потоку, ґрунтуються на порівнянні прогнозованого та фактичного обсягів стічних вод, але мають обмеження через спрощені припущення. Вимірювально-аналітичні методи, включаючи відеодіагностику, трасування та аналіз ізотопів, дозволяють виявити та локалізувати джерела інфільтрації/ексфільтрації, але потребують значних ресурсів та часу. Математично-аналітичне моделювання, з використанням ГІС та цифрових технологій, надає можливість прогнозувати обсяги інфільтрації та розробляти заходи реагування, але вимагає високої кваліфікації та точності вхідних даних. В умовах обмежених ресурсних можливостей, притаманних воєнному та постконфліктному періодам в Україні, виникає нагальна потреба в розробці методології, що забезпечує ефективне визначення інфільтрації/ексфільтрації в муніципальних системах водовідведення, характеризуючись мінімальною ресурсоемністю та достатньою прогностичною точністю.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МУНІЦИПАЛЬНИХ СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

2.1. Системна модель оцінювання екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України

Проблеми водопостачання і водовідведення диктують необхідність проведення державної водогосподарської політики, що забезпечує в стратегічній перспективі стійке водокористування, орієнтоване на забезпеченість водними ресурсами, підвищення якості життя населення, економічної й екологічної безпеки країни по водному чиннику.

Концепція підвищення ефективності систем водопостачання і водовідведення визначається комплексним програмно-цільовим підходом до рішення взаємозв'язаних проблем національного рівня (організаційних, економічних, правових та екологічних) і конкретних технологічних і технічних завдань проектування, будівництва й експлуатації, направлених на впровадження сучасних енерго- і водозберігаючих, природоохоронних технологій й устаткування.

При розробці стратегії підвищення екологічної безпеки всіх об'єктів комплексу водопостачання і каналізації слід ґрунтуватися на науковому підході, який враховує комплекс багаточисельних і, на перший погляд, не зв'язаних один з одним чинників, здатних в тій або іншій мірі безпосередньо або побічно зробити вплив на тривалість терміну служби кожного з елементів системи і виконання ним відповідних санітарних і екологічних функцій. Виходячи з цього, координуючим вектором системної моделі повинно служити використання інтегральних показників стану елементів системи.

Для оцінювання екологічної безпеки розроблюється системна модель «Система муніципального водопостачання та водовідведення» (далі СМВВ), що

використовує структурний підхід до організації даних та інформації, що дозволяє систематизувати складні системи [30, 231- 233]. Ієрархічна логіко-математична побудова моделі СМВВ використовується для класифікації безпеки стану муніципальної системи водопостачання та водовідведення (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Блок-схема системної моделі «Система муніципального водопостачання та водовідведення» (MWSS - муніципальна система водопостачання; MWWS -муніципальна система водовідведення)

Модель розбиває систему на різні рівні, починаючи з загального стану і переходячи до конкретних підсистем і показників. Така структура класифікації моделі дозволяє чітко визначити роль кожного елемента в загальному функціонуванні систем, не тільки забезпечує оцінювання загального стану систем, але й дозволяє судити про те, як змінення окремих показників підсистем впливає на стан всієї системи. Це в свою чергу визначає напрям зусиль та зміну того показника, який оказує сильний вплив на стан системи.

Для комплексного аналізу екологічної безпеки системи важливо враховувати не лише індивідуальні показники, а й їх взаємодії в контексті функціонування всієї системи. Встановлені нормативи слугують орієнтиром для оцінювання ефективності роботи підсистем, що дозволяє виявити можливі зони ризику та розробити відповідні рекомендації для покращення роботи. Тому, оцінювання стану систем і підсистем в моделі "Система муніципального водопостачання і водовідведення" виконується паралельно по двох напрямках - кількісному і якісному. Логічна функція, що базується на множині якісних станів окремих показників системи водовідведення, класифікує якісний стан всієї системи. Кількісна міра застосовується до станів окремих підсистем. На основі цих кількісних оцінок визначається міра для всієї системи. Оцінювання екологічної безпеки системи здійснюється на основі наближення цих показників до встановлених нормативів.

Запропонована модель складається з двох систем та семи підсистем:

- I. «Джерело» - для оцінювання екологічної безпеки джерела за критеріями антропогенного впливу забруднення водних ресурсів та ступеню їх використання.
- II. «Водопровідні очисні споруди» - для оцінювання роботи водопровідних очисних споруд за критеріями можливості забруднення води під час очищення та забруднення оточуючого середовища осадами, що утворюються.
- III. «Водопровідна мережа» - для оцінювання роботи водопровідних мереж за критеріями можливості забруднення питної води в системі подачі та розподілення води та порушень при експлуатації.
- IV. «Вузол розбирання води» - для оцінювання можливості забруднення питної води у внутрішньо будинкових мережах та локальних установок, що встановлені безпосередньо у споживача.
- V. «Вузол приймання стоків» – для оцінювання роботи внутрішніх систем водовідведення безпосередньо у споживачів, визначення

складу стоків та можливості її подальшого приймання в каналізаційну мережу.

VI. «Мережа системи водовідведення» – для оцінювання роботи комплексу інженерних споруд та мереж, що транспортують стічні води від приймачів до очисних споруд за критеріями її безпечної експлуатації, визначення складу стічних вод та можливості їх подальшого приймання на очисні споруди.

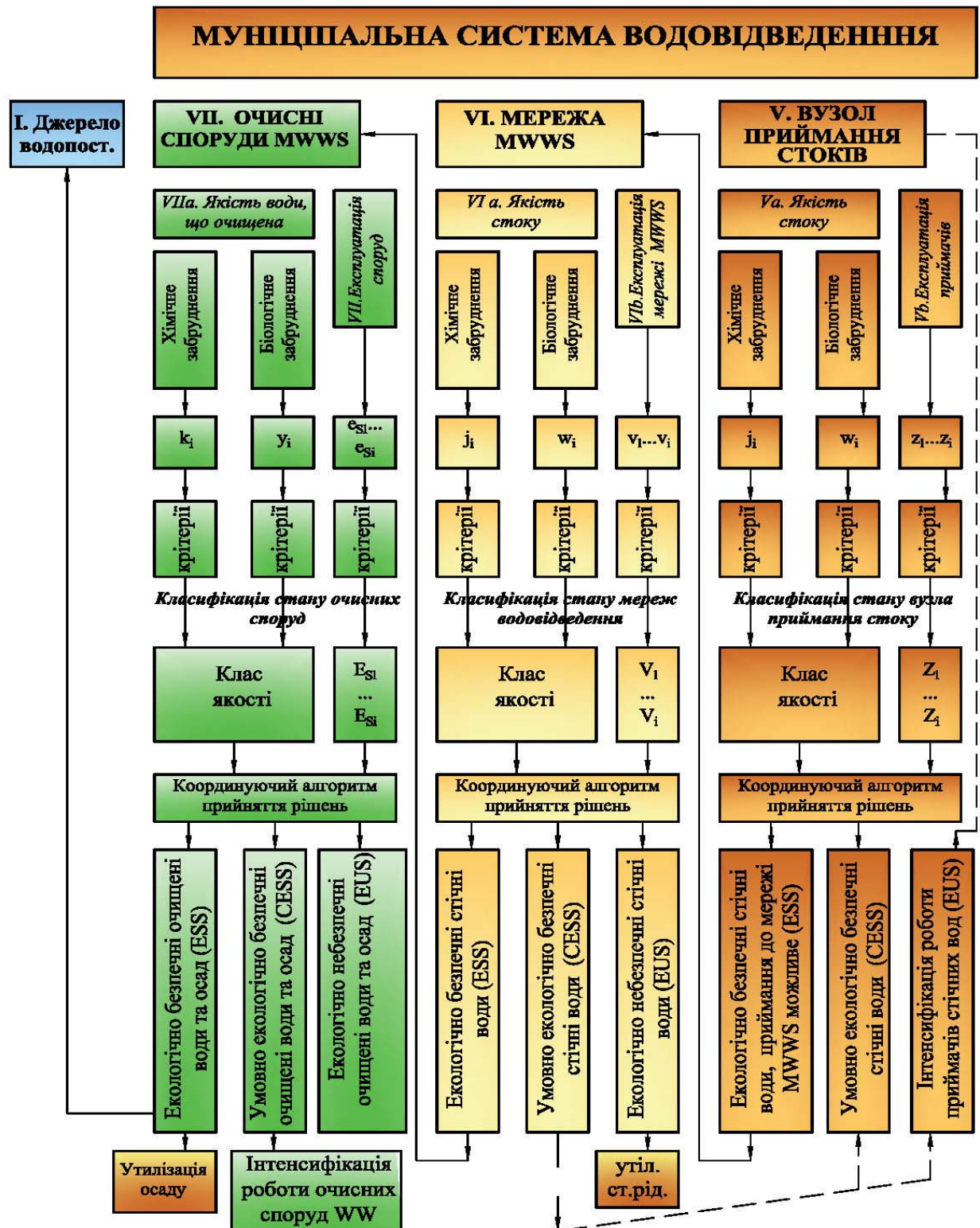
VII. «Очисні споруди водовідведення» – для оцінювання роботи каналізаційних очисних споруд за критеріями експлуатації, можливості очищення стічної рідини та забруднення оточуючого середовища осадами, що утворюються.

Оцінювання екологічного стану перших чотирьох підсистем докладно розглянута у роботах [30, 231, 234]. Отож зупинимося на V-VII блоках системи «Муніципальна система водовідведення» [232] (рис. 2.2).

Стан системи «Муніципальна система водовідведення» (надалі MWWS) по кожному з факторів оцінюється множиною логічних альтернатив ES_{MWWS} стану системи, які можуть бути представлені вектором: $ES_{MWWS} = \{ES_3, ES_2, ES_1\} = \{\text{«екологічно небезпечна система»}, \text{«умовно екологічно безпечна система»}, \text{«екологічно безпечна»}\}$ (таблиця 2.1), компоненти якого визначаються (2.8):

$$ES_{MWWS}(ESB_j) = \begin{cases} ES_3, \text{if } ESB_j = N_{ES3}^j; \\ ES_2, \text{if } ESB_j = N_{ES2}^j; \\ ES_1, \text{if } ESB_j = N_{ES1}^j; \end{cases} \quad j \in \{1, 2, 3\}; \quad (2.1)$$

де ESB_j – показник екологічної безпеки кожної окремої підсистеми, що визначаються згідно розділів 2.2, 2.3, 2.4 ($ESB_1 = ES_{UR}$; $ESB_2 = ES_{SN}$; $ESB_3 = ES_{STP}$).



MWWS - муніципальна система водовідведення
ESS - екологічно безпечна система

CESS - умовно екологічно безпечна система
EUS - екологічно небезпечна система

Рис. 2.2. Структурна схема логіко-математичної моделі «Система муніципального водовідведення» (MWWS - муніципальна система водовідведення; ESS - екологічно безпечна система; CESS - умовно екологічно безпечна система; EUS - екологічно небезпечна система)

Таблиця 2.1

Критерії системи «Муніципальна система водовідведення»

Показник	Клас безпеки		
	екологічно небезпечна система (N_{ES3}^j)	умовно екологічно безпечна система (N_{ES2}^j)	екологічно безпечна (N_{ES1}^j)
Значення числової функції міри (див. п.2.2-2.4)	-1	0	1

Для комплексного оцінювання системи MWWS пропонується використання моделі, що відображає інтегральний вплив окремих підсистем на екологічну безпеку системи водовідведення шляхом їх кількісного оцінювання для подальшого аналізу вразливостей, прогнозування стану, оптимізації режимів роботи системи та розробки заходів з інтенсифікації її роботи (2.2):

$$ES_{MWWS} = \frac{\sum_{i=1}^n ES_{UR_i} \cdot k_{UR_i} + \sum_{j=1}^m ES_{SN_j} \cdot k_{SN_j} + \sum_{z=1}^u ES_{STP_z} \cdot k_{STP_z}}{3}; \quad (2.2)$$

$$ES_{MWWS} \in [-1; 1];$$

де ES_{UR_i} – кількісне оцінювання стану i -того приймача підсистеми «Вузол приймання стоків» (див. розділ 2.2);

k_{UR_i} – ваговий коефіцієнт i -того приймача в загальній оцінці екологічної безпеки MWWS, що визначається за формулою (2.3):

$$k_{UR_i} = \frac{q_{UR_i}}{Q_{STP_z}}; \quad \sum_{i=1}^n k_{UR_i} = 1; \quad (2.3)$$

Q_{STP_z} – витрати стічних вод, що поступають на z -ті очисні споруди, м³/добу;

q_{UR_i} – середньодобові витрати стічних вод i -того приймача (житлового будинку, підприємства, громадських та промислових об'єктів, зливних станцій неканалізованих територій, тощо), м³/добу;

n – кількість приймачів стічних вод;

ES_{SN_j} – кількісне оцінювання стану j -того елементу підсистеми «Мережа системи водовідведення» (див. розділ 2.3);

j -тим елементом підсистеми «Мережа системи водовідведення» вважається комплекс інженерних споруд та мереж, що транспортують стічні від приймачів до очисних споруд води. Кількість елементів j обмежується кількістю окремих каналізаційних станцій, з яких безпосередньо здійснюється транспортування стічних вод (рис. 2.3);

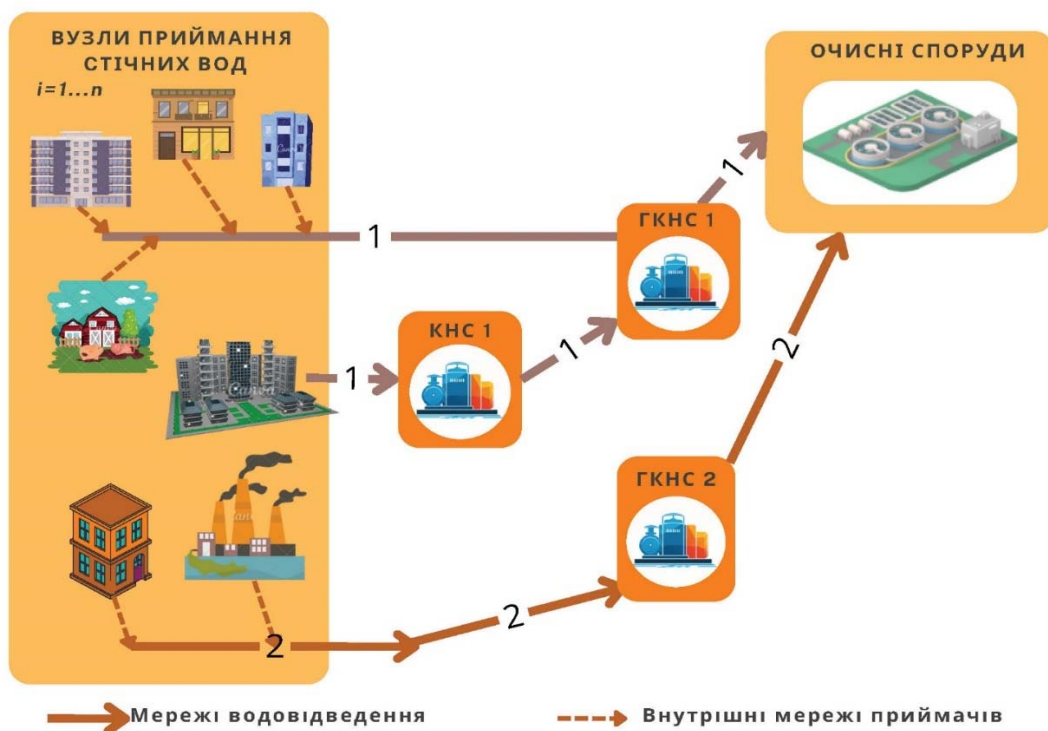


Рис. 2.3. Принципова схема визначення кількості j -елементів підсистеми «Мережа системи водовідведення» (КНС – каналізаційна насосна станція; ГКНС – головна каналізаційна насосна станція; 1- перший елемент підсистеми; 2- другий елемент підсистеми; $j = 1, 2$; $m=2$).

k_{SN_j} – ваговий коефіцієнт j -того елемента підсистеми «Мережа системи водовідведення» що визначається за формулою (2.4):

$$k_{SN_j} = \frac{q_{SN_j}}{Q_{STP_z}}; \quad \sum_{j=1}^m k_{SN_j} = 1; \quad (2.4)$$

q_{SN_j} – середньодобові витрати стічних вод j -того елемента підсистеми «Мережа системи водовідведення», м³/добу;

m – кількість елементів підсистеми «Мережа системи водовідведення»;

ES_{STP} – кількісне оцінювання стану підсистеми «Очисні споруди водовідведення» (див. розділ 2.4);

k_{STP_z} — ваговий коефіцієнт z -тих очисних поруд (2.5):

$$k_{STP_z} = \frac{Q_{STP_z}}{\sum_{z=1}^u Q_{STP_z}}; \quad \sum_{j=1}^m k_{STP_z} = 1; \quad (2.5)$$

u – кількість елементів підсистеми «Очисні споруди водовідведення»;

Тоді оцінювання впливу окремих елементів на екологічну безпеку системи $ES_{MWWS_{ij}}$ визначається за формулою (2.6):

$$ES_{MWWS_{ij}} = \frac{ES_{UR_i} \cdot k_{UR_i} + ES_{SN_j} \cdot k_{SN_j} + ES_{STP}}{k_{UR_i} + k_{SN_j} + 1}; \quad (2.6)$$

$$ES_{MWWS_{ij}} \in [-1; 1].$$

Для оцінювання узагальненого критерію екологічної безпеки всієї системи MWWS вводиться логічна функція міри ES_{tot} (2.7):

$$ES_{tot} = \varphi_k(ES_{MWWS}) = \begin{cases} -1, & \text{if } ES_{MWWS} < 0; \\ 0, & \text{if } 1 > ES_{MWWS} \geq 0; \\ 1, & \text{if } ES_{MWWS} = 1; \end{cases} \quad k \in \{1, 2, 3\}. \quad (2.7)$$

де значення «-1» відповідає стану «екологічно небезпечна система»; значення «0» відповідає стану «умовно екологічно безпечна система»; значення «1» відповідає стану «екологічно безпечна система».

2.2. Екологічне оцінювання підсистеми «Вузол приймання стоків»

Підсистема «Вузол приймання стоків» складається трьох блоків «Хімічне забруднення», «Біологічне забруднення» та «Експлуатація приймачів» (рис. 2.2)

Блок «Експлуатація приймачів» призначений для оцінювання основних факторів, що впливають на екологічну безпеку та надійність роботи внутрішніх систем водовідведення безпосередньо у споживачів:

- z_1 - надійність роботи системи;
- z_2 – фізичні та гідравлічні особливості;
- z_3 – експлуатаційні.

Стан підсистеми по кожному з факторів оцінюється множиною логічних альтернатив $Z_i \in Z$ стану системи, які можуть бути представлені вектором: $Z = \{Z_3, Z_2, Z_1\} = \{\text{«екологічно небезпечно»}, \text{«умовно екологічно небезпечно»}, \text{«екологічно безпечно»}\}$ (таблиця 2.2), компоненти якого визначаються (2.8):

$$Z(z_i) = \begin{cases} Z_3 = -1, \text{if } z_{ij} \in N_3^k; \\ Z_2 = 0, \text{if } z_{ij} \in N_2^k; \\ Z_1, \text{if } z_{ij} \in N_1^k \end{cases} \quad i \in \{1, 2, 3\} \quad (2.8)$$

де N_1^k, N_2^k, N_3^k – нормативні показники k - критерію відповідного стану екологічної безпеки блоку підсистеми (таблиця 2.2);

z_{ij} - фактичні значення показників блоку «Експлуатація приймачів».

Нормативи для цього блоку можуть бути визначені по показнику безвідмовності системи водовідведення.

Згідно діючих стандартів та досліджень [235-238] основними параметрами надійності внутрішніх систем водовідведення є ймовірність їх безвідмовної роботи $P(t)$ - ймовірність того, що в заданих умовах експлуатації протягом певного проміжку часу t не відбудеться жодної відмови елементів, та коефіцієнт готовності K_r – ймовірність того, що об'єкт буде перебувати в працездатному стані в будь-який момент часу з початку експлуатації, що є показником параметричної надійності.

Параметр $P(t)$ для внутрішніх систем водовідведення прямо не регламентується нормативними документами, однак дані «Порядку обслуговування внутрішньобудинкових систем тепlopостачання, водопостачання, водовідведення та постачання гарячої води» [239] та «Правила

технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів України» [240] дозволяють їх розрахувати. Відповідно до п.11 розділу II [239] та п.11.4 [240] несправності та/або недоліки в роботі внутрішньобудинкових систем повинні бути усунуті протягом однієї-трьох діб. Тому визначення $P(t)$ для цих систем можна виконувати на підставі віднесення даних про допустимі перерви на ремонт систем до одного року їхньої експлуатації (2.9):

$$P(t) = \frac{24 \cdot 365 - t_{\text{пер}}}{24 \cdot 365}, \quad (2.9)$$

де $t_{\text{пер}}$ – тривалість перерви в водовідведенні, що регламентуються [4];

$24 \cdot 365$ – кількість годин у календарному році.

В той же час відповідно до п.5.1.2 ДБН В.1.2-14:2018 [241] за своєю характеристикою внутрішні системи водовідведення є елементами, відмова яких може призвести до ускладнення нормальної експлуатації будівлі (споруди), які не належать до категорії А, тобто відносяться до категорії Б. Згідно до таблиці 1 ДСТУ -8855 [242] ці об'єкти можуть бути віднесені до класу наслідків СС1, СС2, СС3 в залежності від категорії самого користувача. В такому випадку ймовірність безвідмовної роботи системи можемо визначити за формулою (2.10):

$$P(t) = 1 - P_i^{\text{ex}}, \quad (2.10)$$

де P_i^{ex} – доцільне значення імовірності відмови і-го виду, визначається за таблицею Б.1. додатку Б ДСТУ [242].

Виконані за формулою (2.10) розрахунки показують, що екологічно-безпечною системою є така система, безвідмовність якої дорівнює 0,999 та вище. Це в свою чергу означає, що вимоги до надійності всієї системи користувача вище, а ніж до окремих її елементів, і система повинна робити повністю безвідмовно на протязі всього строку служби, що не є можливим. Тому для встановлення граничних критеріїв безвідмовності доцільно використовувати

формулу (2.9), яка спирається безпосередньо на реальні терміни відновлення системи.

Оцінювання безпеки екологічного стану у блоці «Експлуатація приймачів» визначається умовою (2.11):

$$Z = \min Z(z_{ij}); Z \in \{-1, 0, 1\} \quad (2.11)$$

Таблиця 2.2

Нормативи блока «Експлуатація приймачів» [16, 239, 240, 242]

№ показника	Показник	Клас безпеки		
		екологічно небезпечно (N ₃)	умовно екологічно безпечно (N ₂)	екологічно безпечно (N ₁)
z ₁₁	Безвідмовність системи	<0,986	0,986÷0,997	>0,997
z ₂₁	Обсяг водовідведення (відхилення від ТУ ¹), %	>20	(0; 20]	0
z ₂₂	Гідравлічний тиск та режим надходження стічних вод (відповідність ТУ ¹), %	<80	[80;100)	100
z ₃₁	Ступінь зносу внутрішніх систем експлуататора	>0,6	(0.15. 0,6]	≤0,15
z ₃₂	Наявність централізованої чи комбінованої системи водовідведення для населених пунктів (популяційний еквівалент якого становить ≥2000 осіб (z ₃))	<90	[90-100)	100%
Примітки: 1.ТУ - технічні умови на приєднання до систем централізованого водовідведення				

Для оцінювання узагальненого критерію всього блоку вводиться логічна функція міри (2.12):

$$T_{ij} = \varphi_k(Z) = \begin{cases} -1, \text{if } Z = Z_3; \\ 0, \text{if } Z = Z_2; \\ 1, \text{if } Z = Z_1 \end{cases} \quad k \in \{1, 2, 3\}; \quad (2.12)$$

де значення «-1» відповідає стану «екологічно небезпечно»;
значення «0» відповідає стану «умовно екологічно безпечно»;
значення «1» відповідає стану «екологічно безпечно».

Стан блоку «Вузол приймання стоків» оцінюється за найгіршим значенням показників блоку «Експлуатація приймачів», в залежності від якого розроблюється цикл заходів з підвищення екологічної безпеки внутрішніх систем водовідведення.

Оцінювання екологічного стану рідини, що потрапляє від користувача, по хімічному забрудненню представлено вектором $C_S = \{C_{S3}, C_{S2}, C_{S1}\} = \{\text{«екологічно небезпечно»}, \text{«умовно екологічно безпечно»}, \text{«екологічно безпечно»}\}$ (таблиця 2.3). Компоненти цього вектору визначаються логічною функцією (2.13):

$$C_S(j_i) = \begin{cases} C_{S3}, & \text{if } j_i \in J_3; \\ C_{S2}, & \text{if } j_i \in J_2; \\ C_{S1}, & \text{if } j_i \in J_1. \end{cases} \quad (2.13)$$

де j_i – показник i -тої забруднюючої речовини стічних вод блоку «Хімічне забруднення»;

J_3, J_2, J_1 - нормативи хімічного складу стічних вод, що скидаються до системи централізованого водовідведення, та приймаються відповідно чинного законодавства.

Таблиця 2.3

Нормативи хімічного складу стічних вод що скидаються до системи централізованого водовідведення [16, 20, 240]

Показник	Клас безпеки блоку		
	екологічно небезпечно J_3	умовно екологічно безпечно J_2	екологічно безпечно J_1
1	2	3	4
Реакція середовища (рН), од.	>9.0; <6.5	6,5-9,0	6.5-9.0
ХСК, мг/дм ⁻³	>580	580	<580
Завислі речовини та речовини, що спливають, мг/дм ⁻³	>433	433	<433
Азот (сума азоту органічного та амонійного), мг/дм ⁻³	<73	73	<73
Нафта та нафтопродукти, мг/дм ⁻³	>10	10	<10
Фосфор загальний (Рзаг), мг/дм ⁻³	>12	12	<12
Хлориди (Cl-), мг/дм ⁻³	>350	350	<350

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
Санітарно-токсикологічна лімітуючі ознаки шкідливості, г/м ³ , п.п. 2, 9, 10, 13, 16, 17, 20, 21, 23, 28, 29, 30, 33, 39, 40, 43, 47, 48, 56, 57, 60, 61, 63, 64, 65, 67, 72, 73 дод. 5 [20]	>ГДК стов.3 дод.5	=ГДК стов.3 дод.5	<ГДК стов.3 дод.5
Інші лімітуючі ознаки шкідливості, г/м ³ , відповідно п.п. 3, 25, 36, 37, 38, 66, 69, 99 дод. 5 [20]	>ГДК стов.3 дод.5	=ГДК стов.3 дод.5	<ГДК стов.3 дод.5
Речовини, які не піддаються біологічній деструкції	>ГДК джерела	= ГДК джерела	<ГДК джерела
Примітки: 1. ГДК - гранично допустима концентрація 2. Нормування та або змінення показників якості стічних вод визначається особливостями технологічного процесу очищення та умовами скиду забруднень у системи централізованого водовідведення.			

Оцінювання безпеки екологічного стану у блоці «Хімічне забруднення» визначається умовою (2.14):

$$C_S = \min C_S(j_i). \quad (2.14)$$

Для оцінювання стану блоку на множині класів C_{Si} вводиться міра $\varphi_r(C_{Si})$ (2.15):

$$\varphi_r(C_{Si}) = \begin{cases} -1, \text{ if } C_{Si} = C_{S3}; \\ 0, \text{ if } C_{Si} = C_{S2}; \\ 1, \text{ if } C_{Si} = C_{S1}; \end{cases} \quad r \in \{1, 2, 3\}. \quad (2.15)$$

де значення «-1» відповідає стану «екологічно небезпечно»; значення «0» відповідає стану «умовно екологічно безпечно»; значення «1» відповідає стану «екологічно безпечно».

В основі розробки алгоритму в блоці «Біологічне забруднення» покладено той же принцип, що у блоці «Хімічне забруднення». Градація критерію біологічного забруднення утворюють вектор ситуацій $B_S(w_i)$ (2.16):

$$B_S(w_i) = \begin{cases} B_{S3}, \text{ if } w_i \in W_3; \\ B_{S2}, \text{ if } w_i \in W_2; \\ B_{S1}, \text{ if } w_i \in W_1. \end{cases} \quad (2.16)$$

де w_i – показник i -тої забруднюючої речовини стічних вод блоку «Біологічне забруднення»;

W_3, W_2, W_1 - нормативи складу стічних вод блоку «Біологічне забруднення», що приймаються відповідно чинного законодавства (таблиця 2.4).

В свою чергу вектор B_S складає множину альтернатив:

$B_S = \{B_{S3}, B_{S2}, B_{S1}\} = \{\text{«екологічно небезпечно»}, \text{«умовно екологічно безпечно»}, \text{«екологічно безпечно»}\}$ (таблиця 2.4).

На множині альтернатив вводиться числова функція міри (2.17):

$$\varphi_r(B_{Si}) = \begin{cases} -1, \text{if } B_{Si} = B_{S3}; \\ 0, \text{if } B_{Si} = B_{S2}; \\ 1, \text{if } B_{Si} = B_{S1}; \end{cases} \quad r \in \{1, 2, 3\}. \quad (2.17)$$

Таблиця 2.4

Нормативи блоку «Біологічне забруднення» [16, 20, 240]

Показник	Клас безпеки		
	екологічно небезпечно W_3	умовно екологічно безпечно W_2	екологічно безпечно W_1
1	2	3	4
БПК _{повне}	>555	555	<555
Концентрація біологічно жорстких синтетичних поверхнево-активних речовин	>17	17	<17
Жири рослинні і тваринні, г/м ³	>20	10-20	≤10
Температура, °С	>40	40	<40
Співвідношення ХСК:БСК ₅	>2.5	2.5	< 2.5
Органолептичні лімітуючі ознаки шкідливості, г/м ³ , п.п. 4, 5, 6, 7, 8, 11, 14, 19, 22, 24, 31, 32, 34, 44, 45, 46, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 58, 59, 62, 68, 77, 78, 79, 80, 85, 88, 90, 91 дод. 5 [20]	>ГДК стов.3 дод.5	=ГДК стов.3 дод.5	<ГДК стов.3 дод.5
Загальні лімітуючі ознаки шкідливості, г/м ³ , п.п. 12, 15, 18, 26, 27, 41, 42, 53, 70, 71, 75, 76, 82, 84, 89, 93, 94, 98 дод. 5 [20]	>ГДК стов.3 дод.5	=ГДК стов.3 дод.5	<ГДК стов.3 дод.5

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
Забруднюючі речовини відповідно п.п. 1, 6, 7, 9, дод.2 [20], мг/дм ³	>0	0	0
Примітки: 1. ГДК - гранично допустима концентрація 2. Гранично допустима концентрація нафти та нафтопродуктів у стічних водах, які надходять на біофільтри, становить 5 г/м ³ 3. Нормування та або зміння показників якості стічних вод визначається особливостями технологічного процесу очищення та умовами скиду забруднень у системи централізованого водовідведення.			

Звідсіля оцінювання якості стічних вод, які надходять до муніципальної мережі каналізації визначається виразом (2.18):

$$C_S B_S = O_S = \arg \min \begin{cases} \varphi(C_{Si}) \\ \varphi(B_{Si}) \end{cases}; \quad C_S B_S \in \{-1, 0, 1\}. \quad (2.18)$$

При отриманні значення якості води «умовно екологічно безпечно» та «екологічно небезпечно» необхідно повторити розрахунок, попередньо провести аналіз, інтенсифікацію роботи (або встановлення) локальних очисних споруд та/або усереднювачів у приймача, виходячи з лімітуючих показників шкідливості.

Для оцінювання узагальненого критерію екологічної безпеки всієї підсистеми «Вузол приймання стоків» вводиться логічна функція міри ES_{UR} (2.19):

$$ES_{UR} = \arg \min \begin{cases} \varphi(C_S B_S) \\ \varphi(T) \end{cases}; \quad ES_{UR} \in \{-1, 0, 1\}. \quad (2.19)$$

При отриманні значення «умовно екологічно безпечна підсистема» необхідно проаналізувати причини такого стану, та виконати заходи з інтенсифікації роботи приймачів. При досягненні значень «екологічно безпечна підсистема» проводиться розрахунок у наступній підсистемі «Мережа системи водовідведення».

2.3. Екологічне оцінювання підсистеми «Мережа системи водовідведення»

В Підсистемі «Мережа системи водовідведення» виділяють три блоки: «Хімічне забруднення», «Біологічне забруднення» та «Експлуатація систем водовідведення» (рис. 2.2).

Підсистема «Мережа системи водовідведення» є найбільш вагомим елементом системи MWWS, вартість якої може складати від 40% до 70% загальної вартості всієї системи.

Екологічну безпеку мереж водовідведення визначимо, як сукупність стану, процесів, дій, що не приводять до життєво важливих збитків (або погроз таких збитків), що наносяться природному середовищу та людині.

З цього визначення можна побачити, що екологічна безпека мереж водовідведення безпосередньо залежить від надійності її роботи, на яку впливає екологічна безпека мереж водопостачання.

На інтенсивність відмов мереж водовідведення та водопостачання оказують вплив багато факторів, що тісно пов'язані між собою: якісні показники води, що подаються в мережу; матеріал трубопроводів систем водопостачання та водовідведення; діаметр та товщина стінки труб; негерметичність трубопроводу; порушення стикових з'єднань труб, деформація тіла труб; геологія; наявність та агресивність ґрунтових вод; строк експлуатації; глибина закладання; динамічні навантаження на трубопровід; гідравлічний режим роботи водопровідної мережі; гідравлічний режим роботи мережі водовідведення; утворення осаду на внутрішній поверхні трубопроводів мереж водопостачання; засмічення мереж водовідведення; склад стічної рідини [51, 243-246].

Зменшення обсягів водопостачання (зміна гідравлічного режиму роботи мережі), впливає як на стан мереж водопостачання, так і на стан мереж водовідведення. В системах водопостачання відбувається збільшення терміну перебування води у мережі, що призводить до зменшення у воді розчиненого кисню, змінення концентрації та складу домішок, посилення біохімічних

процесів на внутрішній поверхні труб, а в решті решт до вторинного забруднення питної води. Завдяки напірному режиму руху води і її взаємодією з поверхнею труби, водопровідним мережам властиве відносно рівномірне утворення корозійних наростів, карбонатних відкладень та утворення біоплівок [247, 248], що в свою чергу впливає на хімічний та біологічний склад стічних вод у приймача.

Процеси корозії в водопровідних та каналізаційних мережах протікають по-різному. Це явище також пов'язано з відмінностями у гідравлічному режимі їх роботи.

В системах водовідведення це призводить до змінення режиму роботи каналізаційних трубопроводів, багато з ділянок якого працюють поза розрахунковими швидкостями, швидкості руху стічних вод не доходять до самоочищуючих величин. Це сприяє випаденню у трубопроводах піску та інших крупних мінеральних та органічних домішок, що призводить до зростання кількості засмічень та інтенсифікації процесів гниття, з утворенням газів, що сприяють корозії та руйнування зводу труб [249, 250].

Мережам водовідведення більш властива біологічна корозія. В ущільненому осаді, що осаджується в лотковій частині труби, проходять анаеробні процеси ферментації відкладень. Цей процес проходить в дві стадії з утворенням та виділенням сірководню (H_2S) та окислення його до сірчаної кислоти (H_2SO_4). В результаті дії кислоти на частину зводу трубопроводу, що знаходиться вище рівня води, відбувається поступове руйнування труби [102].

Такі процеси як корозія, вимивання матеріалу труб, формування біоплівки та осадів протікають у всіх типах труб по-різному. Тому до обрання матеріалу трубопроводу слід підходити комплексно, зважаючи на всі фактори, що впливають на роботу мережі.

Зміна гідравлічного режиму роботи мереж, а саме витратної характеристики, також призводить до збільшення відказів мережі. Представлені спостереження показують, що при зниженні обсягів водовідведення

збільшується кількість аварій, т.ч. знижується надійність роботи мережі (рис. 2.4).

Найбільша кількість відказів відбувається у мережах діаметром 150-300 мм, при чому переважно на трубопроводах діаметром до 150 мм (рис. 2.5). Для мереж діаметром до 300 мм спостерігається постійне зростання величини відказів, в той час, як для інших мереж характер змінення цього показника не є постійним.

Від такого фактору, як матеріал трубопроводу залежить і їх довговічність. Строк служби сталевих трубопроводів без внутрішньої та зовнішньої ізоляції, що було прокладено в радянські часи, не перевищує 20 років, труб з сірого чавуну – 50-60 років, азбестоцементних – 20 років, керамічних – 40 років.

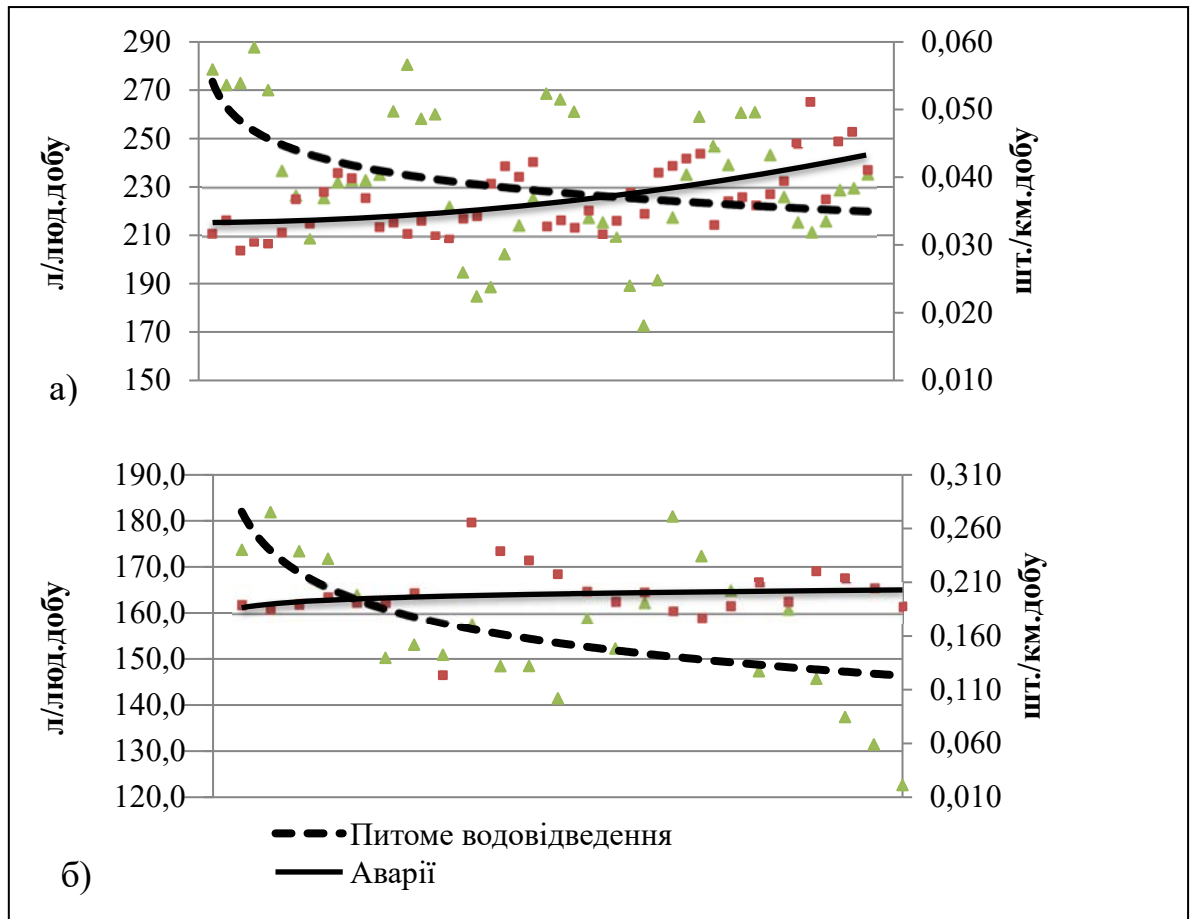


Рис. 2.4. Динаміка змінення обсягів водовідведення та аварійності мереж:

а) найкрупніше місто; б) крупне місто

Міжнародні дослідження [251-253] показують, що строк служби бетонних трубопроводів складає не менш 70 років за умови правильної установки та експлуатації. Мінімальний строк служби сучасних безнапірних труб з поліпропілену, поліетилену, непластифікованого полівінілхлориду за існуючим ДСТУ [254] складає 50 років, але проведені в Скандинавії дослідження показують, що реальний строк служби збільшено на десятки років. Тому фактично такі трубопроводи можна розраховувати на 100-річний строк служби труб [255]. За даними [256, с.30-32] очікуємий строк служби трубопроводів з ВЧШГ складає 100 років. Кожному з видів трубопроводів характерні свої пошкодження [257,258].



Рис. 2.5. Розподіл аварійності мереж водовідведення за діаметрами

Окрім самого матеріалу, з якого виготовлено труби, на ці пошкодження, безумовно, впливають такі фактори, як геологічні характеристики ділянки, глибина та дефекти укладання, динамічні та статичні навантаження на трубопровід, наявність та агресивність ґрунтових вод.

Деформація та стан ґрунтів оказують серйозний вплив на стан мереж водопостачання та водовідведення. Аналіз функціонування мереж водопостачання, які експлуатуються на територіях, що підроблюються, засвідчує, що це негативно впливає на їх експлуатаційну надійність та зумовлює

зростання кількості відмов [60] (рис. 2.6) , порівняно з територіями, що не порушені. Тип ґрунту та її корозійна активність, оказують вплив на зовнішню поверхню трубопроводів та її корозію, а отже призводять до зменшення довговічності роботи трубопроводу та підвищення аварійності мереж.

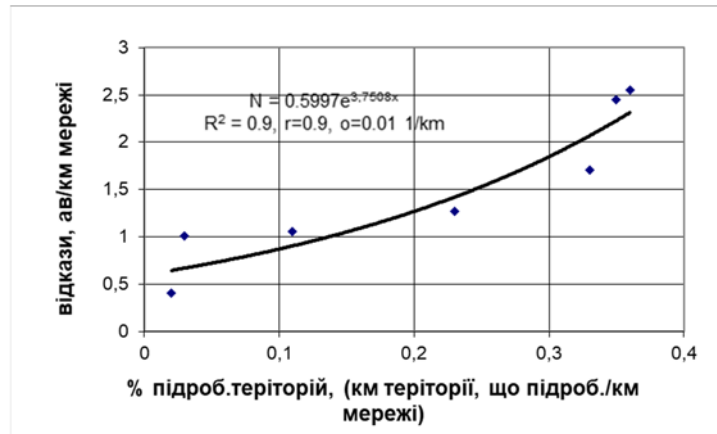


Рис. 2.6. Вплив складних горно-геологічних умов на вихід з ладу підземних трубопроводів

Спостереження за інтенсивністю між відказами в роботі обох мереж дозволяє стверджувати, що аварійність мереж водовідведення в складних горно-геологічних умовах буде збільшуватися подібно аварійності трубопроводів мереж водопостачання з аналогічних матеріалів, оскільки мережі прокладено в одних і тих же умовах [32] (рис. 2.7).

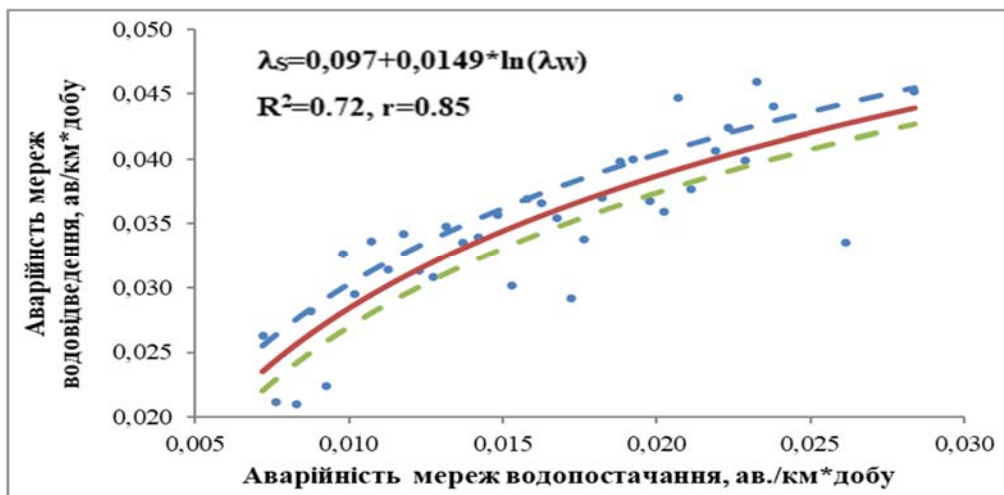


Рис. 2.7. Залежність аварійності мереж водовідведення від аварійності мереж водопостачання в складних горно-геологічних умовах

Як відмічають ряд вчених [259] до факторів геологічного ризику можна віднести: карстово-сифузійні та сифузійні процеси; підтоплення значних територій і змінення внаслідок цього фізично-механічних властивостей ґрунту; забруднення геологічного середовища, підвищення агресивності ґрунтових вод, погіршення властивостей забруднених ґрунтів.

Наявність ґрунтових вод значно впливає на надійність та екологічну безпеку роботи трубопроводів, так як цей фактор оказує вплив на кілька інших факторів.

По-перше, підвищення рівня ґрунтових вод та їх агресивності в результаті забруднення фекальними водами визиває активізацію карстових процесів, що призводить до утворення карстових провалів, та погрожує спорудам руйнуванням тіла фундаментів, корозію арматури та бетону та інш. Крім того витoki з каналізаційних мереж забруднюють ґрунтові води та самі ґрунти, призводять до погіршення їх механічних властивостей (понижується опір зсуву). Велику небезпеку оказують витoki з трубопроводів, що супроводжуються «розмиттям» ґрунтів основ. Працюючи як дрени, колектори викликають появу суфозії та осідання ґрунту. Провали колекторів призводять до руйнування будівель, зупинки руху транспорту та провалу ділянок доріг.

Наявність ґрунтових вод сприяє їх інфільтрації до мереж, що в свою чергу впливає на гідравлічний режим роботи трубопроводів та склад води як в водопровідній так і каналізаційній мережі. Збільшення витрат стічної рідини змінює роботу каналізаційних насосних станцій та очисних споруд, підвищує вартість експлуатації каналізаційної мережі.

Процес інфільтрації зустрічається також у водопровідній мережі, що стається при надмірному коливанні тиску в мережі та її опорожненні. Наслідки такої інфільтрації дуже гостро впливають на екологічну безпеку питної води. Забруднені ґрунтові води (в тому числі витокami каналізації), що потрапляють до мережі, призводять до вторинного забруднення води та спалахів різного роду інфекцій.

Для визначення значимості критеріїв, що впливають на роботу мереж водопостачання та водовідведення скористуємося теорією графів та матричним методом. Для чого складаємо структурну схему зв'язків факторів, що визначають їх вплив один на одного, у виді орієнтованих графів (рис. 2.8) [51, 246].

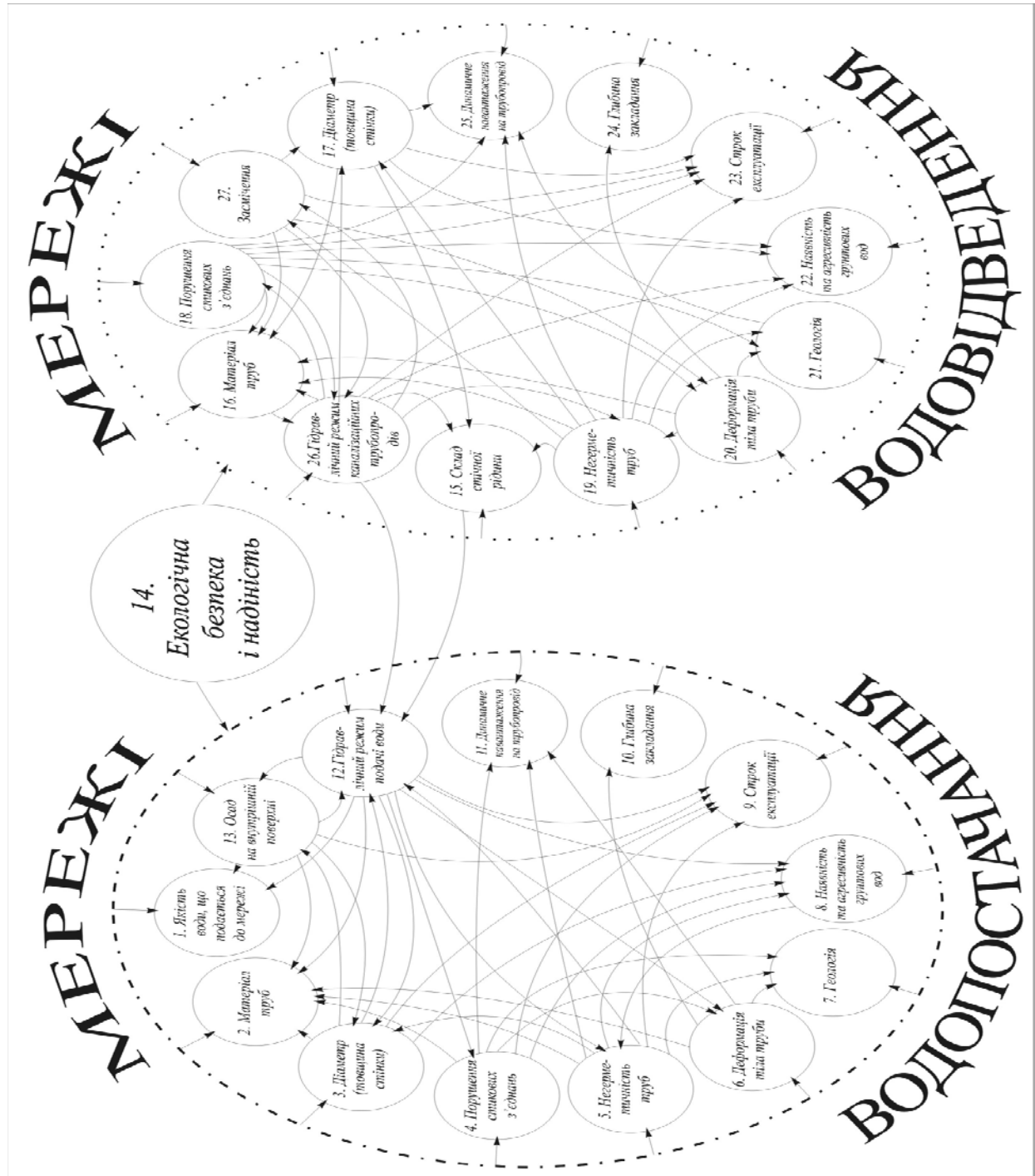


Рис. 2.8. Граф зв'язності факторів, що впливають на екологічну безпеку і надійність мереж водопостачання та водовідведення

Для автоматизованого підрахунку матриці добутку та додавання матриць М та виявлення рівня значимості факторів (шляхом підрахунку сум елементів підсумкової матриці S), у виді числових значень використовувалась програма MathCAD. Результати підрахунку приведено у додатку В .

Аналізуючи отримані дані можна відмітити, що кожний елемент матриці, після проведення операції додавання строк, здобуває своє бальне значення. Значимість кожного з факторів приведена в таблиця 2.6

Таблиця 2.6

Значимість факторів, що впливають на екологічну безпеку на надійність мереж водопостачання та водовідведення

Якість води, що подається до мережі водопостачання	0,036
Матеріал трубопроводу водопровідної мережі	0,088
Діаметр (товщина стінки) мережі водопостачання	0,054
Порушення стикових з'єднань мереж водопостачання	0,025
Негерметичність трубопроводів мережі водопостачання	0,045
Деформація тіла труби мереж водовідведення	0,032
Геологія (де прокладено мережі водопостачання)	0,034
Наявність та агресивність ґрунтових вод, в місцях де прокладена мережа водопостачання	0,066
Строк експлуатації мережі водопостачання	0,077
Глибина закладання мереж водопостачання	0,011
Динамічне навантаження на мережі водопостачання	0,033
Гідравлічний режим подачі води	0,071
Осад на внутрішній поверхні мереж водопостачання	0,042
Склад стічної рідини	0,034
Матеріал труб мережі водовідведення	0,064
Діаметр (товщина) стінки мереж водовідведення	0,031
Порушення стикових з'єднань мереж водопостачання	0,014
Негерметичність трубопроводів мережі водовідведення	0,020
Деформація тіла труби	0,015
Геологія (де прокладено мережі водовідведення)	0,020
Наявність та агресивність ґрунтових вод, в місцях де прокладена мережа водовідведення	0,040
Строк експлуатації мережі водовідведення	0,052
Глибина закладання мереж водовідведення	0,006
Динамічне навантаження на трубопровід мереж водовідведення	0,034
Гідравлічний режим роботи каналізаційних трубопроводів	0,034
Засмічення мереж водовідведення	0,022
ВСЬОГО	1,000

Спираючись на отримані дані, блок «Експлуатація систем водовідведення» системної моделі MWSS, призначимо для оцінювання основних факторів, що впливають на екологічну безпеку мереж водовідведення: v_1 – фізичні; v_2 – гідравлічні; v_3 – експлуатаційні.

Стан підсистеми по кожному фактору оцінюється множиною логічних альтернатив $V_i \in V$ стану системи водовідведення, які можуть бути представлені вектором: $V = \{V_3, V_2, V_1\} = \{\text{«екологічно небезпечно»}, \text{«умовно екологічно безпечно»}, \text{«екологічно безпечно»}\}$ (таблиця 2.1), компоненти якого визначаються логічною функцією (2.21):

$$V(v_{ij}) = \begin{cases} V_3 = -1, \text{якщо } v_{ij} \in N_{SN1}^k; \\ V_2 = 0, \text{якщо } v_{ij} \in N_{SN2}^k; \\ V_1 = 1, \text{якщо } v_{ij} \in N_{SN3}^k; \end{cases} \quad i \in \{1, 2, 3\}. \quad (2.21)$$

де значення «-1» відповідає стану «екологічно небезпечно»;

значення «0» відповідає стану «умовно екологічно безпечно»;

значення «1» відповідає стану «екологічно безпечно»;

N_{SNI}^k – показники k - критерію відповідного стану екологічної безпеки блоку «Експлуатація систем водовідведення» підсистеми.

Одним з головних індикаторів фізичних факторів є строк служби елементів мережі, який впливає на ексфільтрацію з мережі за рахунок скритих витоків. Він безпосередньо залежить від матеріалу, та може бути визначений на підставі порівняльного оцінювання фактичного k_{SN} та нормативного k_{lim} ступеню зносу за п.п.25-27 [22], за формулою (2.22):

$$k_{SN} = \frac{\sum_{i=1}^n l_{SNI} \cdot t_{SNI}}{\sum_{i=1}^n l_{SNI} \cdot t_{SLi}}; \quad (2.22)$$

де l_{SNI} – загальна довжина трубопроводів з i -того матеріалу, км;

t_{SNI} – нормативний строк служби трубопроводів з i -того матеріалу, роки;

t_{SLi} – фактичний строк служби трубопроводів з i -того матеріалу, роки.

Ще однією умовою забезпечення екологічної безпеки зовнішнього середовища є відсутність ексфільтрації стічної з мереж водовідведення під час аварій. Допустима кількість відказів мереж водовідведення не нормується жодним нормативним документом України, однак може бути визначена на підставі показників надійності мереж водовідведення [235] (2.23):

$$T_d = \frac{1}{\lambda_s}; \quad (2.23)$$

де λ_s – аварійність мереж водовідведення, $\frac{1}{\text{км} \cdot \text{рік}}$;

T_d – напрацювання на відказ, який приймемо як нормативний строк служби трубопроводів з i -того матеріалу з врахуванням допустимого ступеню зносу k_{lim} відповідно до п.25 [22]. Тоді лімітуючі показники напрацювання на відказ T_{dn} визначаються за формулою (2.24):

$$T_{dn} = \frac{\sum_{i=1}^n l_{SNi} \cdot t_{SNi}}{\sum_{i=1}^n l_{SNi}} \cdot (1 - k_{lim}). \quad (2.24)$$

В такому випадку нормовану інтенсивність відмов λ_{SNn} можна визначити за формулою (2.25):

$$\lambda_{SNn} = \frac{\sum_{i=1}^n l_{SNi}}{\sum_{i=1}^n l_{SNi} \cdot t_{SNi}} \cdot \frac{1}{(1 - k_{lim})}, \frac{1}{\text{рік} \cdot \text{км}}. \quad (2.25)$$

Для трубопроводів лімітуючими індикаторами забезпечення екологічної безпеки з точки зору гідравлічного режиму роботи мережі є:

- недопущення інтенсифікації процесів гниття з викидами шкідливих газів;
- недопущення ексфільтрації стічної рідини через колодязі до зовнішнього середовища у разі тимчасової зупинки КНС або інфільтрації ґрунтових та атмосферних вод до мережі.

В свою чергу процеси гниття залежать від відносної стабільності (стійкості) стічних вод S_{SN} , яка визначається за загальновідомою формулою (2.26) [260, с.15]:

$$S_{SN} = 100 \cdot (1 - 10^{-k_1 t_d}), \quad \% \quad (2.26)$$

де k_1 - константа споживання кисню на окислювання, який залежить від температури і визначається згідно [261, с.55];

t_d - кількість діб, протягом яких увесь кисень був спожитий до початку загнивання.

Муніципальні стічні води є нестабільними ($S_{SN} \leq 11\%$ [260, с. 47]) та залежать від їх температури. Таким чином на підставі формули (2.26), можна визначити максимальний строк перебування стічної рідини в мережі водовідведення в залежності від температури рідини (2.27), що представлено на рис. 2.9:

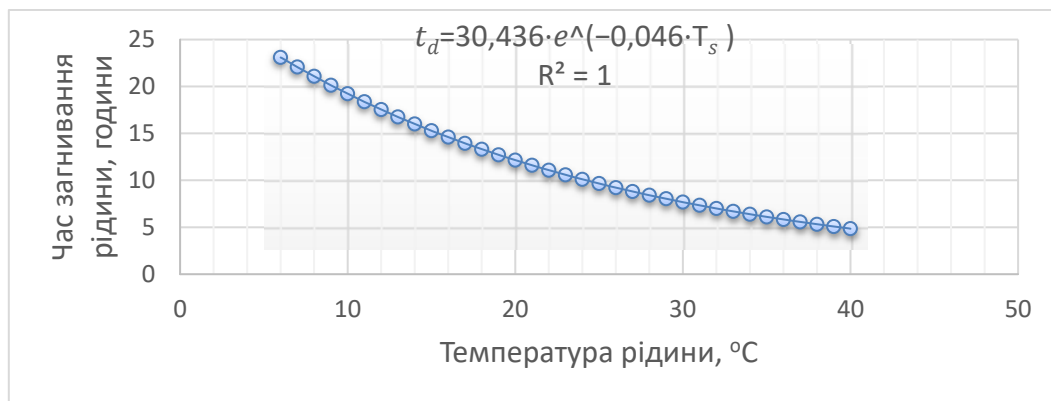


Рис. 2.9. Графік залежності строку загнивання стічної рідини від її температури

$$t_d = 30,436 \cdot e^{-0,046 \cdot T_s}, \quad \text{години}; \quad (2.27)$$

де T_s - температура стічної рідини, що надходить до мережі, °C.

Наступною причиною зниження екологічної безпеки є витoki у навколишнє середовище в наслідок переповнення мережі за рахунок інфільтрації ґрунтових (гірничих) та атмосферних вод до мережі. В цілому інфільтрація сторонніх та неврахованих вод може досягати біля 50% від всього обсягу стічних вод [173, 262, 263]. В деяких містах інфільтрація до системи каналізації може перевищувати обсяги стічних вод [264]. Тому інфільтрація додаткового обсягу води до мережі водовідведення є проблемним питанням екологічної безпеки.

Додатковий приплив ґрунтових вод може:

- змінити склад стічної рідини, яка надходить на очисні споруди, що може значно ускладнити технології їх очищення або зробити її неможливою за наявної технології;
- призвести до значного зростання використання електроенергії на каналізаційних насосних станціях;
- привести до ексфільтрації стічної рідини за рахунок переповнення мережі водовідведення.

Однак, разом з тим, за умови значного скорочення обсягів водовідведення, старіння трубопроводів та ексфільтрації стічної рідини - в існуючих системах перестали забезпечуватися мінімально допустимі швидкості руху стічної рідини для самоочищення колекторів. В такому випадку додаткова інфільтрація до мережі може відігравати і позитивну роль, покращуючи гідравлічний режим роботи водовідведення.

В такому випадку граничний показник (критерій) інфільтрації до мережі встановимо згідно показників неврахованих витрат для різних категорій міст згідно таблиці 1 ДБН В.2.5-75-2013 [19] на рівні 10-20% від загального обсягу стічних вод, що надходять до системи водовідведення. Такі показники додаткового припливу ґрунтових та атмосферних вод в зазначеному суттєво не вплине на роботу каналізаційних насосних станцій та очисних споруд (таблиця 2.7).

Тоді лімітуючими індикаторами інфільтрації за умови недопущення ексфільтрації є пропускна спроможність мереж та потужність існуючих каналізаційних насосних станцій, та визначається за умовою (2.28):

$$Q_{SNtot} \leq Q_{WPS} \Rightarrow \frac{Q_{SNtot}}{Q_{WPS}} \leq 1 \Rightarrow k_{SNinf}^{max} = 1 - \frac{q_{sv}^{max}}{Q_{WPS}}; \quad (2.28)$$

де Q_{WPS} – максимальна потужність каналізаційної насосної станції до якої підключено мережі, м³/добу;

Q_{SNtot} – максимальні можливі витрати стічних вод при 100% наповненні мережі водовідведення, яку підключено до КНС, м³/добу;

q_{SN}^{max} - максимальні добові витрати стічних вод мережі водовідведення, яку підключено до КНС, м³/добу;

k_{SNinf}^{max} – умовно максимально допустима частка обсягу інфільтрації.

Таблиця 2.7

Порівняльні показники складу побутових стічних вод в залежності від обсягу водовідведення та інфільтрації

Найменування показнику		Завислі речовини	БПК5	Азот заг.	Фосфор загальний	ПАР
		мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
При нормі 100 л/добу	розрахнокві показники	650	540	110	18	25
	малі і середні міста (+10%)	590,9	490,9	100,0	16,4	22,7
	великі і значні (+15%)	565,2	469,6	95,7	15,7	21,7
	найзначніши (+20%)	541,7	450,0	91,7	15,0	20,8
При нормі 285 л/добу	розрахнокві показники	228,1	189,5	38,6	6,3	8,8
	малі і середні міста (+10%)	207,3	172,2	35,1	5,7	8,0
	великі і значні (+15%)	198,3	164,8	33,6	5,5	7,6
	найзначніши (+20%)	190,1	157,9	32,2	5,3	7,3

Ключовим експлуатаційним фактором екологічно безпечної роботи блоку «Мережа системи водовідведення» є врахування та аналіз критеріїв енергоефективності. Питомим показником енергоефективності є споживання електричної енергії для транспортування 1000 куб. метрів стічних вод, які залежать від типу обладнання, яке встановлене на КНС. Відповідно до діючих нормативних документів [19, 265] їх відносять до першої та другої категорії електропостачання для яких обов'язково потрібна наявність резервних джерел живлення, що є особливо актуальним під час воєнного стану.

Згідно розділу 15 плану для 2024-2027 роки «Ukraine Facility» [266] Україна декларує намір здійснювати модернізацію інфраструктури на засадах

екологічної парадигми, що передбачає інтеграцію принципів низьковуглецевого розвитку, циркулярної економіки, збереження природних ресурсів та мінімізації забруднення довкілля, у відповідності до регуляторних вимог Європейського Союзу. Відповідно до Директиви (ЄС) 2023/2413 [267] Європейський Союз зобов'язується досягти до 2030 року частки відновлюваних джерел енергії не менше 32% (40%) у валовому кінцевому енергоспоживанні. Для мереж каналізації до відновлювальних джерелами відносять: використання енергії біогазу, отриманої зі стічних вод; використання енергії сонця та/або вітру для часткового покриття енергоспоживання КНС; впровадження технологій утилізації теплової енергії стічних вод; застосування «зелених» систем збору та повторного використання дощової води.

Ще одним важливим аспектом при експлуатації мереж є впровадження ДСТУ ISO 14001:2015 [92], яке сприяє мінімізації негативного впливу на довкілля, підвищенню ефективності використання ресурсів та дотриманню міжнародних екологічних стандартів. Системний підхід до екологічного менеджменту дозволяє знизити аварійність, оптимізувати енергоспоживання та забезпечити екологічну безпеку. Крім того, дотримання вимог цього стандарту покращує якість послуг, підвищує репутацію підприємств та сприяє сталому розвитку комунальної інфраструктури.

Критерії для загального оцінювання блоку «Експлуатація систем водовідведення» представлені у таблиці 2.8.

Оцінювання безпеки екологічного стану у блоці «Експлуатація приймачів» визначається умовою (2.29):

$$V_{SN} = \min V(v_{ij}); V_{SN} \in \{-1, 0, 1\}. \quad (2.29)$$

Блоки «Хімічне забруднення» та «Біологічне забруднення» визначають аналогічно цим блокам підсистеми «Вузол приймання стоків», що приведено у розділі 2.2.

Таблиця 2.8

Нормативи для оцінювання блоку «Експлуатація систем водовідведення»

[19, 20, 22, 23, 92, 265]

Номер фактору	Показник	Клас безпеки		
		екологічно небезпечно N_{SN1}	умовно екологічно безпечно N_{SN2}	екологічно безпечно N_{SN3}
v11	Ступінь зносу мереж	$>0,6$	$(0,15, 0,6]$	$\leq 0,15$
v12	Ступінь зносу КНС та інших споруд	$>0,6$	$(0,15, 0,6]$	$\leq 0,15$
v13	Інтенсивність відмов, $\frac{1}{\text{рік} \cdot \text{км}}$	$> 2,5 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n l_{SNi}}{\sum_{i=1}^n l_{SNi} \cdot t_{SNi}}$	$(1,176, 2,5] \cdot \frac{\sum_{i=1}^n l_{SNi}}{\sum_{i=1}^n l_{SNi} \cdot t_{SNi}}$	$\leq 1,176 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n l_{SNi}}{\sum_{i=1}^n l_{SNi} \cdot t_{SNi}}$
v21	Максимальний строк перебування стічної рідини в мережі, години ²	$>4,85$	4,85	$<4,85$
v22	Швидкість руху стічних вод у напірних мережах	$<0,7$ або $>1,5$	1,5	$[0,7, 1,5)$
v23	Частка інфільтрованих стічних вод, що поступають на КНС ¹	$> 1 - \frac{q_{SN}^{max}}{Q_{WPS}}$	$(0,2, 1 - \frac{q_{SN}^{max}}{Q_{WPS}}]$	$\leq 0,2$
v31	Частка енергоефективного насосного обладнання системи, %	<15	$[15, 20)$	≥ 20
v32	Наявність резервних джерел електропостачання, забезпеченість по підприємству відповідно до категорії електропостачання, %	>50	$[50, 100)$	100
v33	Частка використання відновлюваних джерел енергії	Досягнення показника $\geq 32\%$ після 2040 року	Досягнення показника $\geq 32\%$ до 2040 року	Досягнення показника $\geq 32\%$ до 2030 року
v34	Впровадження стандартів ДСТУ ISO 14001:2015 “Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування” для муніципальних систем, що обслуговують більше 15000 осіб	Планується впровадження після 2040 року	Планується впровадження в 2036 - 2040 роках	Впроваджено, або планується впровадження до 2035 року

¹ Розраховується для кожної КНС підсистеми окремо, та приймають за найбільшим значенням² Розраховано для максимальної температури стічних вод, що дозволяється до приймання в централізовані системи водовідведення. Для інших показників температури стічної рідини, визначається за формулою(2.27)

Для оцінювання узагальненого критерію екологічної безпеки всієї підсистеми «Вузол приймання стоків» вводиться логічна функція міри ES_{UR} (2.30):

$$ES_{SN} = \arg \min \begin{cases} \varphi(C_{Si}) \\ \varphi(B_{Si}) \\ \varphi(V_{SN}) \end{cases}; \quad ES_{SN} \in \{-1, 0, 1\}. \quad (2.30)$$

де значення «-1» відповідає стану «екологічно небезпечно»;
значення «0» відповідає стану «умовно екологічно безпечно»;
значення «1» відповідає стану «екологічно безпечно».

При отриманні значення «умовно екологічно безпечно» та «екологічно небезпечно» необхідно повторити розрахунок, попередньо провести аналіз та інтенсифікацію роботи підсистеми «Мережа системи водовідведення», за необхідності розробити заходи з безпечної утилізації стічної рідини.

2.4. Екологічне оцінювання підсистеми «Очисні споруди водовідведення»

В підсистемі «Очисні споруди водовідведення» виділяють три блоки «Хімічне забруднення», «Біологічне забруднення» та «Експлуатація очисних споруд», що в сукупності характеризують стан очисних споруд, кількість очищеної води та є найважливішими при оцінці ступеню очищення стічної рідини та забруднення оточуючого середовища осадами, що утворюються.

Блок «Експлуатація очисних споруд» системної моделі MWSS, призначимо для оцінювання основних факторів, що впливають на екологічну безпеку очисних споруд та їх впливу на оточуюче середовище: e_1 – фізичні; e_2 – експлуатаційні; e_3 – якісні.

Стан блоку «Експлуатація очисних споруд» оцінюється множиною логічних альтернатив $E_{Si} \in E_S$ забезпечення екологічної роботи очисних споруд та їх впливу на оточуюче середовище, та може бути представлено вектором: $E_S =$

$\{E_{S3}, E_{S2}, E_{S1}\} = \{\text{«екологічно небезпечно»}, \text{«умовно екологічно безпечно»}, \text{«екологічно безпечно»}\}$, компоненти якого визначаються логічною функцією (2.31):

$$E_s(e_{ij}) = \begin{cases} E_{S3} = -1, \text{if } e_{ij} \in N_{STP3}^k; \\ E_{S2} = 0, \text{if } e_{ij} \in N_{STP2}^k; \\ E_{S1} = 1, \text{if } e_{ij} \in N_{STP1}^k; \end{cases} \quad i \in \{1, 2, 3\}. \quad (2.31)$$

де значення «-1» відповідає стану «екологічно небезпечно»;

значення «0» відповідає стану «умовно екологічно безпечно»;

значення «1» відповідає стану «екологічно безпечно»;

N_{STPi}^k – нормативні показники k - критерію відповідного стану екологічної безпеки блоку підсистеми.

Індикатором фізичних факторів є термін служби очисних споруд. Зношені очисні споруди становлять серйозну загрозу екологічній безпеці через погіршення якості очищення стічних вод, підвищений ризик аварій та витоків, збільшення енергоспоживання, накопичення неефективно обробленого осаду та зниження стійкості до змін клімату. З часом ефективність механічних, біологічних та хімічних процесів очищення знижується, що спричиняє викиди недостатньо очищених вод у водойми, призводить до евтрофікації, погіршення якості питної води та забруднення підземних вод. Фізичне зношення трубопроводів і резервуарів може викликати прориви труб, аварійні скиди та забруднення навколишнього середовища. Застарілі системи очищення споживають більше енергії, що збільшує викиди CO_2 , підвищує експлуатаційні витрати та створює додаткове навантаження на екосистеми. Неефективне управління осадом призводить до його неконтрольованого накопичення, викидів метану та сірководню, забруднення ґрунтів і вод. Крім того, старі очисні споруди менш стійкі до змін клімату та екстремальних погодних явищ, таких як сильні зливи чи посухи, що може спричинити аварійні ситуації та перевантаження систем. Тому своєчасна модернізація, оновлення обладнання та впровадження

сучасних технологій очищення є необхідними заходами для забезпечення екологічної безпеки та стабільного функціонування очисних споруд.

Важливими експлуатаційними індикаторами, що відображають ефективність та екологічну безпеку функціонування очисних споруд, є впровадження сучасних технологій оброблення осадів та повторне використання стічних вод для поливу, забезпечення енергетичної стійкості очисних споруд. Сучасні методи оброблення осадів спрямовані на мінімізацію об'єму осаду, зниження його патогенності та забезпечення можливості безпечної утилізації або повторного використання. Ефективне повторне використання очищених стічних вод для поливу є стратегічно важливим підходом до збереження водних ресурсів та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, за умов дотримання встановлених стандартів безпеки. Впровадження зазначених технологій сприяє зменшенню антропогенного навантаження на екосистеми, оптимізації використання ресурсів та створенню умов для циркулярної економіки.

До якісних факторів відносять якість осаду стічних вод. В Україні, вони регламентуються регламентується Водним кодексом [15], ЗУ «Про водовідведення та очищення стічних вод» [16], «Порядком проведення оцінки стану водовідведення та очищення стічних вод» [22], «Порядком повторного використання очищених стічних вод та осаду стічних вод за умови дотримання нормативів гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин» [268], ДСТУ 7369:2013 [269] та ДСТУ 8727:2017 [270].

Згідно з ДБН В.2.5-75:2013 [19], осад, що утворюється в процесі очищення стічних вод, підлягає обов'язковій обробці. Ця обробка має забезпечити можливість його повторного використання, раціональне використання території, захист ґрунту, ґрунтових вод та атмосфери, а також можливість утилізації біогазу для великих населених пунктів (з навантаженням понад 300 000,0 еквівалентних жителів).

На рівні Європейського Союзу, відповідно до статті 14 Директиви Ради 91/271/ЄЕС «Про очистку міських стічних вод» від 21 травня 1991 року,

повторне використання осаду стічних вод є пріоритетним напрямком. При цьому, використання осаду повинно здійснюватися з мінімізацією негативного впливу на навколишнє природне середовище.

Всі ці документи наголошують на важливості комплексної та екологічно обґрунтованої стратегії управління осадом стічних вод, що передбачає його обробку, утилізацію та повторне використання з метою мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини.

Критерії для загального оцінювання блоку «Експлуатація очисних споруд» представлені у таблиці 2.9.

Оцінювання безпеки екологічного стану у блоці «Експлуатація приймачів» визначається умовою (2.32):

$$E_{ST} = \arg \min \{E_s(e_{ij})\}; E_{ST} \in \{-1, 0, 1\}. \quad (2.32)$$

Стан експлуатації очисних споруд оцінюється за фізичним властивостями, кількістю та якістю осаду, а також за мірою їх утилізації. При утриманні результату «екологічно небезпечно» або «умовно екологічно безпечно» проводиться переоцінювання технології очищення та/або інтенсифікація роботи очисних споруд.

Таблиця 2.9

Нормативи для оцінювання блоку «Експлуатація систем водовідведення»
[19, 23, 268-270]

Номер фактору	Показник	Клас безпеки		
		екологічно небезпечно N_{STP3}	умовно екологічно безпечно N_{STP2}	екологічно безпечно N_{STP1}
1	2	3	4	5
e_{11}	Ступінь зносу очисних споруд	$>0,6$	$(0,15, 0,6]$	$\leq 0,15$
e_{21}	Наявність резервних джерел електропостачання, забезпеченість по підприємству відповідно до категорії електропостачання, %	>50	$[50, 100)$	100

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5
e_{22}	Частка станцій, де впроваджені сучасні технології оброблення осадів до 2030 року, %	>50	[50, 70)	>70
e_{23}	Кількість утворюваних неочищених осадів, %	>25 у 2026-2030 р.р.	25, у 2026- 2030 р.р.	25, до 2025 року
e_{24}	Повторне використання стічних вод для поливу	Не планувалось	Впровадження планується до 2030 року	впроваджене
$e_{31}...$ e_{3j}	Агрохімічні показники осадів	> показників відповідно до [269,270]	> показників відповідно до [269,270]	≤ показників відповідно до [269,270]
	Санітарно-гігієнічні показники осадів стічних вод	> показників відповідно до [269,270]	> показників відповідно до [269,270]	≤ показників відповідно до [269,270]
	Допустимі величини вмісту важких металів у осадах, мг/кг сухої речовини	> показників відповідно до [269,270]	> показників відповідно до [269,270]	≤ показників групи відповідно до [269,270]

Паралельно здійснюється оцінювання якості очищення стічних вод.

Оцінювання екологічного стану рідини, що очищується, по хімічному забрудненню представлена вектором $K_{ST} = \{K_{S3}, K_{S2}, K_{S1}\} = \{\text{«екологічно небезпечно»}, \text{«умовно екологічно безпечно»}, \text{«екологічно безпечно»}\}$ (таблиця 2.10). Компоненти цього вектора визначаються логічною функцією (2.31):

$$K_{ST}(k_i) = \begin{cases} K_{S3} = -1, \text{if } k_i \in N_{CT3}^n; \\ K_{S2} = 0, \text{if } k_i \in N_{CT2}^n; \\ K_{S1} = 1, \text{if } k_i \in N_{CT1}^n; \end{cases} \quad \{i \in N | 1 \leq x \leq n\}; \quad (2.33)$$

де значення «-1» відповідає стану «екологічно небезпечно»;

значення «0» відповідає стану «умовно екологічно безпечно»;

значення «1» відповідає стану «екологічно безпечно»;

N_{CTi}^n – нормативні показники n - критерію відповідного стану екологічної безпеки блоку підсистеми;

k_i – фактичні значення показників хімічного забруднення стічних вод.

Таблиця 2.10

Нормативи для оцінювання блоку «Хімічне забруднення» [10, 21, 25, 271]

№ показника	Показник	Клас якості		
		Екологічно небезпечно N_{CT3}	Умовно екологічно безпечно N_{CT2}	Екологічно небезпечно N_{CT1}
1	2	3	4	5
k ₁	Зважені речовини, мг/л	>0,25	15-25	<15
k ₂	БСК ₅	15	15-25	<15
k ₃	ХСК	>125	80-125	<80
k ₄	Завислі речовини.	>35	15-35	<15
k ₅	Нафтопродукти.	>0,1	0,1	0,1
k ₆	Нітрати (за NO ₃)	>45	45	<45
k ₇	Нітрити (за NO ₂)	>3,3	3,3	<3,3
k ₈	Сульфати (за SO ₄)	>500	500	<500
k ₉	Фосфати ⁻¹	>1 (або 2)	=1 (або 2)	<1 (або 2)
k ₁₀	Хлориди (за Cl ⁻)	>350	350	<350
k ₁₁	Загальний нітроген ⁻¹ (відповідно до п.е.)	>10 (або 15)	10 (або 15)	<10 (або 15)
k ₁₂	Підвищення літньої температури води у результаті скиду стічних вод порівняно з середньомісячною температурою води найжаркішого місяця року за останні 10 років, °C	>3	3	<3
Примітки:				
1. Приймається згідно вказівок п.2 [10]				
2. Цей перелік може бути розширено (змінено) відповідно до встановлених індивідуальних нормативів ГДС підприємств водовідведення.				

Нормативи для цього блоку визначаються Постановою КМУ № 1100 від 13.12.2017, згідно до якої перелік забруднюючих речовин, скидання яких у водні об'єкти нормується, включає азот амонійний, органічні речовини (за показниками БСК₅ та ХСК), завислі речовини, нафтопродукти, нітрати, нітрити, сульфати, фосфати, хлориди та інші речовини [25]. Правилами охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами [21] встановлені норми БСК₅, ХСК та завислих речовин, вимоги до яких жорсткіші, ніж це передбачено Директивою 91/271/ЄЕС [10]. Однак цією ж директивою передбачено встановлення обов'язкових вимог щодо вмісту нітрогену. Для всіх випадків

скидання зворотних вод у водні об'єкти, водокористувачі повинні дотримуватися нормативів ГДС забруднюючих речовин, встановлених на основі відповідного переліку.

Оцінювання безпеки екологічного стану у блоці «Біологічне забруднення» визначається умовою (2.34):

$$K_{STP} = \arg \min \{K_{ST}(k_i)\}; K_{ST} \in \{-1, 0, 1\}. \quad (2.34)$$

Екологічний стан очищеної рідини, що характеризується хімічним забрудненням, оцінюється за допомогою вектору $J_{ST} = \{J_{S3}, J_{S2}, J_{S1}\} = \{\text{«екологічно небезпечно»}, \text{«умовно екологічно безпечно»}, \text{«екологічно безпечно»}\}$ (таблиця 2.11)

Компоненти цього вектору визначаються логічною функцією (2.35):

$$J_{ST}(k_i) = \begin{cases} J_{S3} = -1, \text{ if } j_i \in N_{BT3}^n; \\ J_{S2} = 0, \text{ if } j_i \in N_{BT2}^n; \\ J_{S1} = 1, \text{ if } j_i \in N_{BT1}^n; \end{cases} \quad \{i \in \mathbb{N} | 1 \leq i \leq 4\} \quad (2.35)$$

де значення «-1» відповідає стану «екологічно небезпечно»;

значення «0» відповідає стану «умовно екологічно безпечно»;

значення «1» відповідає стану «екологічно безпечно»;

N_{BTi}^n – нормативні показники n - критерію відповідного стану екологічної безпеки блоку підсистеми;

j_i – фактичні значення показників біологічного забруднення стічних вод.

Оцінювання безпеки екологічного стану у блоці «Біологічне забруднення» визначається умовою (2.36):

$$J_{STP} = \arg \min \{J_{ST}(k_i)\}; J_{ST} \in \{-1, 0, 1\}. \quad (2.36)$$

Для оцінювання узагальненого критерію екологічної безпеки всієї підсистеми «Експлуатація очисних споруд» вводиться логічна функція міри ES_{STP} :

$$ES_{STP} = \arg \min \begin{cases} \varphi(K_{STP}) \\ \varphi(J_{STP}) \\ \varphi(E_{ST}) \end{cases}; ES_{STP} \in \{-1, 0, 1\}. \quad (2.37)$$

де значення «-1» відповідає стану «екологічно небезпечно»;

значення «0» відповідає стану «умовно екологічно безпечно»;

значення «1» відповідає стану «екологічно безпечно».

Таблиця 2.11

Нормативи зміни біологічного складу води у водоймі та водотоці після випуску до них стічних вод, що було очищено [272]

№ показника	Показник	Клас якості		
		Екологічно безпечно	Умовно екологічно безпечно	Екологічно небезпечно
j ₁	Збудники захворювань	0	0	>0
j ₂	Лактозопозитивні кишкові палички (ЛКП), КОО/дм ³	<1000	1000-5000	>1000
j ₃	Коліфаги, БОО/дм ³	<100	<100	>100
j ₄	Життєздатні яйця гельмінтів, онкоферм теніід та життєздатні цисти патогенних кишкових простіших, цист/ дм ³	0	0	>0

У разі отримання оцінки «умовно екологічно безпечно» або «екологічно небезпечно», необхідно здійснити повторний аналіз та оптимізацію функціонування підсистеми «Очисні споруди водовідведення». У разі неможливості досягнення задовільних показників якості очищених стічних вод та/або осаду шляхом інтенсифікації роботи існуючої системи, слід розробити та впровадити комплекс заходів з безпечної утилізації осаду, керуючись принципами мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини.

Висновки до розділу 2

1. Запропонована концепція оцінювання забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення являє собою холістичний екологічний аналіз, що розглядає систему як комплексну сукупність взаємопов'язаних факторів, які дозволяють виявити екологічні загрози під час їхньої експлуатації для довкілля та людини. Логічна функція, сформована на основі сукупності якісних станів окремих елементів

системи водовідведення, дозволяє класифікувати загальний екологічний стан системи в цілому. Концепція передбачає системний аналіз для ідентифікації критичних станів систем водовідведення та потенційних загроз екосистемам, що дозволяє розробити заходи для забезпечення довгострокової та екологічно безпечної роботи.

2. Розроблена системна модель оцінювання екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України є універсальною, має ієрархічну логіко-математичну побудову та охоплює три підсистеми. Це дозволяє на підставі запропонованих логічних функцій та факторів:
 - детально виконати кількісне оцінювання стану системи водовідведення на всіх етапах, виявляючи критичні точки забруднення та потенційні загрози для екосистем і здоров'я населення;
 - оновлювати критерії екологічної безпеки окремих блоків відповідно до законодавчих змін та нових наукових даних, гарантуючи актуальність оцінки та адаптивність до зростаючих екологічних вимог;
 - визначати загальний екологічний стан системи водовідведення;
 - визначати пріоритетні напрямки для оптимізації, моделюючи вплив різних заходів, що забезпечить максимальний позитивний екологічний ефект та сприятиме відновленню і збереженню водних ресурсів.
3. Дослідження, які були виконані під час розробки моделі показали, що:
 - екологічна безпека та надійність мереж водопостачання та водовідведення є тісно взаємопов'язаними характеристиками, що визначають ефективність та безпеку функціонування системи в цілому;
 - з усіх базових факторів, що впливають на екологічну безпеку, особливу увагу слід приділити термінам служби мереж та споруд, матеріалам та гідравлічному режиму їх роботи;
 - аналіз частоти аварій на мережах водопостачання та водовідведення, прокладених в ідентичних складно-геологічних умовах, свідчить про аналогічну тенденцію до збільшення аварійності трубопроводів.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ПЛАНУВАННЯ ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МУНІЦИПАЛЬНИХ СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

3.1. Метод проведення експрес-моніторингу екологічної безпеки роботи муніципальних систем водовідведення України

Моніторинг — система постійного спостереження за явищами і процесами, що проходять в навколишньому середовищі, суспільстві, результати якого слугують для обґрунтування управлінських рішень по забезпеченню безпеки людей та об'єктів/суб'єктів (наприклад, економіки) [273, с.691].

Відповідно до постанови КМУ №61 від 25.01.2025 року «державний моніторинг у сферах питної води та питного водопостачання, водовідведення... - систематичний процес збору, оброблення, збереження та аналізу інформації про якість питної води, стан об'єктів централізованого питного водопостачання та систем водовідведення, надання послуг з централізованого водопостачання та з централізованого водовідведення, повторне використання очищених стічних вод та осаду стічних вод, прогнозування змін та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень»[274].

Аналізуючи чинне законодавство, під моніторингом екологічної безпеки систем водовідведення автор дисертації розуміє систематичний процес збору, оброблення, збереження та аналізу інформації за явищами і процесами, що проходять під час збирання, транспортування та очищення стічних вод за допомогою систем централізованого, нецентралізованого та комбінованого водовідведення, повторного використання очищених стічних вод та осаду стічних вод, прогнозування змін та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень.

Метою проведення моніторингу забезпечення екологічної безпеки та надійної роботи муніципальних систем водовідведення є надання звіту про проведений моніторинг та розробці заходів з інтенсифікації роботи систем.

Відповідно до проекту Концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року, що була презентована міністром енергетики та захисту довкілля у 2020 році «енергоефективність та ощадливе використання ресурсів є одним із головних напрямів «зеленого» енергетичного переходу України і залишатиметься постійним пріоритетом Уряду. Для реалізації цього пріоритету необхідно впроваджувати політики і заходи, спрямовані на підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів та енергозбереження з покращенням якості надання енергетичних послуг і постачання енергетичних ресурсів» [274]. Таким чином для підвищення рівня екологічної безпеки систем водопостачання та водовідведення, наряду з забезпеченням надійності роботи мереж і споруд є впровадження енергозберігаючих технологій у роботу підприємств. В умовах тривалих воєнних дій, що відбуваються на території України з 2014 року особливу увагу слід приділяти розробці заходів, що забезпечать безперебійну роботу системи водовідведення та мінімізують виникнення екологічних катастроф [233].

Постановою Міндовкілля №386 затверджено «Методичні рекомендації для здійснення оцінки ризиків та вразливості соціально-економічних секторів та природних складових до зміни клімату» [275], п.3.4. якими передбачається у якості індикатору використовувати обсяги скиду стічних вод. Екологічними показниками ООН [276] для східної Європи у секторі водовідведення передбачено застосування індикатору «забруднені стічні води», який характеризує частку забруднених стічних вод, скинутих у водні об'єкти, від загального обсягу стоків у країні протягом року. Методичні рекомендації щодо здійснення стратегічної екологічної оцінки містобудівної документації [277], передбачають 14 індикаторів наслідків у сфері водних ресурсів, серед яких 7 стосуються безпосередньо систем водовідведення. Концепція «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року передбачає впровадження комплексу заходів з управління відходами, що включає запобігання їх утворенню, підготовку до повторного використання, переробку та інші способи утилізації [278].

Разом з тим Постановою №02.09.20 Національної комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг затверджено «Інструкцію зі здійснення моніторингу у сфері централізованого водопостачання та централізованого водовідведення», відповідно до якої моніторинг здійснюється за наступними критеріями: рівень прозорості; статистика скарг споживачів; застосування тарифів; прояви перехресного субсидіювання; дотримання вимог щодо надійності та безперебійності водопостачання, стандартів та вимог до якості обслуговування споживачів; виконання суб'єктами господарювання своїх зобов'язань відповідно до чинного законодавства; дотримання ліцензійних умов [279]. Індикатори, що відображені в інструкції, більшою частиною спрямовані на індикатори роботи систем водопостачання, але не містять індикаторів щодо надійності та безперебійності водовідведення.

Порядком підготовки та оприлюднення Національної доповіді про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні передбачено, що моніторинг систем водовідведення потрібно проводити за наступними напрямками [280]:

- характеристика систем водовідведення: загальна характеристика комунальних систем водовідведення, характеристика окремих елементів систем водовідведення (мереж та колекторів, насосних станцій, очисних споруд), зміни в елементах систем водовідведення (перекладання мереж і заміна колекторів, заміна насосного обладнання, впровадження нових технологій та обладнання для очищення стічних вод);

- характеристика якості очищених стічних вод: загальна характеристика якості очищених стічних вод, які скидаються у водойми, та їх вплив на довкілля, виникнення надзвичайних ситуацій протягом звітного року.

Моніторинг також обов'язково повинен включати показники оцінки реалізації державної екологічної політики відповідно до Національної стратегії [281]: скиди забруднених стічних вод у водні об'єкти; скиди забруднених стічних вод до морського середовища; сільське населення, яке має доступ до покращених

умов санітарії; міське населення, яке має доступ до централізованих систем водовідведення.

Постановою КМУ №548 [22], встановлено порядок проведення оцінки стану водовідведення та очищення стічних вод, показники якого можуть бути використані як індикатори для здійснення екологічного моніторингу, оскільки оцінка технічного стану об'єктів водовідведення проводиться в тому числі з метою запобігання виникненню аварійних ситуацій та заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу. Однак, така оцінка є трудомісткою. В умовах воєнного часу такий моніторинг вод стає особливо складною і часто неможливою задачею, оскільки бойові дії призводять до руйнування інфраструктури, обмеження доступу до об'єктів, дефіциту ресурсів. В той же час забезпечення населення якісними послугами водопостачання та водовідведення набуває критичного значення. Реконструкція пошкодженої інфраструктури стає невідкладним завданням, оскільки від неї залежить не лише екологічна безпека регіону, але й життєзабезпечення населення.

Тому, для розробки заходів забезпечення екологічної роботи систем водовідведення в надзвичайних умовах пропонується поділити їх на категорії [282] (таблиця 3.1). В таблиці 3.1:

- під попередженням розуміється розробка заходів, що дозволять забезпечити сталу роботу та екологічну безпеку систем водовідведення у разі настання надзвичайних ситуацій;
- експрес-моніторинг – це проведення моніторингу в спрощеному обсязі, який може бути виконаний під час воєнних дій та післявоєнний період;
- попереднє прогнозування – це процес передбачення майбутнього стану екологічної безпеки систем водопостачання та водовідведення на основі аналізу його стану до початку бойових дій.

Для проведення експрес-моніторингу пропонується використовувати невеликий перелік індикаторів, які з одного дозволять достовірно оцінити екологічний стан існуючих систем водовідведення, а з іншого боку є статистичною інформацією муніципальних підприємств, і не потребують

додаткових досліджень: питоме водоспоживання та водовідведення, забезпечення послугами водовідведення, стан мереж водовідведення, питомі витрати електроенергії, наявність ексфільтрації та інфільтрації (додаткового припливу) стічних вод, стан КНС та очисних споруд, наявність скиду неочищених стічних вод до навколишнього середовища [283].

Таблиця 3.1

Категорії систем ВВ України за впливом воєнних дій

Категорія	Пояснення	Вид заходів
I категорія	Системи, що знаходяться на територіях, де не відбувалися воєнні дії	Експрес-моніторинг, моніторинг. Попередження, розробка першочергових та планових заходів інтенсифікації роботи систем водовідведення
II категорія	Системи, що знаходяться на територіях, де відбувалися воєнні дії, але звільнені	Експрес-моніторинг, моніторинг відновлення руйнувань, прогнозування. Попередження, розробка першочергових та планових заходів інтенсифікації роботи систем водовідведення
III категорія	Системи, що знаходяться на території триваючих воєнних дій	Експрес-моніторинг, відновлення руйнувань, попередження, прогнозування
IV категорія	Системи, що знаходяться на непідконтрольних територіях	Попереднє прогнозування

Індикатор 1. Питоме водоспоживання. Має суттєвий вплив на екологічну безпеку, оскільки високі показники призводять до виснаження водних ресурсів через надмірний забір з природних джерел, що особливо критично в регіонах з обмеженим доступом до води. Значні енергетичні витрати на водопостачання, пов'язані з високим водоспоживанням, сприяють викидам парникових газів та забрудненню повітря, що підкреслює необхідність впровадження водозберігаючих технологій, оптимізації систем водопостачання, ефективного очищення стічних вод та підвищення екологічної свідомості населення для забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку. З іншого боку низький рівень водоспоживання призводить до збільшення часу перебування води в мережі водопостачання та вторинного забруднення води. Нерівномірний

розподіл водних ресурсів або обмеження водопостачання можуть спричинити соціальну напругу. Показники для цього індикатору встановлюються згідно Водної стратегії [23] та ДБН В.2.5-74[284] (таблиця 3.3).

Індикатор 2. Питоме водовідведення. Як інтегральний показник антропогенного навантаження на гідросферу, є ключовим фактором, що визначає стан екологічної безпеки, оскільки його зростання прямо корелює зі збільшенням обсягів стічних вод, що містять широкий спектр забруднюючих речовин, від органічних сполук до важких металів та патогенних мікроорганізмів, які, потрапляючи у водні об'єкти, спричиняють деградацію їх якості, порушення гідробіоценозів та створюють ризики для здоров'я населення, а також можуть призвести до забруднення ґрунтових вод та ґрунтів, що вимагає впровадження комплексних заходів з очищення стічних вод та контролю за їх скиданням для мінімізації негативного впливу на екосистеми та забезпечення сталого розвитку. Занизьке питоме водовідведення може призвести до концентрації забруднюючих речовин у стічних водах, підвищення газової корозії, порушення роботи існуючих очисних споруд та ризиків для санітарно-гігієнічних умов, що негативно впливає на здоров'я населення. Показники для цього індикатору встановлюються згідно Водної стратегії [23] та ДБН В.2.5-75 [19] (таблиця 3.3).

Індикатор 3. Забезпеченість населення послугами водовідведення. Є фактором екологічної безпеки, який визначає ступінь антропогенного навантаження на гідросферу та ґрунтовий покрив, запобігаючи забрудненню водних об'єктів та ґрунтів, що є критично важливим для збереження біорізноманіття, забезпечення якості питної води та попередження ризиків для здоров'я населення. Визначається на підставі [23](таблиця 3.3).

Індикатор 4. Стан мереж водовідведення є визначальним фактором екологічної безпеки, оскільки їх технічна несправність, що залежить від терміну їх служби та аварійності, призводять до неконтрольованого витоку неочищених стічних вод, що спричиняє комплексний негативний вплив на довкілля: забруднення ґрунтових та поверхневих вод, що погіршує якість питної води та

завдає шкоди водним екосистемам; забруднення ґрунтів, що призводить до накопичення шкідливих речовин та зниження їх родючості; а також створення ризиків для здоров'я населення через поширення інфекційних захворювань, особливо в умовах воєнного часу, коли порушення санітарно-гігієнічних норм може мати катастрофічні наслідки. Отже, забезпечення надійного функціонування мереж водовідведення є невід'ємною частиною стратегії екологічної безпеки та потребує систематичного моніторингу, своєчасного ремонту та модернізації. Показники цього індикатору встановлюються згідно «Порядку проведення оцінки стану водовідведення та очищення стічних вод» [22] (таблиця 3.3).

Індикатор 5. Питомі витрати електроенергії є важливим індикатором впливу енергоспоживання на екологічну безпеку: їх зростання прямо корелює зі збільшенням викидів парникових газів, особливо при використанні викопних джерел енергії, що сприяє глобальному потеплінню та зміні клімату; підвищені витрати електроенергії також посилюють навантаження на енергетичну інфраструктуру, збільшуючи ризики аварій та забруднення довкілля, а також сприяють виснаженню природних ресурсів, необхідних для виробництва електроенергії; тому, зниження питомих витрат електроенергії через впровадження енергоефективних технологій, використання відновлюваних джерел енергії та оптимізацію виробничих процесів є важливим фактором для мінімізації негативного впливу на екологічну безпеку та забезпечення сталого розвитку.

Індикатор 6. Наявність ексфільтрації та інфільтрації (додаткового припливу) стічних вод, як явища, що відображають відповідно витік стічних вод з мереж водовідведення в ґрунт та проникнення ґрунтових вод у ці мережі, є значним фактором ризику для екологічної безпеки, оскільки ексфільтрація призводить до забруднення ґрунтових вод та ґрунтів неочищеними стоками, що містять широкий спектр забруднюючих речовин, від патогенних мікроорганізмів до токсичних хімічних сполук, створюючи загрозу для здоров'я населення та деградації екосистем, тоді як інфільтрація збільшує обсяг стічних вод, що

надходять на очисні споруди, знижуючи їх ефективність та підвищуючи ризик скидання недостатньо очищених стоків у водні об'єкти, що вимагає систематичного моніторингу, своєчасного ремонту та модернізації мереж водовідведення, а також впровадження ефективних технологій очищення стічних вод для мінімізації негативного впливу на довкілля.

Індикатор 7. Стан каналізаційних насосних станцій (КНС) є не лише фактором екологічної безпеки, але й ключовим аспектом енергетичної ефективності систем водовідведення. Неоптимальна робота КНС, спричинена зношеністю обладнання, недостатнім технічним обслуговуванням або невідповідністю проектним характеристикам, призводить до надмірного споживання електроенергії, що не лише збільшує експлуатаційні витрати, але й посилює негативний вплив на довкілля через викиди парникових газів. Тому модернізація КНС з використанням енергоефективного обладнання, впровадження систем автоматизованого управління та оптимізація режимів роботи є невід'ємною частиною стратегії забезпечення екологічної безпеки та енергетичної стійкості систем водовідведення. Показники цього індикатору встановлюються згідно «Порядку проведення оцінки стану водовідведення та очищення стічних вод» [22] (таблиця 3.3).

Індикатор 8. Стан очисних споруд водовідведення є критично важливим фактором, що визначає як енергетичну ефективність, так і екологічну безпеку систем водовідведення. Недостатня модернізація, зношеність обладнання або невідповідність технологічних процесів сучасним вимогам не лише призводять до значних енергетичних втрат, що проявляються у надмірному споживанні електроенергії на етапах механічного та біологічного очищення, а й спричиняють недостатнє очищення стічних вод, що призводить до забруднення водних об'єктів та ґрунтів, порушує гідробіоценози та створює ризики для здоров'я населення; у цьому контексті, моніторинг виступає як ключовий інструмент для оцінювання ефективності очисних споруд, виявлення проблемних зон та впровадження коригувальних заходів, а також для контролю енергоспоживання та оптимізації технологічних процесів, що дозволяє не лише

знизити експлуатаційні витрати, але й мінімізувати негативний вплив на екологічну безпеку та забезпечити енергетичну стійкість систем водовідведення. Показники цього індикатору встановлюються згідно «Порядку проведення оцінки стану водовідведення та очищення стічних вод» [22] (таблиця 3.3).

Індикатор 9. Скидання нормативно очищених стічних вод. Наявність скиду неочищених стічних вод, незалежно від обсягів, є критичним фактором деградації екологічної безпеки, оскільки спричиняє комплексний негативний вплив на гідросферу, ґрунтовий покрив та біоту: надходження неочищених стоків у водні об'єкти призводить до забруднення води органічними сполуками, важкими металами, патогенними мікроорганізмами та хімічними речовинами, що робить її непридатною для використання та завдає шкоди водним екосистемам, зростають ризики для здоров'я населення через поширення інфекційних захворювань. Отже здійснення моніторингу скидання неочищених стічних вод є ще одним ключовим елементом екологічного контролю.

Первинний етап реалізації моніторингового процесу полягає в акумуляції базових даних, що характеризують досліджуваний об'єкт, згідно з дев'ятьма визначеними індикативними показниками, та їх систематизації у формі таблиці 3.2.

Для індикаторів 5 та 9 значення відображаються в абсолютних та відносних показниках відповідно. Для індикаторів 1-4, 6-8 значення виставляються в балах відповідно до рівня ризику екологічної небезпеки, що дозволяє кількісно оцінити потенційний негативний вплив на довкілля та здоров'я населення (таблиця 3.2).

Високий ризик екологічної небезпеки систем водовідведення характеризується критичним станом інфраструктури та технологічних процесів, що призводить до неконтрольованого забруднення довкілля.

Середній рівень ризику екологічної небезпеки систем водовідведення відображає наявність потенційно небезпечних дисфункцій в інфраструктурному комплексі та технологічних процесах, які, за відсутності належного втручання, можуть ескалувати до критичного рівня забруднення довкілля,

характеризуючись при цьому прихованим характером прояву негативних наслідків.

Таблиця 3.2

Форма для вхідних даних експрес-моніторингу

№ індикатора	Показники	Од.вимір.	Назва області або населеного пункту			
			—	~	:	π
1	Питоме водоспоживання	бали				
2	Питоме водовідведення	бали				
3	Забезпечення послугами водовідведення	бали				
4	Стан мереж водовідведення	бали				
5	Питомі витрати електроенергії	кВт/1000 м ³				
6	Ексфільтрація або додатковий приток	бали				
7	Стан каналізаційних насосних станцій	бали				
8	Стан очисних споруд водовідведення	бали				
9	Скид нормативно очищених стічних вод	% від загальної кількості				

Низький ризик екологічної небезпеки систем водовідведення означає, що система функціонує в межах нормативних вимог, а потенційні загрози для довкілля мінімальні.

Таблиця 3.3

Ризик екологічної небезпеки для індикаторів 1-4, 6-8

[19, 22, 23, 281, 284, 285]

№ індикатора	Показник	Од. виміру	Ризик екологічної небезпеки		
			Низький	Середній	Високий
			2 бали	1 бал	0 балів
1	2	3	4	5	6
1	Питоме водоспоживання	л/добу на людину	[130, 285]	[100, 130) та (285, 305]	<100 або > 305
2	Питоме водовідведення	л/добу на людину	[130, 285]	[100, 130) та (285, 305]	<100 або > 305

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6
3	Забезпечення послугами водовідведення	%	сільське населення ≥ 80 ; міське ≥ 72	сільське населення - [50;80), міське - [70;72)	сільське населення < 50 ; міське < 70
4	Стан мереж водовідведення	% зносу	≤ 15	(15,60]	> 60
6	Ексфільтрація (Е) та інфільтрація (І)	% від загального обсягу	$I \leq 2$ та $E \leq 2$	$I (2,20]$ та $E \leq 2$	$I > 20$ та $E > 2$
7	Стан каналізаційних насосних станцій	% зносу	≤ 15	(15,60]	> 60
8	Стан очисних споруд водовідведення	% зносу	≤ 15	(15,60]	> 60

На другому етапі експрес-моніторингу, що передбачає застосування MCDM-методів багатокритеріального прийняття рішень [288], здійснюється нормалізація матриці методом min-max (3.1)[289, 290], що є необхідною процедурою для усунення впливу різних одиниць вимірювання та діапазонів значень на результати аналізу.

Цей етап полягає у трансформації вихідних даних до єдиного безрозмірного масштабу, що забезпечує коректність порівняння та інтеграції різних критеріїв, які вимірюються в неоднорідних одиницях. Нормалізація матриці забезпечує порівнянність критеріїв, усуваючи домінування критеріїв з більшими числовими значеннями.

$$I_{norm}^{ij} = \frac{x^{ij} - x_{\min}^i}{x_{\max}^i - x_{\min}^i}; \quad (3.1)$$

де I_{norm}^{ij} – нормоване значення i -того індикатору j -того муніципального підприємства (населеного пункту, області);

x^{ij} – значення i -того індикатору j -того муніципального підприємства (населеного пункту, області);

$x_{\min}^i$ – мінімальне значення i -того індикатору групи муніципальних підприємств (населених пунктів, областей) ;

x_{max}^i – максимальне значення i -того індикатору групи муніципальних підприємств (населених пунктів, областей).

Оскільки підвищення енергоспоживання в системах водовідведення спричиняє негативні наслідки для навколишнього середовища, то нормалізацію для п'ятого індикатору здійснюємо за формулою (3.2):

$$I_{norm}^{5j} = 1 - \frac{x^{5j} - x_{min}^5}{x_{max}^5 - x_{min}^5}; \quad (3.2)$$

де I_{norm}^{5j} – нормоване значення п'ятого індикатору j -того муніципального підприємства (населеного пункту, області);

x^{5j} – значення 5-того індикатору j -того муніципального підприємства (населеного пункту, області);

x_{min}^5 – мінімальне значення 5-того індикатору групи муніципальних підприємств (населених пунктів, областей) ;

x_{max}^5 – максимальне значення 5-того індикатору групи муніципальних підприємств (населених пунктів, областей).

На третьому етапі експрес-моніторингу виконується складання нормалізованої матриці на підставі вагових коефіцієнтів.

Узагальнені вагові коефіцієнти визначаємо матричним методом, для цього попередньо складаємо граф зв'язності індикаторів та екологічної безпеки мереж водовідведення (рис. 3.1) та матрицю домінування (таблиця 3.4).

Чисельний ступінь значимості одного фактору по відношенню до іншого, або ступінь домінування факторів, показників та обставин, визначається рангом, що дорівнює сумі елементів строки матриці D . Для розширення діапазону чисельних значень рангів 10 факторів матриця домінування перетворюється у матрицю $D1$ (3.3) :

$$D1 = D + D^2 + D^4. \quad (3.3)$$

Для автоматизованого здійснення матричних операцій, а саме множення та додавання матриць M , з метою кількісного визначення рівня значущості індикаторів, що було досягнуто шляхом обчислення суми елементів результуючої матриці $D1$, застосовувався програмний пакет MathCAD. Отримані числові результати були систематизовані та представлені у вигляді таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Матриця домінування індикаторів експрес-моніторингу $D1$

№ вершини графу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Всього
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	6	0	2	0	0	3	3	1	1	4	20
3	14	0	3	0	3	6	2	0	3	3	34
4	3	0	0	0	0	1	0	0	0	1	5
5	21	0	5	0	3	10	5	2	5	8	59
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	18	0	5	0	2	8	6	3	5	9	56
8	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Кожному елементу трансформованої матриці, отриманої внаслідок операції сумування рядків, було присвоєно кількісну оцінку, що відображає його бальне значення, а відтак, рівень значущості кожного з досліджуваних індикаторів k_z^i був кількісно визначений та представлений у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Коефіцієнти значущості індикаторів експрес-моніторингу

№ індикатору	Найменування індикатору	Коефіцієнт значущості
1	2	3
1	Питоме водоспоживання	0,1099
2	Питоме водовідведення	0,1868
3	Забезпечення послугами водовідведення	0,0275
4	Стан мереж водовідведення	0,3242
5	Питомі витрати електроенергії	0,0055
6	Ексфільтрація та інфільтрація	0,3077

Продовження таблиці 3.6

1	2	3
7	Стан каналізаційних насосних станцій	0,0165
8	Стан очисних споруд водовідведення	0,0165
9	Скид нормативно очищених стічних вод	0,0055
	Всього	1,0000

Четвертий етап експрес-методу моніторингу муніципальних систем водовідведення передбачає узагальнення отриманих результатів, визначення рівня ризиків екологічної небезпеки систем водовідведення ER^i (3.4) та ранжування підприємств за цим рівнем.

$$ER^i = 1 - \sum_{i=1}^n I_{norm}^{ij} \cdot k_z^i \quad (3.4)$$

Якщо прийняти нульовий рівень екологічного ризику для систем водовідведення як базову лінію, а максимальну потенційну величину ризику як 100%, то проміжні значення у цьому діапазоні кількісно визначають градуйовану шкалу інтенсивності екологічного ризику.

Ранжування підприємств за значенням екологічного ризику (ER) здійснюється в порядку зростання, де мінімальні значення ER корелюють з низькими екологічними ризиками значення 0- 0,33. Значення в інтервалі (0,33- 0,67] корелюють з середнім рівнем екологічних ризиків. Тоді як максимальні значення ER (0,67 – 1] відповідають високому ризику та сигналізують про потенційні екологічні загрози, необхідність впровадження термінових заходів, особливо в умовах воєнного часу.

На наступному етапі експрес-моніторингу муніципальних систем водовідведення, на основі аналізу накопичених даних, формуються висновки щодо ефективності функціонування системи, розробляються конкретні заходи для інтенсифікації роботи.

За цим же методом можна проводити Моніторинг екологічної безпеки систем для першої та другої категорії систем ВВ України за впливом воєнних

дій, однак перелік індикаторів повинен бути систематизований та значно розширений відповідно до [17, 22, 23, 19, 279-287] та включати 4 групи:

1. Фізичний стан: відносна кількість підключень до послуг водовідведення для всіх груп населення окремо; обсяг водовідведення; аварійність системи водовідведення; неврахований обсяг водовідведення; безперебійність надання послуг; скид нормативно очищених стічних вод; довжина мережі водовідведення від найбільш віддаленого користувача до каналізаційної насосної станції та очисних споруд; захворюваність населення; ефективність роботи системи; викиди парникових газів; наявність затверджених алгоритмів і технічної можливості приймання та перерозподілу потоків стічної рідини для запобігання екологічних катастроф під час воєнних дій тривалої дії; наявність альтернативних джерел енергозабезпечення; викиди парникових газів.

2. Правове та інституціональне положення: розподіл відповідальності за надання послуг; регулювання тарифів; укладання контрактів між муніципалітетами і підприємствами; реалізація реформ екологічних і технологічних стандартів; розробка правових і нормативних положень; розробка програм підготовки керуючого персоналу сектора.

3. Економічне становище: норма окупності витрат; збір платежів; капіталовкладення; чисельність персоналу; споживання електроенергії; питомі експлуатаційні витрати; витрати та укомплектованість штатів; безперебійність та якість послуг; представлення рахунків та збір платежів; фінансова ефективність; капіталовкладення.

4. Соціальна політика: доступність тарифів; доля малозабезпечених груп; підтримка доступу до води малозабезпечених верств населення; оцінювання участі громадськості у секторі.

Зважаючи на непередбачуваність масштабу руйнувань, що завдаються воєнними діями системам водовідведення четвертої категорії в Україні (таблиця 3.1), та неможливість точного прогнозування загальної кількості постраждалих об'єктів до завершення військового конфлікту, пріоритезація відновлювальних робіт набуває критичної значущості для мінімізації негативного впливу на

екологічну безпеку та забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя. При цьому необхідний алгоритм прийняття рішень має бути простим, швидко впроваджуваним та базуватися на мінімальній кількості даних [1].

Виходячи з того, що обсяг екологічної шкоди, завданої навколишньому середовищу та здоров'ю людей, безпосередньо залежить від обсягу неочищених стічних вод, що скидаються в результаті пошкодження об'єктів водовідведення під час військових дій, пропонується використовувати обсяги водовідведення як ключовий критерій при визначенні пріоритетності відновлювальних робіт. Цей підхід дозволить зосередити ресурси на тих об'єктах, відновлення яких матиме найбільший позитивний вплив на екологічну ситуацію та мінімізує негативні наслідки для населення.

В такому випадку алгоритм визначення пріоритетності заходів з відновлення елементів системи водовідведення буде складатися з чотирьох етапів.

I. Першим кроком є визначення загального обсягу водовідведення, що обслуговується муніципальним підприємством. Цей показник, позначений як $Q_{\text{заг}}$, ($\text{м}^3/\text{добу}$), відображає сумарний об'єм стічних вод, що надходять до системи водовідведення за добу. Він є ключовим для подальшого аналізу та визначення пріоритетів відновлювальних робіт, оскільки дозволяє оцінити масштаб потенційного екологічного збитку в разі аварій та пошкоджень інфраструктури. Точне визначення є критично важливим для ефективного планування та розподілу ресурсів на відновлення системи водовідведення. Для цього необхідно врахувати всі джерела надходження стічних вод, включаючи побутові, промислові та зливові стоки.

II. Наступним важливим етапом є визначення обсягу стічних вод, що потрапляють у навколишнє середовище внаслідок пошкодження конкретного об'єкта чи ділянки мережі водовідведення. Цей показник позначається як q_i ($\text{м}^3/\text{добу}$), де індекс i відповідає номеру пошкодженого об'єкта/ділянки. В ідеальному випадку, значення q_i визначається на основі фактичних даних про

витік. Проте, за умов обмеженого доступу до інформації внаслідок надзвичайних ситуацій, якщо точне значення обсягу витіку невідоме, пропонується використовувати розрахунковий середньодобовий обсяг стічних вод, що надходять до даного об'єкта або елементу мережі. Це дозволить хоча б приблизно оцінити масштаб забруднення та визначити пріоритетність відновлювальних робіт. Важливо розуміти, що використання розрахункових значень може призвести до певних похибок, тому за можливості необхідно уточнювати фактичний обсяг витіку. Такий підхід забезпечить більш точне визначення пріоритетів та ефективніше використання ресурсів на відновлення.

III. Далі відбувається визначення коефіцієнту значущості пошкодженого об'єкта γ_i^K екологічну безпеку всієї системи, за формулою (3.5):

$$\gamma_i^K = \frac{q_i}{Q_{\text{заг}}}, \quad \gamma_i^K \in (0; 1] \quad (3.5)$$

Отримане числове значення відображає ступінь впливу пошкодженого об'єкта на всю систему. Чим вище цей коефіцієнт, тим більшу загрозу становить пошкодження для довкілля.

IV. На четвертому етапі виконується ранжування елементів системи на основі їхніх кількісно визначених коефіцієнтів значущості. Цей процес передбачає впорядкування елементів за спаданням значень цих коефіцієнтів, що дозволяє ідентифікувати найбільш вагомні компоненти системи та встановити пріоритетність їх відновлення.

Для системи системі водовідведення, де пошкоджено n елементів для кожного елемента i (де $i = 1, 2, \dots, n$) розраховуються коефіцієнти значущості γ_i^K , як описано раніше. Отримаємо множину коефіцієнтів значущості: $\{\gamma_1^K, \gamma_2^K, \dots, \gamma_n^K\}$.

Для ранжування елементів системи необхідно впорядкувати цю множину за зростанням. Сортування результатів можна представити у вигляді непорядкової компоненти (індекс елементів, коефіцієнт значущості):

$$[(i_1, \gamma_1^K), (i_2, \gamma_2^K), \dots, (i_n, \gamma_n^K)], \quad (3.6)$$

$$\gamma_1^K \leq \gamma_2^K \leq \dots \leq \gamma_n^K \quad (3.7)$$

де $i_1, i_2, \dots, i_n$ - індекси елементів системи.

Елемент з найбільшим коефіцієнтом значущості γ_1^K має найвищий пріоритет з точки зору екологічної безпеки, а елемент з найменшим коефіцієнтом γ_n^K – найнижчий.

Відновлення об'єктів здійснюється за принципом пріоритетності, де об'єкти з більшим коефіцієнтом значущості мають найвищий пріоритет.

3.2. Метод балансово-аналітичного аналізу визначення інфільтрації та ексфільтрації муніципальних систем водовідведення як інструмент зменшення антропогенного навантаження на екосистеми

Як було наведено вище, інфільтрація та ексфільтрація стічних вод є критично важливими факторами, що негативно впливають на екосистеми, призводячи до забруднення поверхневих та підземних водних об'єктів, а також до деградації ґрунтів і порушення біологічного різноманіття прилеглих територій.

Відповідно до ДБН В.2.5-75:2013 [19] при розробці проєктів каналізаційних систем для об'єктів необхідно інтегрувати їх з проєктами водопостачання, ґрунтуючись на аналізі балансу водоспоживання та водовідведення. Тому визначення обсягів водовідведення повинно складатися на підставі загального балансу водокористування у системі ВВ за формулою (3.8) та встановлення значень щодо втрат води в системі водопостачання та обсягів інфільтрації (ексфільтрації) в системі водовідведення (рис. 3.3):

$$Q_S^K = Q_{Wtot} - W_{WL} + W_U + I_{RS} + I_{GW} - Q_{exf}, \frac{M^3}{рік} \quad (3.8)$$

де Q_{Wtot} – загальний обсяг води, поданої до мережі, $м^3/рік$, визначається згідно статистичних даних;

W_{WL} – втрати води для системи водопостачання, м³/рік, залежать від аварійності мережі водопостачання;

Q_{exf} – ексфільтрація стічної рідини внаслідок аварійності мережі, м³/рік;

I_{RS} – інфільтрація атмосферних опадів до мережі водовідведення, м³/рік;

W_U – обсяг неврахованих (нереалізованих) стічних вод, що потрапляє до мережі водовідведення за рахунок технологічних витрат води у водопровідному та каналізаційному господарстві, необлічених витрат води на приладах обліку та комерційні витрат, втрат, пов'язаних з невідповідністю норм водоспоживання, втрати, пов'язаних з несанкціонованим розбором води з водопровідної мережі, витрати води на господарсько-питні потреби працівників каналізаційного господарства, м³/рік;

I_{GW} – додаткова інфільтрація до мережі водовідведення ґрунтових вод, м³/рік.

Запропонована формула (3.8) диктує необхідність визначення фактичних витрат води, інфільтрації та ексфільтрації в системах водовідведення, для чого пропонується застосування балансово-аналітичного методу (рис. 3.2):



Рис. 3.2. Процес визначення інфільтрації та ексфільтрації балансово-аналітичним методом.



Рис. 3.3. Загальний баланс водокористування

1. Для кожного досліджуваного параметра здійснюється статистична обробка, що включає розрахунок середньодобових значень, з подальшим визначенням абсолютних та відносних величин додаткового припливу (3.9):

$$I_{RS} = Q_{SRAD} - Q_{SDAD}, \text{ м}^3/\text{добу}; \quad I_{RS} = \frac{Q_{SRAD}}{Q_{SDAD}}, \%; \quad (3.9)$$

де Q_{SRAD} – середньодобові значення загального водовідведення в дні з опадами, $\text{м}^3/\text{добу}$;

Q_{SDAD} – середньодобові значення загального водовідведення без опадів, $\text{м}^3/\text{добу}$;

2. Кореляційний аналіз з метою визначення статистично значущих зв'язків між досліджуваними параметрами: загальне водовідведення - загальне водопостачання; загальне водовідведення - реалізація стоків; загальне водовідведення - кількість відказів в системі водопостачання; загальне водовідведення - кількість відказів в системі водовідведення.

3. Побудова математичної моделі в загальному вигляді на підставі формули (3.8):

$$Q_S^K = a \cdot Q_{Wtot} - b \cdot W_{WL} + c \cdot \lambda_W + d \cdot \lambda_S + e, \frac{\text{м}^3}{\text{місяць}}; \quad (3.10)$$

$$Q_{Wtot}, W_{WL} - \text{м}^3/\text{місяць у суху погоду}; \quad a \in (0,1]; \quad b \in (0,1];$$

де a – коефіцієнт, який показує обсяг неврахованих (нереалізованих) стічних вод, що потрапляє до мережі водовідведення за рахунок технологічних витрат води у водопровідному та каналізаційному господарстві, необлічених витрат води на приладах обліку та комерційні витрат, втрат, пов'язаних з невідповідністю норм водоспоживання, втрат, пов'язаних з несанкціонованим розбором води з водопровідної мережі, витрат води на господарсько-питні потреби працівників каналізаційного господарства складають, у суху погоду. Якщо коефіцієнт перевищує параметри, передбачені індивідуальними технологічними нормативами використання води (надалі ІТНВВ), то ця ситуація

признається екологічно небезпечною, а система водопостачання вимагає застосування термінових заходів з інтенсифікації її роботи.

b – коефіцієнт, який показує який відсоток реалізованих стоків втрачаються в наслідок скритих витоків (ексфільтрації) під час експлуатації мережі;

c – коефіцієнт, який показує кількість води в куб.м втрачається в середньому в системі водопостачання під час кожної аварії в суху погоду;

d – коефіцієнт, який відображає кількість води в куб.м, яка в середньому інфільтрується до мережі водовідведення під час кожної аварії в суху погоду;

e – фактичне значення постійної інфільтрації ґрунтових вод до мережі водовідведення в суху погоду, м³/місяць;

λ_W – кількість відказів в системі водопостачання у суху погоду;

λ_S – кількість відказів в системі водовідведення у суху погоду.

4. Перевірка математичної моделі за скоригованим коефіцієнтом детермінації з урахуванням кількості предикторів у моделі.

5. Аналіз даних отриманої моделі та прогнозування.

6. На завершальному етапі здійснюється розробка комплексу екологічно спрямованих заходів для гарантування екологічної безпеки системи водовідведення, включаючи оптимізацію експлуатаційних режимів для зменшення антропогенного навантаження на екосистеми, впровадження інноваційних природозберігаючих технологій та реконструкцію інфраструктури з метою ліквідації джерел забруднення водних об'єктів і ґрунтів. [215].

3.3. Еколого-економічне обґрунтування оптимізації роботи систем водовідведення в умовах експлуатації

Еколого-економічне обґрунтування оптимізації роботи систем водовідведення в умовах експлуатації пропонується виконувати в наступній послідовності [1, 282] (рис. 3.4):

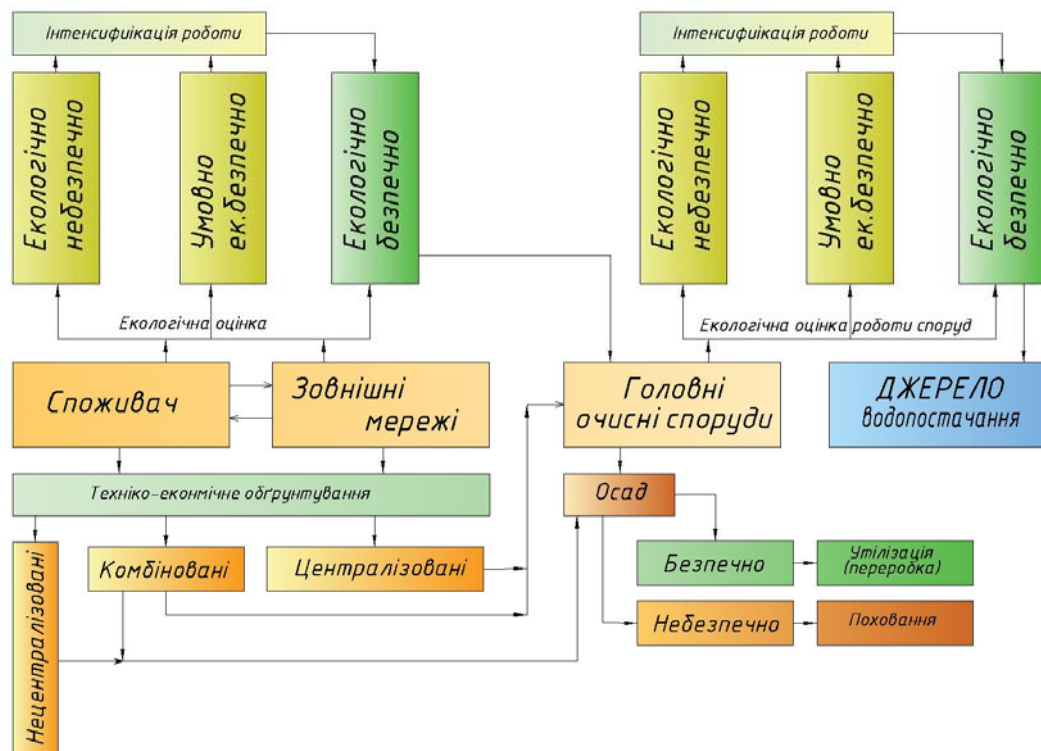


Рис. 3.4. Схема підбору систем водопостачання та водовідведення

1. Розрахунок вузла прийому стічних вод з урахуванням надійності роботи мережі та корегування норм водоспоживання:
 - 1.1. Аналіз існуючого стану внутрішньої каналізаційної системи споживача, з врахуванням рельєфу місцевості, густоти забудови та інших факторів.
 - 1.2. Визначення обсягів стічних вод, що надходять у систему.
 - 1.3. Аналіз надійності роботи мережі, визначення пропускної спроможності.
 - 1.4. Корегування норм водоспоживання відповідно до фактичних умов експлуатації.
 - 1.5. Розроблення заходів з інтенсифікації роботи внутрішніх систем та зовнішніх мереж MSWW.
2. Оцінювання зміни якості води у колекторах:

- 2.1. Дослідження змін фізико-хімічних та біологічних характеристик стічних вод.
- 2.2. Врахування впливу інфільтраційних вод, які потрапляють у систему.
- 2.3. Аналіз можливих втрат води через ексфільтрацію та їхній вплив на якість стоків.
3. Еколого-економічне оцінювання остаточного вибору споруд та системи водовідведення (централізована, нецентралізована, з елементами децентралізації (комбінована), з улаштуванням очисних установок на мережі або у споживача):
 - 3.1. Оцінювання впливу кожного варіанту системи на навколишнє середовище.
 - 3.2. Визначення потенційних ризиків забруднення та розроблення заходів для їх мінімізації.
 - 3.3. Оцінювання енергоефективності системи та її впливу на зміну клімату.
 - 3.4. Розрахунок вартості будівництва, експлуатації та обслуговування кожного варіанту системи.
 - 3.5. Оцінювання терміну окупності інвестицій та економічної доцільності кожного варіанту.
 - 3.6. Аналіз потенційних економічних вигід від використання очищених стічних вод, наприклад, для зрошення або технічних потреб.
4. Оцінювання осадів та розроблення заходів щодо їх утилізації чи поховання:
 - 4.1. Дослідження складу та властивостей осадів.
 - 4.2. Розроблення методів утилізації (компостування, переробка в добрива, спалювання тощо).
 - 4.3. Оцінювання вартості утилізації осаду.
 - 4.4. Визначення місць та методів безпечного поховання, якщо утилізація неможлива.

5. Остаточне корегування систем водовідведення, спрямоване на підвищення надійності та безпеки їх функціонування, яке передбачає комплексний аналіз гідравлічних, технічних та екологічних параметрів, з метою оптимізації роботи мереж, мінімізації ризиків аварійних ситуацій та гарантування екологічно безпечного відведення стічних вод:

- 5.1. Перевірка розрахунків пропускної здатності трубопроводів, насосних станцій та інших елементів.
- 5.2. Аналіз гідравлічних втрат та тиску в різних точках системи.
- 5.3. Моделювання гідравлічних режимів у різних сценаріях (нормальна робота, аварійні ситуації).
- 5.4. Оцінювання впливу системи на навколишнє середовище (якість води, ґрунту, повітря).
- 5.5. Перевірка ефективності очисних споруд та відповідності якості очищених стічних вод нормативам.
- 5.6. Оцінювання ризиків забруднення у разі аварійних ситуацій.
- 5.7. Впровадження систем диспетчеризації та автоматичного управління.
- 5.8. Оптимізація режимів роботи насосних станцій та інших елементів системи.
- 5.9. Розроблення стратегій управління потоками стічних вод у різних умовах.
- 5.10. Розроблення заходів з інтенсифікації роботи системи.

Прийняття раціональних фінансових рішень в умовах інформаційної асиметрії та непередбачуваності є актуальним викликом для споживачів фінансових послуг. Необхідність вибору в умовах повної або часткової невизначеності споруд та системи водовідведення, що характеризується відсутністю вичерпної інформації та неможливістю точного прогнозування майбутніх подій, ускладнює процес прийняття рішень. Ця невизначеність зумовлена впливом численних змінних факторів, динаміка яких не піддається точному прогнозуванню, що підкреслює необхідність розробки ефективних методологій для мінімізації ризиків та оптимізації фінансових рішень [291].

Пропонуємий метод еколого-економічної обґрунтування оптимізації роботи систем водовідведення ґрунтується на методі TOPSIS [292], призначеному для ранжування альтернатив, та результатах його аналізу.

Детальну постановку задачі для оцінювання методом TOPSIS можна сформулювати наступним чином. Фахівці, які приймають рішення щодо вибору системи водовідведення, має прийняти рішення яка саме система буде найбільш екологічно та економічно доцільною, як при її влаштуванні так і при експлуатації [283]. Для чого пропонується наступний ряд критеріїв: забезпечення населення послугами водовідведення (в т.ч. перспективне); вартість експлуатації; капітальні витрати; вплив на оточуюче середовище; надійність та стійкість під час війни; енергоефективність; простота експлуатації та обслуговування; прийнятність для місцевого населення; термін служби; відповідність законодавству та нормативним вимогам; зворотне водокористування; строк реалізації проекту.

Критерій 1 (K1). Забезпечення населення послугами водовідведення (в т.ч. перспективне) - оцінює здатність системи водовідведення забезпечити якісні та надійні послуги для поточного та майбутнього населення. Визначається, як відсоток споживачів від загальної кількості населення, який буде мати доступ до систем.

Критерій 2 (K2). Вартість експлуатації - оцінює загальні витрати, пов'язані з підтриманням та функціонуванням системи водовідведення протягом її життєвого циклу. Визначається в грн./м³ стічних вод.

Критерій 3 (K3). Капітальні витрати (приведені) - оцінює загальну суму коштів, необхідну для створення або модернізації системи водовідведення. Визначається в грн./м³ стічних вод.

Критерій 4 (K4). Вплив на оточуюче середовище - оцінює потенційні негативні наслідки функціонування системи водовідведення на екологічні компоненти. Виставляється в балах. Якщо викиди системи не перевищують ГДК – 1 бал, якщо наявні негативні наслідки – 0 балів.

Критерій 5 (K5). Надійність та стійкість під час війни - оцінює здатність системи водовідведення незалежно функціонувати в екстремальних умовах, таких як обстріли, руйнування та перебої з енергопостачанням. Якщо система працює повністю незалежно – 1балл, частково незалежно- 0,5 балів, повністю залежна – 0 балів.

Критерій 6 (K6). Енергоефективність - оцінює ефективність використання енергії в системі водовідведення. Визначається в кВт/м³ стічних вод.

Критерій 7 (K7).Простота експлуатації та обслуговування - оцінює зручність та легкість обслуговування системи водовідведення, необхідність залучення додаткових кваліфікованих працівників, які не залучені до інших процесів господарської діяльності. Визначається в кількості залученого додаткового персоналу люд.-год./м³, або в балах: якщо необхідне залучення додаткового персоналу – 0 балів, часткове залучення - 0.5 балів, непотрібно -1 бал.

Критерій 8 (K8). Прийнятність для місцевого населення – оцінює відповідність принципам соціального діалогу та залучення громадськості до прийняття рішень. Виставляється в балах. Якщо система повністю прийнятна – 1балл, частково прийнятна - 0,5 балів, повністю неприйнятна – 0 балів.

Критерій 9 (K9). Термін служби - відповідає принципам аналізу життєвого циклу та оцінювання зносу обладнання та споруд. Визначається в роках.

Критерій 10 (K10). Відповідність законодавству та нормативним вимогам – оцінює відповідність альтернативи чинному законодавству. Виставляється в балах: 1-відповідає повністю, 0 – не відповідає, 0,5 – необхідна розроблення відомчих дозвільних документів та/або дозволів.

Критерій 11 (K11). Зворотне водокористування - відображає можливість повторного використання очищених стічних вод для технічних потреб, зрошення або інших цілей. Визначається в м³ зворотних вод/м³ стічних вод. Або в балах: 1 бал- передбачене зворотне водовідведення, 0 балів – не передбачене.

Критерій 12 (K12). Строк реалізації проекту – оцінює тривалість проектування, будівництва та введення в експлуатацію системи водовідведення, роки.

На першому етапі оцінювання виконується систематизація даних за вищезазначеними критеріями (таблиця 3.7).

Таблиця 3.7

Систематизація даних методу еколого-економічного оцінювання вибору системи водовідведення

№ критерію	Найменування	Од.виміру	Альтернативи			
			A1	A2	...	Аn
1	2	3	4	5	6	7
K1	Забезпечення населення послугами водовідведення, в т.ч. перспективне	%				
K2	Вартість експлуатації	грн./м ³				
K3	Капітальні витрати	грн./м ³				
K4	Влив на оточуюче середовище	бали				
K5	Надійність та стійкість під час війни	бали				
K6	Енергоефективність	кВт/м ³				
K7	Простота експлуатації та обслуговування	бали				
K8	Прийнятність для місцевого населення	бали				
K9	Термін служби	роки				
K10	Відповідність законодавству та нормативним вимогам	бали				
K11	Зворотне водокористування	бали				
K12	Строк реалізації проекту	роки				

Другий етап передбачає створення матриці рішень, яка є основою для застосування методу TOPSIS. В рамках цього етапу, використовуючи методи багатокритеріального оцінювання (MCDM) [288], проводимо нормалізацію матриці за допомогою методу min-max [289]. Це дозволяє нам забезпечити коректність аналізу, усуваючи вплив різних одиниць вимірювання факторів (3.11):

$$K_{norm}^{ij} = \frac{k^{ij} - k_{\min}^i}{k_{\max}^i - k_{\min}^i}; i = 1, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11; j = 1, 2 \dots m; \quad (3.11)$$

де K_{norm}^{ij} – нормоване значення i -того критерію j -тої альтернативи;

m – кількість альтернатив;

k^{ij} – значення i -того критерію j -тої альтернативи;

k_{min}^i – мінімальне значення i -того критерію j -тої альтернативи;

k_{max}^i – максимальне значення i -того критерію j -тої альтернативи.

Зважаючи на те, що зростання експлуатаційних витрат, капіталовкладень, строку реалізації проекту та енергоспоживання в системах водовідведення корелює з негативними екологічними наслідками та зниженням інвестиційної привабливості, процес нормалізації даних для цих критеріїв здійснюється з використанням формули (3.12), що враховує зворотну залежність між значенням індикатора та його бажаним впливом :

$$K_{norm}^{ij} = 1 - \frac{k^{ij} - k_{min}^i}{k_{max}^i - k_{min}^i}; i = 2, 3, 6, 12 \quad (3.12)$$

На третьому етапі, що полягає у складанні нормалізованої матриці на підставі вагових коефіцієнтів, відбувається трансформація попередньо отриманої нормалізованої матриці з урахуванням важливості кожного критерію (вагових коефіцієнтів).

Визначення узагальнених вагових коефіцієнтів здійснюється з використанням матричного методу, що базується на попередньому формуванні графа зв'язності впливу критеріїв на екологічну безпеку та інвестиційної привабливості запропонованих проектних рішень (рис. 3.5). А також на побудові матриці домінування (додаток Г). Цей підхід дозволяє кількісно оцінити та інтегрувати взаємозв'язки між різними аспектами екологічної безпеки, забезпечуючи об'єктивність та наукову обґрунтованість визначення вагових коефіцієнтів.

Оцінювання величини домінування факторів здійснюється шляхом присвоєння рангу, який обчислюється як сума елементів відповідного рядка матриці домінування (L). Для розширення діапазону чисельних значень рангів у випадку аналізу 10 факторів, матриця домінування (L) трансформується в

матрицю (L1) (3.13), що дозволяє підвищити роздільну здатність оцінювання. Числові дані, отримані в ході обчислення, були агреговані та відображені у таблицях Г1 та Г2 додатку Г.

$$L1 = L + L^2 + L^4. \quad (3.13)$$

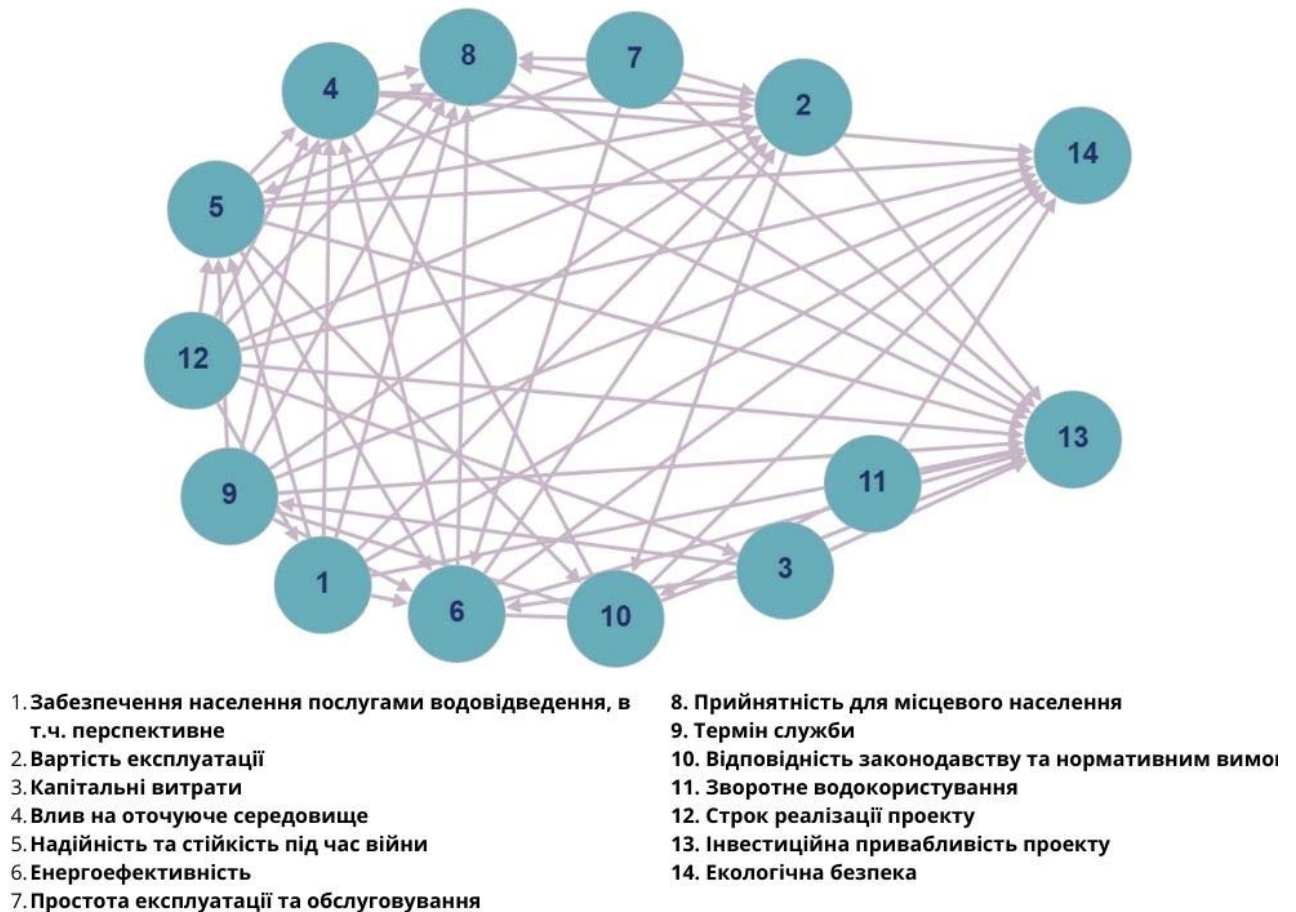


Рис. 3.5. Граф впливу критеріїв оцінки на екологічну безпеку та інвестиційну привабливість

Процедура сумування рядків трансформованої матриці дозволила отримати вектор бальних оцінок, кожна компонента якого відображає кількісну міру значущості відповідного індикатора (таблиця 3.8).

На четвертому етапі відбувається визначення значень позитивного (PID) K^+ та негативного рішень (NID) K^- для кожного критерію.

П'ятим етапом алгоритму, спрямованого на кількісне оцінювання відносної переваги альтернатив методом TOPSIS, є визначення метричних відстаней кожної альтернативи до позитивного та негативного рішень. Цей крок передбачає обчислення евклідових відстаней у багатовимірному просторі критеріїв, що дозволяє кількісно визначити ступінь близькості кожної альтернативи до оптимального та найгіршого сценаріїв (3.14):

$$S_j^+ = \sqrt{\sum_i (k^{ij} - K_j^+)^2}, S_j^- = \sqrt{\sum_i (k^{ij} - K_j^-)^2} \quad (3.14)$$

Таблиця 3.8

Коефіцієнти значущості критеріїв еколого-економічного оцінювання вибору системи водовідведення

Критерії	Найменування критеріїв	Коефіцієнт значущості
K1	Забезпечення населення послугами водовідведення, в т.ч. перспективне	0,1073
K2	Вартість експлуатації	0,0408
K3	Капітальні витрати	0,0824
K4	Влив на оточуюче середовище	0,0574
K5	Надійність та стійкість під час війни	0,1073
K6	Енергоефективність	0,0789
K7	Простота експлуатації та обслуговування	0,0851
K8	Прийнятність для місцевого населення	0,0007
K9	Термін служби	0,1460
K10	Відповідність законодавству та нормативним вимогам	0,1045
K11	Зворотне водокористування	0,0401
K12	Строк реалізації проекту	0,1495
	Всього	1,0000

Шостий етап – визначення узагальненого показнику, який характеризує j-ту альтернативу (3.15):

$$C_j^* = \frac{S_j^-}{S_j^+ + S_j^-}. \quad (3.15)$$

Перевага надається альтернативі, що має найвище значення показника C_j^* .

На останньому кроці алгоритму виконується еколого-економічне оцінювання проекту [283]. Даний розрахунок використовує величину попередженого екологічного збитку як грошовий потік, оскільки заходи, спрямовані на запобігання забрудненню, забезпечують економію, що відповідає цьому збитку.

Еколого-інвестиційна привабливість проекту оцінюється шляхом розрахунку чистої приведеної вартості (NPV), яка визначається як дисконтований грошовий потік, що є різницею між сумою дисконтованих грошових надходжень, отриманих протягом періоду реалізації або експлуатації інвестиційного проекту/програми, та сумою дисконтованих інвестиційних витрат, необхідних для його впровадження [293, 294] (3.16):

$$NPV = -IC + \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+i)^t}, \text{ грн.} \quad (3.16)$$

де i - ставка дисконтування;

IC (англ. Cost of Investment) – вартість інвестицій, грн.;

CF_t – річний еколого-економічний ефект від впровадження інвестиційного заходу у i -му році, грн. :

$$CF_t = CF - OE_t, \text{ грн.}; \quad (3.17)$$

де OE_t - експлуатаційні витрати, що виникають при функціонуванні об'єкта водовідведення протягом i -того року.

Дисконтований період окупності (DPP), визначений згідно з формулою (4) Роз'яснень [294], є інструментом для оцінювання часу, необхідного для відшкодування інвестицій з урахуванням часової вартості грошей. У контексті аналізу екологічно спрямованих проєктів, модифікація DPP для інтеграції екологічних ризиків дозволяє отримати більш комплексне оцінювання (3.18):

$$\sum_1^{DPP} \frac{CF - OE_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{IC_t}{(1+i)^t}, \text{ грн.} \quad (3.18)$$

де n - амортизаційний період найтривалішого інвестиційного заходу, обчислений у роках.

Продовження таблиці 3.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11
n	d_n	***	L_n	λ_n	T_n		$q_n^{K\Phi}$	$q_i^{K\Phi}$	i_n	V_n	λ_n^{pp}
Всього							$Q_{заг}^{K\Phi}$	$Q_{заг}^{K\Phi}$			$\sum K_i^3 = 1$
Примітка Критична швидкість визначається тільки для самопливних трубопроводів											

$Q_{заг}^{K\Phi}$ – загальна фактична кількість стічної рідини, що поступає на очисні споруди, м³/рік;

$Q_{заг}^{Kn}$ – загальна перспективна кількість стічної рідини, що буде надходити на очисні споруди, що розраховується за формулою за умови дотримання критеріїв безпеки визначених у пункті 3.2, м³/рік;

λ_i^{pp} - приведена аварійність ділянки, яка показує, як аварійність і-тої ділянки впливає на роботу всієї системи визначається за формулою (3.19):

$$\lambda_i^{прив} = \frac{Q_i^{K\Phi}}{\sum Q_i^{K\Phi}} \cdot \lambda_i \quad (3.19)$$

Визначення послідовності заходів з відновлення мереж водовідведення слід проводити відповідно до абсолютного значення λ_i^{pp} . В першу чергу відновленню підлягають ділянки з найбільшими значеннями приведеної аварійності.

Вибір оптимального варіанту реконструкції мережі повинен здійснюватися на підставі розрахунку порівняльної економічної ефективності з врахуванням еколого-економічного збитку.

Для чого, в першу чергу, необхідно здійснити перевірку кожної ділянки, що розглядається, на забезпечення фактичних та перспективних витрат, тобто мінімальних та максимальних обсягів водопостачання, з обранням оптимального діаметру та методу відновлення трубопроводу.

Вибір оптимального методу реконструкції мережі повинен здійснюватися з врахуванням можливого еколого-економічного збитку за формулою (3.20):

$$B_i + E_n \cdot K_i + Y_i = \min \quad (3.20)$$

де B_i - вартість експлуатаційних затрат, що визначаються за формулою (3.21):

$$B_i = 3\Pi_i + L_i \cdot K_{pi} + A_i, \text{ грн.}; \quad (3.21)$$

$3\Pi_i$ – заробітна плата робітників, що зайняті обслуговуванням ділянки мережі з врахуванням нарахувань на заробітну плату, грн./рік;

K_{pi} – затрати на ремонт 1км трубопроводу, грн./км;

A_i – амортизація трубопроводу, приймається в залежності від строку його служби, грн.;

Y_i - можливий еколого-економічний збиток, який можна визначити за формулою (3.22):

$$Y_i = q_i \cdot L_i \cdot \lambda_i^H \cdot T_{cpi} \cdot B_{Ezi}; \quad (3.22)$$

E_H - нормативний коефіцієнт приведення, що дорівнює 0,12;

K_i - капітальні витрати на відновлення і-тої ділянки, які залежать від умов та місцевості прокладання, та розраховуються водоканалами для кожного окремого випадку на підставі Настанови [295];

λ_i - фактична інтенсивність відмов ділянки, приймається за даними спостережень за останній календарний рік, $\frac{1}{\text{км} \cdot \text{рік}}$, 1/(км·рік);

q_i - витрати стічної рідини на ділянці;

T_{cpi} – середній час відновлення трубопроводу, рік;

B_{Ezi} - експертно оцінений питомий вартісний збиток, що нанесено водним, земляним, біологічним ресурсам та атмосфері, в результаті виливу 1 м³ стічної рідини у навколишнє середовище;

З врахуванням формул (3.20-3.22) умовою вибору оптимального методу реконструкції мережі є дотримання рівняння(3.26):

$$0,12 \cdot K_i + q_i \cdot L_i \cdot \lambda_i^H \cdot T_{cpi} \cdot B_{Ezi} + 3\Pi_i + L_i \cdot K_{pi} + A_i = \min. \quad (3.23)$$

Тоді визначення чистої приведеної вартості для обрання методу реконструкції трубопроводів NPV_p можна здійснювати за формулою (3.24):

$$NPV_P = -IC_P + \sum_{t=1}^n \frac{CF_{Pt} - OC_t - ERC_t}{(1+i)^t}, \text{ грн.} \quad (3.24)$$

де CF_{Pt} – грошовий потік у періоді, грн./рік, який визначається як попереджений екологічний збиток від відказів трубопроводів;

OC_t – експлуатаційні витрати в періоді t , грн./рік;

ERC_t – фінансові витрати, пов'язані з можливими негативними екологічними наслідками в період t , грн./рік, розраховуються за формулою (3.25) :

$$ERC_t = (1 - P_t) \cdot S_t, \frac{\text{грн.}}{\text{рік}}; \quad (3.25)$$

P_t – ймовірність безвідмовної роботи трубопроводу в періоді t [235] (3.26):

$$P_t = e^{-\lambda_n L_i t_i} \quad (3.26)$$

λ_n – нормативна кількість відмов ділянки, $\frac{1}{\text{км} \cdot \text{рік}}$, приймається за довідковими даними виробників;

t_i – час експлуатації приймається від моменту введення в експлуатацію до теперішнього моменту плюс 1 рік, тобто $t = (t_{\text{експл}} + 1)$ рік. Для нових трубопроводів у перший рік приймається 0;

S_t – оцінювання потенційних втрат від негативного впливу на довкілля у разі відказу трубопроводу.

Дисконтований період окупності (DPP) в даному контексті враховує додаткові фактори та набуває вигляду (3.27):

$$\sum_1^{DPP} \frac{CF_t - OC_t - (1 - P_t) \cdot S_t}{(1+i)^t} \geq \sum_{t=1}^n \frac{IC_t}{(1+i)^t}, \text{ грн.} \quad (3.27)$$

де n – амортизаційний період найтривалішого інвестиційного заходу, обчислений у роках.

Оптимальним варіантом серед множини альтернативних проєктів є той, що характеризується максимальним позитивним значенням чистої приведеної вартості (NPV) та найменшим дисконтованим періодом окупності (DPP) .

Висновки до розділу 3:

1. Воєнні дії створюють значні виклики для стабільного функціонування систем водовідведення, посилюючи екологічні загрози та вразливість довкілля. У цих умовах забезпечення екологічної безпеки набуває не лише інженерного, а й стратегічного екологічного значення. Запропонована категоризація систем водовідведення за впливом воєнних дій (I-IV категорії) дозволяє адаптувати заходи реагування до специфічних умов кожного регіону, від експрес-моніторингу та попередження в відносно безпечних зонах до відновлення руйнувань та попереднього прогнозування в зонах активних бойових дій. Розроблений метод експрес-моніторингу спирається на визначення показника екологічного ризику та дозволяє кількісно оцінити потенційні негативні наслідки для довкілля, сприяючи прийняттю обґрунтованих рішень щодо запобігання та мінімізації екологічних загроз, особливо важливих в умовах воєнного часу.

2. Запропонований метод аналізу інфільтрації та ексфільтрації в муніципальних системах водовідведення є науково обґрунтованим підходом, що інтегрує принципи екологічного оцінювання, системного аналізу та статистичного моделювання. Він базується на зборі та обробці реальних даних, що відображають функціонування системи водовідведення, таких як обсяги водоспоживання та водовідведення, кількість аварій, погодні умови. Розділення даних на періоди з опадами та без них дозволяє врахувати вплив гідрологічних факторів на процеси інфільтрації та ексфільтрації. Застосування кореляційного аналізу дає можливість виявити статистично значущі зв'язки між різними параметрами, що дозволяє визначити ключові фактори, які впливають на стан системи. Побудова математичної моделі, що враховує технологічні витрати, витоки, аварії та інші фактори, дозволяє кількісно оцінити обсяги інфільтрації та ексфільтрації, а також прогнозувати їхні зміни. Визначення коефіцієнта, що відображає обсяг неврахованих стічних вод, дає змогу оцінити екологічну

безпеку системи та виявити потенційні ризики забруднення навколишнього середовища. Верифікація моделі за допомогою коефіцієнта детермінації забезпечує її достовірність та надійність. На основі результатів аналізу розробляються конкретні заходи для оптимізації роботи системи водовідведення, що спрямовані на зменшення втрат стічних вод, запобігання забрудненню навколишнього середовища та підвищення ефективності використання ресурсів. Таким чином, запропонований метод є комплексним інструментом для науково обґрунтованого аналізу та управління системами водовідведення, що сприяє забезпеченню екологічної безпеки та сталого розвитку.

3. Запропонована методологія еколого-економічного обґрунтування оптимізації роботи систем водовідведення в умовах експлуатації муніципальних систем водовідведення являє собою інтегрований науковий підхід, що поєднує інженерно-екологічний аналіз з економічним моделюванням для оптимізації процесів прийняття рішень у складних умовах невизначеності. Вона базується на послідовному виконанні етапів, еколого-економічному аналізі вибору альтернатив з використанням методу TOPSIS. Використання цього методу дозволяє кількісно оцінити та ранжувати альтернативні рішення на основі комплексу критеріїв, що охоплюють технічні, економічні, екологічні та соціальні аспекти. Врахування інформаційної асиметрії та непередбачуваності через застосування науково обґрунтованих методів мінімізує ризики та оптимізує фінансові рішення. Таким чином, методологія забезпечує науково обґрунтовану основу для прийняття раціональних рішень щодо забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення, сприяючи сталому розвитку та ефективному використанню ресурсів.

РОЗДІЛ 4. ОРГАНІЗАЦІЙНІ ПРИНЦИПИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

4.1. Експрес-моніторинг екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України під час триваючих військових дій

В умовах воєнного стану, забезпечення населення якісними послугами водопостачання та водовідведення є критично важливим завданням, що визначає не лише екологічну безпеку регіону, але й безпосередньо виживання людей, оскільки відновлення пошкоджених систем є невідкладною задачею, що забезпечує доступ до життєво необхідних ресурсів, що є вирішальним фактором збереження життів та майна.

Тому, з метою забезпечення екологічної безпеки та мінімізації ризиків, зумовлених потенційними руйнуваннями інфраструктури водовідведення, доцільно провести ретроспективний експрес-моніторинг екологічної безпеки систем водовідведення України за методикою [283], що викладено у розділі 3.1. цієї роботи, за останнє десятиліття.

Спираючись на дані Deep State [296] та Переліку [297] станом на 01 січня 2025 року систем ВВ центральної та західної України за впливом воєнних дій можна було віднести до першої та другої категорії, півдня та сходу – до об'єктів третьої та четвертої категорії (рис. 4.1).

На першому кроці експрес-моніторингу згідно з відкритих джерел [43, 46] отримуємо вихідні дані для 2013 року (таблиця Д.1.1 додатку Д.1). та 2023 року (таблиця Д.1.2 додатку Д.1) за визначеними у розділі 3.1. індикаторами: питоме водоспоживання, питоме водовідведення, забезпечення послугами водовідведення, стан мереж водовідведення, питомі витрати електроенергії, ексфільтрація та інфільтрація (додатковий приплив), стан насосного обладнання, стан очисних споруд, скид нормативно очищених стічних вод. Виставляємо бали та систематизуємо (таблиця 4.1, таблиця Д.2.1. додатку Д.2).



Рис. 4.1. Категорії систем ВВ України за впливом воєнних дій [296].

Далі, для усунення впливу різних одиниць вимірювання та діапазонів значень на результати аналіз, здійснюємо нормалізація матриці методом $\min\max$.

Здійснюємо формування нормалізованої матриці на основі попередньо визначених вагових коефіцієнтів (таблиця 3.6). Цей процес передбачає зважування стандартизованих значень критеріїв з урахуванням їх відносної важливості, що дозволяє привести різномірні дані до єдиного масштабу та забезпечити можливість їх коректного порівняння (таблиця 4.2, таблиця Д.2.2 додатку Д.2).

Виконуємо комплексну інтеграцію результатів попередніх етапів з метою формування узагальненої картини стану системи. Цей етап включає в себе не лише консолідацію кількісних та якісних показників, але й їхню інтерпретацію в контексті потенційних екологічних ризиків.

Таблиця 4.1

Систематизація вихідних даних стану екологічної безпеки систем водовідведення України за 2023 рік

№ індика- тору	Од.вимір.	Область																							
		Вінницька	Волинська	Дніпропетровська	Донецька	Житомирська	Закарпатська	Запорізька	Івано-Франківська	Київська	Київ	Кіровоградська	Львівська	Миколаївська	Одеська	Полтавська	Рівненська	Сумська	Тернопільська	Харківська	Херсонська	Хмельницька	Черкаська	Чернівецька	Чернігівська
1	бали	0,3	0,3	1,7	2,0	0,3	0,7	0,3	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,3	1,3	0,3	0,0	0,7	0,7	0,7	1,7	0,3	0,0	1,3	0,0
2	бали	0,3	0,0	1,0	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,7	1,0	1,0	0,0	0,0	0,3	0,0	2,0	0,3	0,3	2,0	0,0
3	бали	0,3	1,3	0,7	0,7	0,0	1,3	0,7	2,0	1,3	2,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0
4	бали	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
5	кВт/1000 куб.м.	719	720	264	988	918	331	518	302	661	563	767	1675	988	93	599	611	858	792	372	259	699	454	1162	955
6	бали	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	бали	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2
8	бали	2	0	2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	2	0	1	2	0	0	0	2	1	1
9	%	99	100	50	66	95	82	100	99	98	94	40	100	100	93	43	59	50	91	97	100	100	86	94	95

Таблиця 4.2

Нормалізація даних за 2023 рік

№ інди- ка- тору	Коефіцієнт значущості	Область																							
		Вінницька	Волинська	Дніпропетровська	Донецька	Житомирська	Закарпатська	Запорізька	Івано-Франківська	Київська	Київ	Кіровоградська	Львівська	Миколаївська	Одеська	Полтавська	Рівненська	Сумська	Тернопільська	Харківська	Херсонська	Хмельницька	Черкаська	Чернівецька	Чернігівська
1	0,1099	0,167	0,167	0,833	1,000	0,167	0,333	0,167	0,000	0,500	0,000	0,500	0,000	0,167	0,667	0,167	0,000	0,333	0,333	0,333	0,833	0,167	0,000	0,667	0,000
2	0,1868	0,167	0,000	0,500	0,167	0,167	0,167	0,000	0,000	0,000	0,500	0,167	0,500	0,333	0,500	0,500	0,000	0,000	0,167	0,000	1,000	0,167	0,167	1,000	0,000
3	0,0275	0,006	0,022	0,011	0,011	0,000	0,022	0,011	0,033	0,022	0,033	0,011	0,011	0,011	0,011	0,000	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,006	0,000	0,000	0,000
4	0,3242	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5	0,0055	0,604	0,604	0,892	0,434	0,479	0,849	0,731	0,868	0,641	0,703	0,574	0,000	0,434	1,000	0,680	0,673	0,516	0,558	0,824	0,895	0,617	0,771	0,324	0,455
6	0,3077	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,0165	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000
8	0,0165	1,000	0,000	1,000	0,000	0,500	0,000	0,000	0,500	0,000	0,000	0,500	0,000	0,500	0,000	1,000	0,000	0,500	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,500	0,500
9	0,0055	0,975	1,000	0,171	0,440	0,910	0,700	1,000	0,988	0,968	0,906	0,000	1,000	1,000	0,881	0,046	0,310	0,167	0,849	0,953	1,000	1,000	0,759	0,899	0,918

Визначаємо рівень екологічної небезпеки, що виражається в оцінці ймовірності та масштабу негативних наслідків для довкілля, спричинених функціонуванням систем водовідведення (таблиця 4.3, та таблиця Д.2.3 додаткуД.2).

Таблиця 4.3

Область	Індикатори									Ризик екологічної небезпеки
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	Питоме водоспоживання	Питоме водовідведення	Забезпечення послугами водовідведення	Стан мереж водовідведення	Питомі витрати електроенергії	Експлуатація та доодаковий приплив	Стан насосного обладнання	Стан очисних споруд	Скид нормативно очищених стічних вод	
Коеф. значущості	0,1099	0,1868	0,0275	0,3242	0,0055	0,3077	0,0165	0,0165	0,0055	
Вінницька	0,018	0,031	0,000	0,324	0,003	0,308	0,000	0,016	0,005	0,29
Волинська	0,018	0,000	0,001	0,324	0,003	0,000	0,000	0,000	0,005	0,65
Дніпропетровська	0,092	0,093	0,000	0,324	0,005	0,000	0,000	0,016	0,001	0,47
Донецька	0,110	0,031	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,85
Житомирська	0,018	0,031	0,000	0,324	0,003	0,000	0,000	0,008	0,005	0,61
Закарпатська	0,037	0,031	0,001	0,324	0,005	0,000	0,000	0,000	0,004	0,60
Запорізька	0,018	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,016	0,000	0,005	0,96
Івано-Франківська	0,000	0,000	0,001	0,324	0,005	0,000	0,000	0,008	0,005	0,66
Київська	0,055	0,000	0,001	0,324	0,004	0,000	0,000	0,000	0,005	0,61
Київ	0,000	0,093	0,001	0,324	0,004	0,000	0,000	0,000	0,005	0,57
Кіровоградська	0,055	0,031	0,000	0,324	0,003	0,000	0,000	0,008	0,000	0,58
Львівська	0,000	0,093	0,000	0,324	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,58
Миколаївська	0,018	0,062	0,000	0,324	0,002	0,000	0,016	0,008	0,005	0,56
Одеська	0,073	0,093	0,000	0,324	0,005	0,000	0,000	0,000	0,005	0,50
Полтавська	0,018	0,093	0,000	0,324	0,004	0,000	0,000	0,016	0,000	0,54
Рівненська	0,000	0,000	0,000	0,324	0,004	0,000	0,000	0,000	0,002	0,67
Сумська	0,037	0,000	0,000	0,324	0,003	0,000	0,000	0,008	0,001	0,63
Тернопільська	0,037	0,031	0,000	0,324	0,003	0,000	0,000	0,016	0,005	0,58
Харківська	0,037	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,005	0,95
Херсонська	0,092	0,187	0,000	0,000	0,005	0,000	0,016	0,000	0,005	0,69
Хмельницька	0,018	0,031	0,000	0,324	0,003	0,000	0,000	0,000	0,005	0,62
Черкаська	0,000	0,031	0,000	0,324	0,004	0,000	0,000	0,016	0,004	0,62
Чернівецька	0,073	0,187	0,000	0,324	0,002	0,000	0,000	0,008	0,005	0,40
Чернігівська	0,000	0,000	0,000	0,324	0,003	0,000	0,016	0,008	0,005	0,64

Виконуємо ранжування підприємств за значенням екологічного ризику (ER) у порядку зростання, що дозволяє диференціювати підприємства за ступенем їхнього впливу на довкілля (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4

Динаміка змінення екологічного ризику систем водовідведення України за 10 років воєнний дій

Ранг по 2023	Найменування населеного пункту	2013		2023		Динамка +/-, %
		Значення показнику екологічного ризику	Висновок	Значення показнику екологічного ризику	Висновок	
1	2	3	4	5	6	7
1	Вінницька	0,57	Середній	0,29	Низький	49
18	Волинська	0,57	Середній	0,65	Середній	-13
4	Дніпропетровська	0,50	Середній	0,47	Середній	7
22	Донецька	0,58	Середній	0,85	Високий	-48
12	Житомирська	0,75	Високий	0,61	Середній	19
11	Закарпатська	0,62	Середній	0,60	Середній	4
24	Запорізька	0,76	Високий	0,96	Високий	-26
19	Івано-Франківська	0,72	Високий	0,66	Середній	9
13	Київська	0,63	Середній	0,61	Середній	2
7	Київ	0,71	Високий	0,57	Середній	19
8	Кіровоградська	0,64	Середній	0,58	Середній	9
9	Львівська	0,72	Високий	0,58	Середній	20
6	Миколаївська	0,73	Високий	0,56	Середній	22
5	Одеська	0,51	Середній	0,50	Середній	3
2	Полтавська	0,72	Високий	0,54	Середній	24
20	Рівненська	0,54	Середній	0,67	Високий	-24
16	Сумська	0,79	Високий	0,63	Середній	20
10	Тернопільська	0,45	Середній	0,58	Середній	-30
23	Харківська	0,72	Високий	0,95	Високий	-33
21	Херсонська	0,61	Середній	0,69	Високий	-13
14	Хмельницька	0,55	Середній	0,62	Середній	-13
15	Черкаська	0,21	Низький	0,62	Середній	-194
3	Чернівецька	0,58	Середній	0,40	Середній	31
17	Чернігівська	0,72	Високий	0,64	Середній	10

Як бачимо (рис. 4.2) в 2013 році 67% всіх муніципальних систем водовідведення України характеризувалися високим ризиком екологічної небезпеки, 29% -середнім, інші 4%- низьким.



Рис. 4.2. Динаміка ризиків екологічної небезпеки в Україні

За 10 років збройного конфлікту суттєво підвищився екологічний ризик у 9-ти областях України, у п'яти областях залишився майже на тому ж рівні. У інших областях спостерігається покращення ситуації (рис. 4.3). Але ситуація залишається складною, оскільки тільки одна область має низький показник ризику екологічної небезпеки. Функціонування систем більшості систем є небезпечними для навколишнього середовища та людини та загрожує настанням масштабної екологічної катастрофи.

Основною проблемою залишаються незадовільний стан очисних споруд та транспортуючих мереж і колекторів, старіння насосного обладнання та велика енергоємність в системах водовідведення, додатковий неврахований приплив стічних вод, тому необхідна розробка і впровадження заходів з інтенсифікації роботи систем.

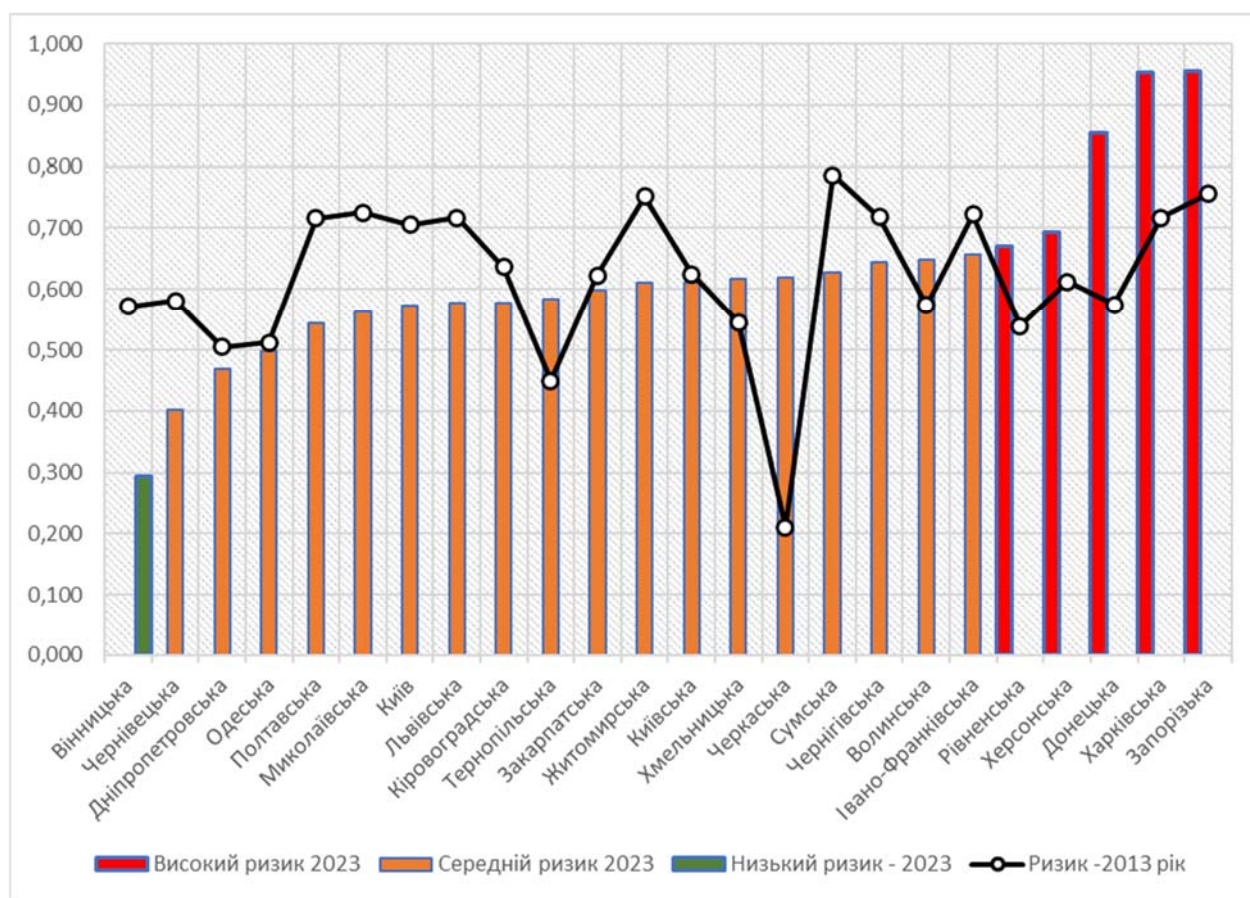


Рис. 4.3. Динаміка змінення ризиків екологічної небезпеки по областях України в 2013 та 2023 роках.

Всі заходи можна розподілити на дві основні категорії: першочергові (в т.ч. попереджувальні) та планові. Розробка цих заходів має проводитися індивідуально для кожного підприємства області з урахуванням його специфіки, особливостей діяльності та потенційних ризиків. Це дозволить ефективніше впроваджувати необхідні рішення та забезпечити належний рівень безпеки й стабільності в роботі кожного окремого підприємства.

При розробці попереджувальних заходів для кожного окремого регіону необхідно виконати аналіз потенційних загроз, що можуть виникнути при експлуатації систем водовідведення під час воєнних дій [33] (рис. 4.4).

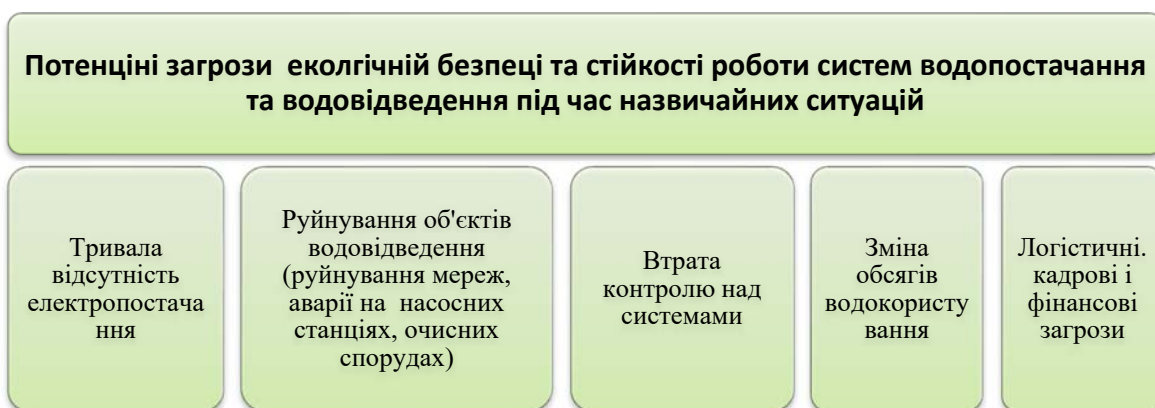


Рис. 4.4. Потенційні загрози екологічній безпеці та стійкості роботи систем водовідведення під час надзвичайних ситуацій

До загальних першочергових заходів під час військових дій для всіх областей слід віднести [282]:

- застосування програмних комплексів попереднього моделювання змінення гідравлічного режиму систем водопостачання та водовідведення на випадок настання надзвичайних ситуацій для підприємств, що обслуговують всі типи населених пунктів;
- розрахунок та придбання стратегічного запасу додаткових реагентів для очисних споруд;
- реконструкцію КНС та очисних споруд;
- забезпечення аварійними бригадами термінового реагування;
- розроблення стратегічних планів евакуації стічних вод у випадку повної відмови системи водовідведення, включаючи визначення альтернативних технологічних рішень для їхнього відведення та очищення;
- забезпечення всіх об'єктів альтернативними джерелами електропостачання;

- створення поблизу об'єкті критичної інфраструктури стратегічного запасу паливно-мастильних матеріалів на 30 календарних днів з відпрацюванням всіх можливих шляхів поновлення;
- оперативне відновлення зруйнованих (пошкоджених) ділянок мережі та споруд;
- забезпечення фізичного захисту об'єктів інфраструктури MWWS;
- підготовлення письмових інструкцій, щодо дії в надзвичайних та планових ситуаціях та проведення регулярного навчання персоналу;
- розрахування вартості заходів, перегляд місцевих бюджетів та виділення коштів на їх термінове проведення.

До планових заходів можна віднести:

- формування плану відновлювальних робіт обладнання та мереж MWWS та своєчасне їх виконання;
- підвищення роботи надійності водовідведення, резервування особо значних ділянок, розроблення заходів з переходу напірних трубопроводів в самопливному режимі;
- будівництво альтернативних джерел електропостачання (сонячна, біо-, гідро- та вітрова генерація, або їх комбінація) всіх об'єктів критичної інфраструктури систем ВВ. Вид системи повинен визначається з врахування забезпечення незалежної, надійної та безперебійної роботи;
- будівництво нових та реконструкція існуючих систем повинна виконуватися з забезпечення максимального зниження ризику повного знищення або відказу об'єктів інфраструктури, таких як очисні споруди, насосні станції, водогони та головні колектори у мережах водовідведення;
- впровадження цифрових технологій машинного навчання та геоінформаційних систем (ГІС) у моніторингу муніципальних систем

водовідведення, що забезпечить не лише просторову візуалізацію даних та виявлення аномалій, але й відкриє можливості для прогнозування якості очищення стоків, інфільтрації та ексфільтрації стічних вод, оптимізації роботи очисних споруд та моделювання ризиків екологічних катастроф;

- застосування «зелених технологій» у системи водовідведення для захисту від атмосферних опадів, яке ґрунтується на інтеграції природоорієнтованих рішень, зокрема біоінженерних систем та проникних покриттів. Що забезпечить ефективну регуляцію зливових вод, мінімізує ризики підтоплення, сприятиме відновленню природного водного балансу та підвищить екологічну стійкість міських територій в умовах змін клімату.

4.2. Визначення обсягів водокористування, як інструмент екологічної оптимізації функціонування муніципальних систем водовідведення

Муніципальна система водовідведення, що досліджується, знаходиться у південно-східному регіоні України. В якості вихідних даних для аналізу було використано: статистичні показники щоденних обсягів подачі води та водовідведення на очисні споруди, даних щодо відказів систем водопостачання та водовідведення, індивідуальні норми технологічних витрат води, отримані автором з баз даних підприємства, дані щодо середньодобових значень температур та осадів.

Муніципальна система водовідведення міста представляє собою систему, яка обслуговує близько 1 млн. населення та великі промислові підприємства.

Основні об'єкти системи водовідведення міста включають: 1414,78 км

мереж і колекторів, з них каналізаційних колекторів діаметром 1000-1400 мм – 121 км, діаметром 1500-2500 мм – 6,7 км; 20 каналізаційних насосних станцій районного значення; головна каналізаційна насосна станція міста продуктивністю 300 тис. м³/добу; очисні споруди продуктивністю 475 тис. м³/добу та очисні споруди продуктивністю 200 м³/добу.

На період проведення дослідження знос об'єктів водовідведення складав 87%. Основна частина споруд і устаткування за час експлуатації відпрацювала півтора-два нормативні терміни і їх технічний стан ледве можна визнати за задовільний.

Таке положення призвело до того, що більше 1200 км каналізаційних мереж мали 100% знос і вимагали заміни.

Критична ситуація склалася з міськими каналізаційними колекторами, які практично всі мали 100% знос і вимагали заміни.

Через гірські підробки відбувалося просідання та руйнування естакад головних колекторів, у зв'язку з чим зменшилася їх пропускна спроможність. Естакади потребували реконструкції. Крім того один з колекторів працював на межі пропускної спроможності і потребував дублювання.

Особливу тривогу викликав стан напірних колекторів каналізаційних насосних станцій.

З існуючих 4-х ниток напірних колекторів від головної КНС до очисних споруд (протяжністю 12,5 км кожна) повністю вийшов з ладу і виведений з експлуатації трубопровід Д=1000 мм. З 3-х трубопроводів, що залишилися, Д=1400 мм (два 1971 р. і один 1976 р. споруди) один знаходився в аварійному стані та мав тенденцію до повного виходу його з ладу. Два, що залишилися, трубопроводи не могли справитися з навантаженням стічних вод. Через давність експлуатації і транспортуванні абразивних частинок, що містяться в стоках,

товщина стінки нижньої частини сталевих трубопроводів зменшилася з 12 мм до 3-6 мм.

На ряді каналізаційних насосних станцій в роботі знаходилися по одній напірній нитці. Таке положення потенційно небезпечне для екологічної і санітарно-епідеміологічної ситуації в місті, оскільки у разі аварії на напірному трубопроводі не виключається можливість попадання в довколишні водоймища неочищених стічних вод.

Одним з головних об'єктів міста була головна каналізаційна насосна станція, побудована в 1971 році проектною продуктивністю 300 тис. куб. м на добу. Встановлене устаткування відпрацювало 2 – 3 нормативні терміни експлуатації, морально і фізично застаріло і потребувало термінової заміни.

Аналогічна ситуація з устаткуванням складалася і на решті 20 каналізаційних насосних станціях.

Більшість КНС знаходилося в аварійному стані, відсутня вентиляція.

Особливу тривогу викликало положення справ на очисних спорудах. Гострим питанням було стан залізобетонних споруд (відстійників, аеротенків) та технологічних трубопроводів.

В результаті тривалої експлуатації під дією агресивних стічних вод захисний шар бетонних конструкцій аеротенків і відстійників руйнувався, оголила арматура, з'явилися тріщини. Такий стан загрожував обваленням бетонних конструкцій і повному виходу з ладу.

При постійному обсязі надання послуг водопостачання та водовідведення спостерігалось зміння витрат води (рис. 4.5) та обсягів водовідведення на протязі року (рис. 4.6).

Дослідження за відношенням щодобових обсягів водовідведення і водопостачання ($\frac{q_s}{q_w}$) у суху погоду (рис. 4.7, а) показали, що з вірогідністю 64% вони будуть знаходитися в діапазоні 0,54-0,62, в той час як в інші (з опадами) дні

(рис. 4.7, б) цей інтервал зміщується 0,56-0,68 ($P=58\%$). Максимальні значення відношення $\frac{q_s}{q_w}$ у сухі дні на 20% нижчі ніж в дощові.

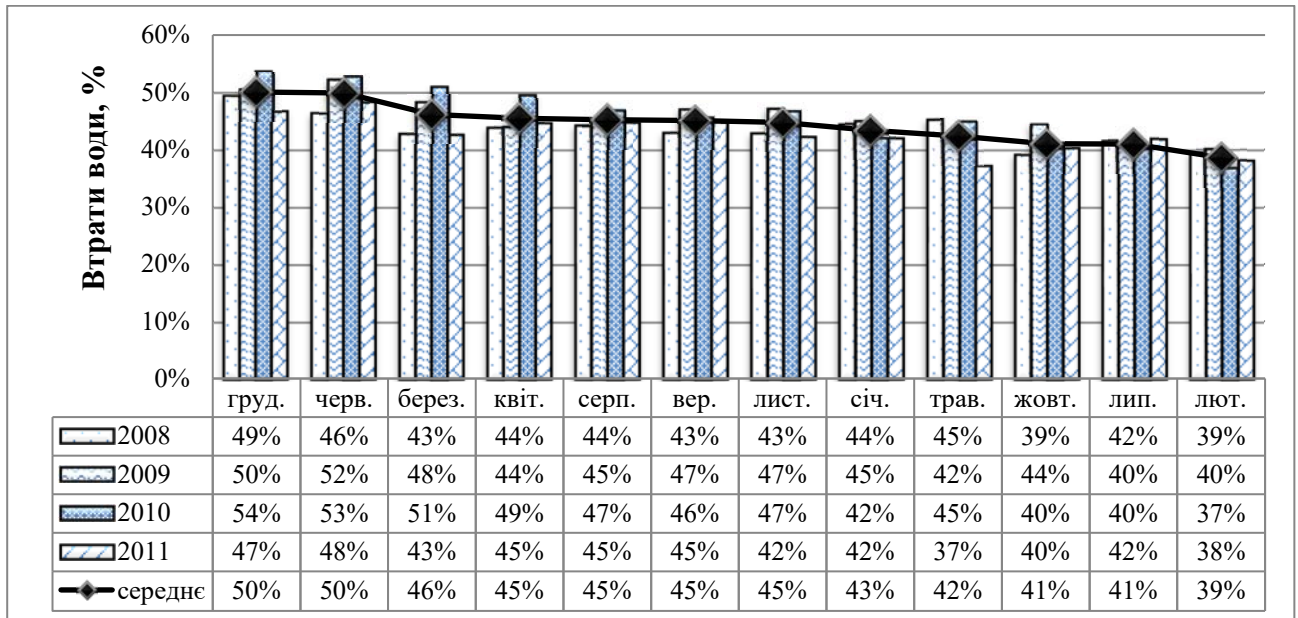


Рис. 4.5. Змінення втрат води на протязі року

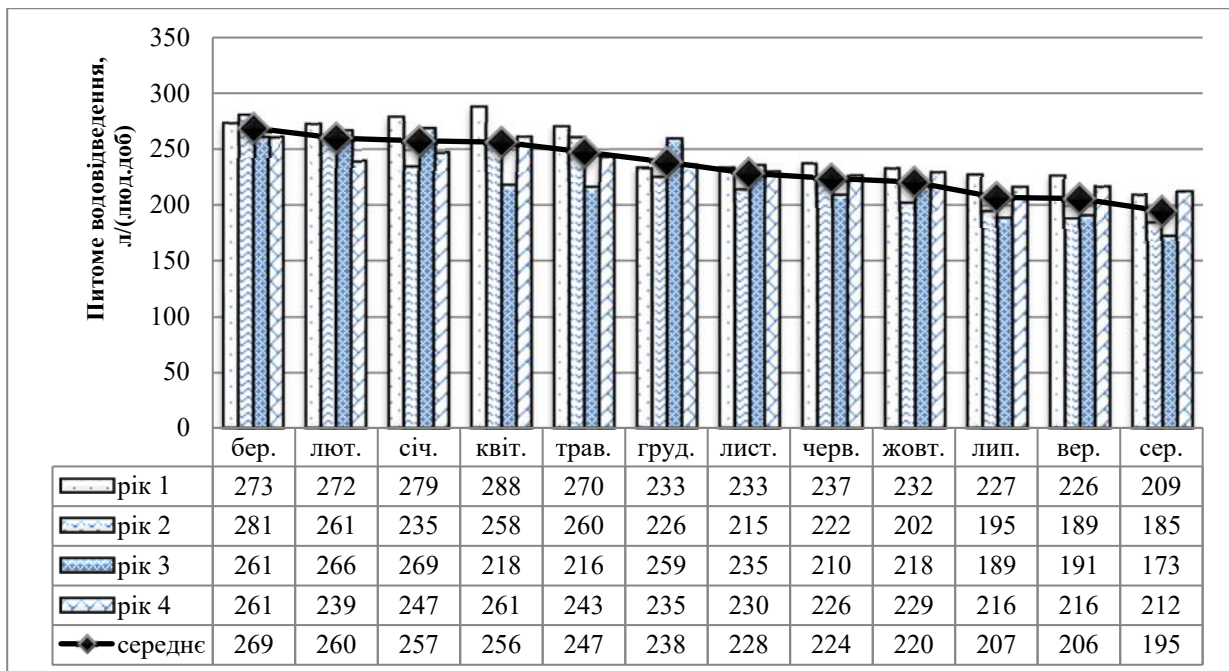


Рис. 4.6. Змінення фактично питомого водовідведення на протязі року.

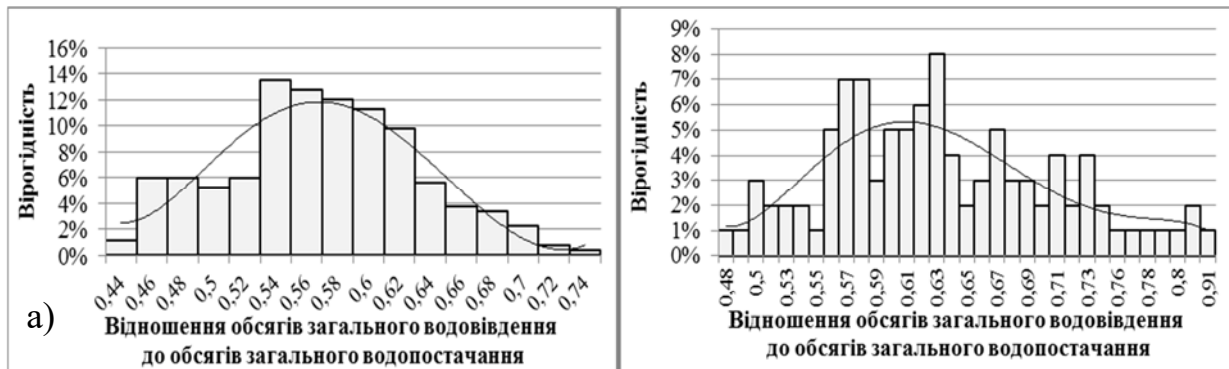


Рис. 4.7 . Густина розподілу відношення $\frac{q_s}{q_w}$ на протязі року.

а) у дні без опадів; б) у дні з опадами.

Аналіз аварійності систем водопостачання (λ_w) та водовідведення (λ_s), який здійснювався на основі щоденних спостережень динаміки гідравлічного режиму функціонування комплексу водопостачання-водовідведення, випадків відмов у роботі мереж та метеорологічних показників водопостачання та водовідведення проводилися на підставі щодобових спостережень за зміненням гідравлічного режиму роботи системи ВВ в цілому, відказами у роботі мереж та кліматичними умовами показав, що:

- найменша кількість аварій мереж водовідведення (рис. 4.8, а) спостерігається при температурі нижче -5°C , а найбільша в діапазонах від $-5-0^{\circ}\text{C}$ та $5-15^{\circ}\text{C}$;
- аварійність мереж водопостачання (рис. 4.8, б) залишається практично постійною на протязі року. Значне підвищення (біля 19% від середнього значення) спостерігається в діапазоні температур $-5-0^{\circ}\text{C}$, а зниження при температурі зовнішнього повітря більше 15°C ;
- збільшення кількості атмосферних опадів в цілому спричиняє зменшення аварійності обох мереж (рис. 4.8, в, г), за винятком діапазону $9-13$ мм/добу, де спостерігається найбільша кількість відказів мереж водовідведення.

Така ситуація пояснюється тим, що, спостерігається явище функціональних порушень у системах водовідведення, що зумовлене комплексом факторів. Зростання температури атмосферного повітря спричиняє зниження стабільності стічних вод, що, у свою чергу, активізує процеси газової корозії. Внаслідок цього, під час атмосферних опадів, таких як зливи та дощі, відбувається інтенсивна інфільтрація атмосферних опадів у мережі. Це призводить до гідравлічного перевантаження мереж та, як наслідок, до їхніх функціональних відмов [51].

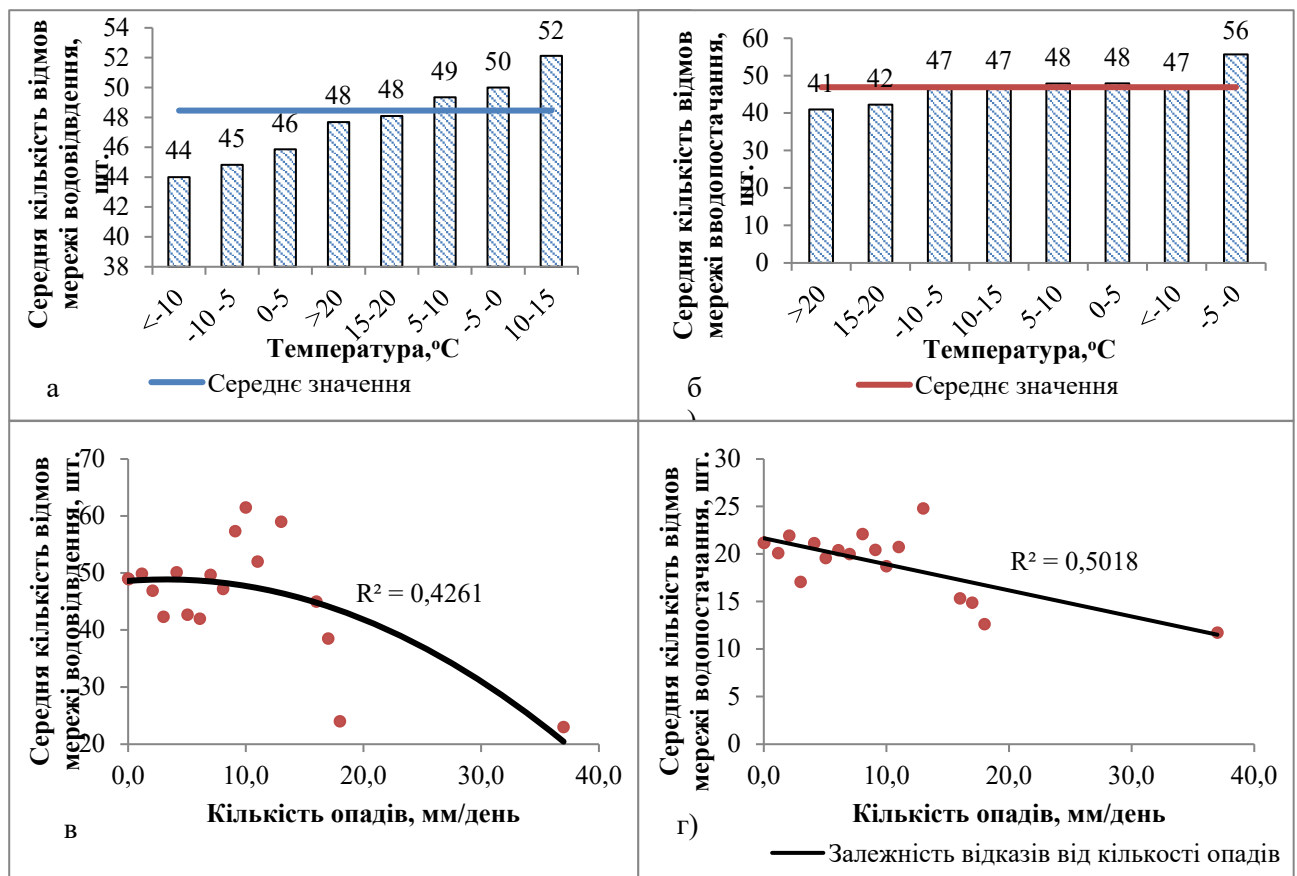


Рис. 4.8. Залежність аварійності мереж від кліматичних умов:

- а) залежність відказів мережі водовідведення від температури;
- б) залежність відказів мережі водопостачання від температури;
- в) залежність відказів мережі водовідведення від кількості опадів;
- г) залежність відказів мережі водопостачання від кількості опадів.

В кожному місяці за допомогою програмного комплексу MS EXCEL з загальної генеральної сукупності складаємо 2 незалежні вибірки (в дні з опадами та без них, де n - кількість днів з дощами, m -кількість днів без дощів) за параметрами: загальний обсяг стоків, що поступає на очисні споруди, кількість опадів, розрахунковий обсяг водовідведення, кількість відказів в системі водопостачання, та кількість відказів в системі водовідведення (таблиця 4.5, таблиця 4.6).

Таблиця 4.5

Вибірка даних статистичних досліджень у суху погоду

Місяць	Суха погода						
	Кількість днів, n	ПВ, m^3	РВ, m^3	РС, m^3	ОС, m^3	λ_w , відказ	λ_s , відказ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	22	9 552 330	5 313 388	4 719 682	5 992 690	1 020	1 226
2	25	10 694 560	6 481 998	5 749 968	6 685 540	1 063	1 185
3	20	8 273 010	4 721 145	4 169 601	5 325 060	804	892
4	14	5 670 680	3 240 060	2 752 329	3 821 120	624	602
5	23	9 440 050	5 402 037	4 519 017	5 976 010	993	951
6	20	8 220 620	4 704 222	3 935 267	4 614 280	986	709
7	19	7 699 280	4 127 753	3 461 670	4 120 230	1 041	860
8	28	11 947 440	6 042 077	5 074 146	5 731 360	1 304	1 140
9	25	10 474 450	5 883 711	4 955 376	5 463 600	1 333	1 267
10	26	10 438 630	5 821 632	5 086 757	5 913 660	1 513	1 386
11	23	9 316 780	5 446 053	4 786 529	5 231 800	1 355	1 290
12	21	8 351 770	4 573 604	4 046 111	4 844 130	1 005	980
Примітка: ПВ - загальний обсяг поданої води у систему водопостачання; РВ - обсяг реалізованої води ; РС- обсяг реалізований стічних вод; ОС – загальний обсяг стічних вод що надійшов, на очисні споруди							

Таблиця 4.6

Вибірка даних статистичних досліджень у дні з опадами

Місяць	З опадами							
	кількість днів, m	Загальний обсяг опадів, мм	ПВ, m^3	РВ, m^3	РС, m^3	ОС, m^3	λ_w , відказ	λ_s , відказ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	9	19,80	3 953 090	2 198 867	1 953 170	2 512 150	401	501

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	4	12,00	1 655 340	1 003 305	889 999	1 086 980	173	178
3	11	38,90	4 543 890	2 593 055	2 290 123	3 008 040	478	445
4	16	103,00	6 330 810	3 617 239	3 072 730	4 678 810	672	661
5	8	36,80	3 180 830	1 820 219	1 522 685	2 267 550	328	353
6	10	55,90	4 010 820	2 295 178	1 920 007	2 384 360	405	370
7	12	94,00	4 934 040	2 645 247	2 218 392	2 800 950	568	457
8	3	11,00	1 320 930	668 023	561 006	642 400	158	120
9	5	28,80	2 097 110	1 177 989	992 126	1 205 730	279	278
10	5	20,90	2 007 470	1 119 568	978 243	1 175 310	293	284
11	7	20,70	2 805 180	1 639 747	1 441 171	1 650 880	401	386
12	10	18,20	4 029 240	2 206 496	1 952 011	2 268 920	540	457
Примітка: ПВ - загальний обсяг поданої води у систему водопостачання РВ - обсяг реалізованої води РС- обсяг реалізований стічних вод ОС – загальний обсяг стічних вод що надійшов, на очисні споруди								

Для кожного параметру розрахуємо середньодобові показники параметрів, та визначаємо абсолютні та відносні значення додаткового притоку (таблиця 4.7).

Як видно з таблиці 4.7. обсяг інфільтрації до мереж водовідведення коливається від 2 до 11%, що в свою чергу призводить до додаткового навантаження на очисні споруди.

Таблиця 4.7

Визначення обсягів інфільтрації атмосферних опадів

Місяць	Суха погода, м³/добу				З опадами					Інфільтрація атмосферних опадів	
	ПВ	РВ	РС	ОС	Загальний обсяг опадів, мм	ПВ, м³/добу	РВ, м³/добу	РС, м³/добу	ОС, м³/добу	м³/добу	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	434197	241518	214531	272395	19,80	439232	244319	217019	279128	6733	3,14
2	427782	259280	229999	267422	12,00	413835	250826	222500	271745	4323	1,88

Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	413651	236057	208480	266253	38,90	413081	235732	208193	273458	7205	3,46
4	405049	231433	196595	272937	103,00	395676	226077	192046	292426	19488	9,91
5	410437	234871	196479	259827	36,80	397604	227527	190336	283444	23617	12,02
6	411031	235211	196763	230714	55,90	401082	229518	192001	238436	7722	3,92
7	405225	217250	182193	216854	94,00	411170	220437	184866	233413	16558	9,09
8	426694	215788	181219	204691	11,00	440310	222674	187002	214133	9442	5,21
9	418978	235348	198215	218544	28,80	419422	235598	198425	241146	22602	11,40
10	401486	223909	195645	227448	20,90	401494	223914	195649	235062	7614	3,89
11	405077	236785	208110	227470	20,70	400740	234250	205882	235840	8370	4,02
Примітка: ПВ - загальний обсяг поданої води у систему водопостачання; РВ - обсяг реалізованої води РС- обсяг реалізований стічних вод; ОС – загальний обсяг стічних вод що надійшов, на очисні споруди											

Під час подальшого дослідження за допомогою програмного комплексу DataFit 9.0 було встановлено тісний кореляційний зв'язок [257]:

- між загальними обсягами водовідведення, загальним водопостачанням та реалізацією стоків (рис. 4.9, а);

- між загальними обсягами водовідведення, аварійністю систем водопостачання та водовідведення (рис. 4.9, б).

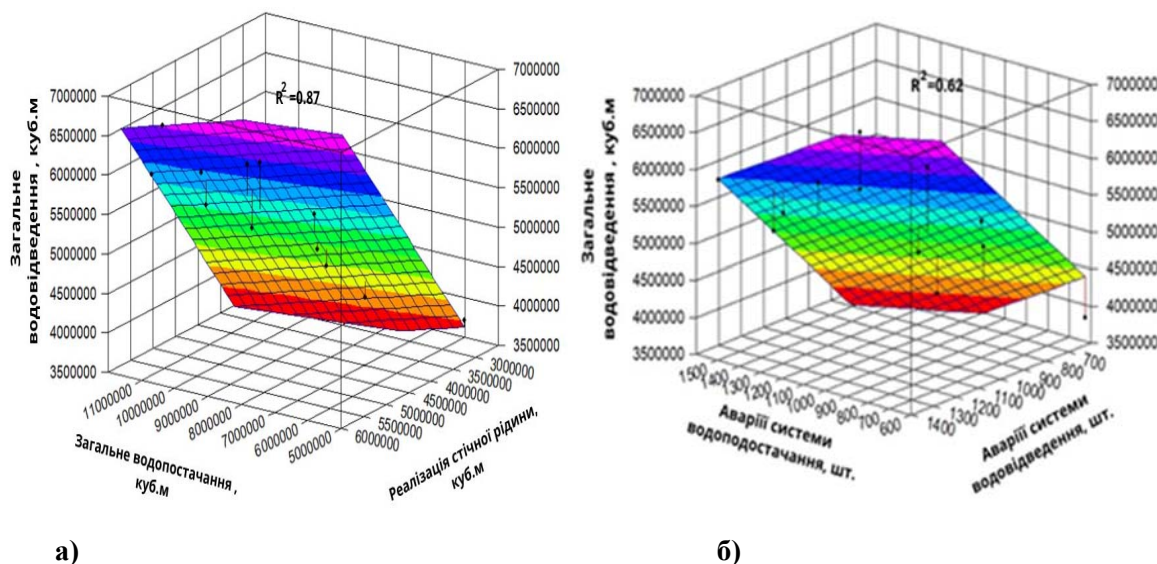


Рис. 4.9. Залежність загального водовідведення від:
а) загального водопостачання та реалізацією стоків;
б) аварійності систем водопостачання та водовідведення

Що свою чергу дозволило побудувати загальну математичну модель з високою точністю (4.1)

$Q_S = 0.101 \cdot Q_W + 0.9029 \cdot Q_{SR} - 1822.6768 \cdot \lambda_W + 975.51 \cdot \lambda_S + 1341926.5337, \frac{m^3}{\text{місяць}}; \quad R^2 = 0.93$	(4.1)
--	-------

де Q_S – загальний обсяг водовідведення в суху погоду, м³/місяць;

Q_W – загальний обсяг водопостачання в суху погоду, м³/місяць;

Q_{SR} – обсяг реалізованих стічних вод в суху погоду, м³/місяць;

λ_W – аварійність систем водопостачання в суху погоду, відказів/місяць;

λ_S – аварійність систем водовідведення в суху погоду, відказів/місяць .

Коефіцієнт *0,101* показує обсяг неврахованих (нереалізованих) стічних вод, що потрапляє до мережі водовідведення за рахунок технологічних витрат води у водопровідному та каналізаційному господарстві, необлічених витрат води на приладах обліку та комерційні витрат, втрат, пов'язаних з невідповідністю норм водоспоживання, втрати, пов'язаних з несанкціонованим розбором води з водопровідної мережі, витрати води на господарсько-питні потреби працівників каналізаційного господарства, які складають 10,1% від загального обсягу водопостачання, що на 2 відсотки вище, ніж це передбачено діючими індивідуальними нормами технологічних витрат води. Що є не приступним.

Коефіцієнт *0,9029* свідчить про неточності при розрахунках реалізації стоків. Крім того це може означати, що біля 10% реалізованих стоків втрачаються під час скритих витоків (ексфільтрації) під час експлуатації мережі.

Коефіцієнт *-1822,6768* показує, яка кількість води в куб.м втрачається в середньому в системі водопостачання під час кожної аварії.

В той же час коефіцієнт *975,51* відображає, яка кількість води в середньому інфільтрується до мережі водовідведення під час кожної аварії.

Коефіцієнт 1341926,5337 свідчить, що додаткова постійна інфільтрація ґрунтових вод до мережі водовідведення складає в середньому 67 591 куб.м/добу, що складає від 15%-21% від загального обсягу водовідведення, або в середньому 948 куб.м/місяць на кожний км мережі. Це з одного боку знижує ризик газової корозії, а з іншого створює значне додаткове навантаження на очисні споруди та КНС, збільшуючи енергоємність.

Застосовуючи функцію «Пошук рішення» в MS EXCEL (таблиця 4.8) знайшли допустимі значення аварійності мереж для забезпечення умови екологічної безпеки.

Таблиця 4.8

Результати прогнозу балансу водокористування за умови забезпечення екологічної безпеки середньодобових допустимих значення аварійності мереж та інфільтрації

Найменування	Q_w , м ³ /добу	Q_{SR} , м ³ /добу	λ_w , ав./добу	λ_s , ав./добу	I_{GW} , м ³ /добу	ОС м ³ /добу
Значення	263 291	159 195	0,17	0,10	10 040	191 034

До першочергових заходів підвищення екологічної безпеки систем ВВ після припинення військових дій слід віднести:

1. Запобігання настанню екологічної катастрофи, в наслідок забруднення стічними водами водних об'єктів: термінова паспортизація всіх очисних споруд, визначення фактичного та перспективного обсягу водовідведення та складу стічних вод з подальшою реконструкцією очисних споруд на підставі сучасних технологій.

2. Підвищення надійності роботи окремих елементів і системи в цілому на підставі розробки та запровадження цільової програми по заміні мереж водопостачання та водовідведення. Така цільова програма повинна стати обов'язковою частиною нормативно-правового акту про затвердження програми

доступу до питної води, та включати: виконання обстеження та паспортизацію всіх мереж, обрання першочерговий об'єктів для реконструкції, знаходження найбільш оптимальних варіантів і методів заміни.

В результаті виконання програми за рахунок зменшення витоків та аварій будуть значно знижені навантаження на обидві системи: скорочення використання прісної води на 29%, зменшення навантаження на очисні споруди водовідведення на 17% (рис. 4.10).

Заходи з реконструкції в цільовій програмі, повинні бути складені так, щоб темп зниження аварійності мереж водопостачання та водовідведення складав не менше 10% на рік від загальної кількості аварійних та старих мереж для кожної системи. Лише у такому випадку через 10 років можна бути досягти екологічної безпеки обох систем.

3. Підвищення енергозбереження: зниження витрат електроенергії на КНС та ВС, очисних спорудах за рахунок зменшення навантаження, заміни обладнання та/або застосування нових технологій очищення стічних вод.

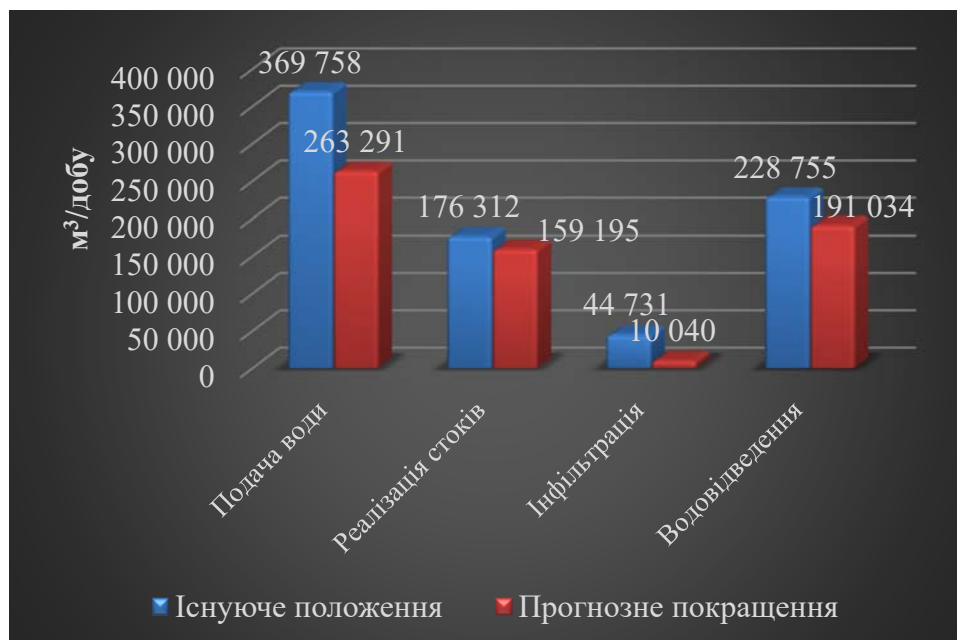


Рис. 4.10. Динаміка змінення водокористування через 10 років при запровадженні заходів підвищення екологічної безпеки

4.3. Забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення малих населених пунктів

Населений пункт, що досліджується, знаходиться на півдні Київської області України. Згідно з офіційними даними кількість мешканців становить – 1590 та збільшується за рахунок інтенсивного переміщення ВПО. Село засновано у 18 столітті, площа складає - 2,297 км².

Територія відноситься до Східноєвропейської платформи та розташована у межах Поліської низовини. Безпосередньо поруч з відведеною ділянкою поверхневі водні об'єкти не зафіксовані.

Згідно ДСТУ-НБ В.1.1-27:2010 [298] ділянка знаходиться у північно-західному кліматичному районі та характеризується середньою річною температурою 7,3 ° С. Середня річна відносна вологість повітря становить 76%. У холодний період року середнє значення відносної вологості складає 83 - 88%, у травні - червні - 64 - 65%, у серпні - вересні - 74 - 80%.

Середня річна величина парціального тиску водяної пари дорівнює 8,9 гПа, у січні - лютому - 3,8 - 4,0 гПа, в липні - серпні - 15,1 - 15,5 гПа.

Річна кількість атмосферних опадів в середньому становить 664 мм.

Середня тривалість стійкого снігового покриву в умовах селища - 97 днів.

Середня декадна висота сніжного покриву в захищених місцях, що відповідає умовам міста, впродовж зими змінюється від 3 - 6 см в середині грудня до 14 - 7 см у другій половині січня і до 20 - 21 см в кінці лютого. Середня висота снігового покриву за зиму становить 30 см, максимальна спостережувана досягала 75 см.

Протягом року переважають вітри західного і північно-західного напрямків (відповідно 16,1 і 14,7%).

Глибина сезонного промерзання ґрунтів складає до 1,1 м. Територія природно не підтоплена.

Не виключене, що в періоди рясних дощів та сніготанення (або при аварійних витоках з водогінних мереж) в товщі супісків можуть перезволожені зони майже до накопичення тимчасових лінз води типу «верховодка». При існуючих граничних умовах для постійно діючого горизонту верховодки умови відсутні [299, 300].

За даними Управління ЖКГ та капітального будівництва ОТГ систему водовідведення збудовано в минулому столітті. Вона була призначена для збору стічних вод від освітніх та житлових об'єктів, транспортувала їх до каналізаційної насосної станції. Звідти, через напірний трубопровід, стоки відводилися на поля фільтрації.

Експлуатація системи протягом тривалого часу без належного технічного обслуговування призвела до значного фізичного зносу мереж. Первинно спостерігалися локальні пошкодження у вигляді свищів та витоків, що з часом трансформувалися в масштабні руйнування трубопроводів та розгерметизацію. Це спричинило утворення техногенних порожнин, заповнених неочищеними стічними водами.

Як наслідок, зафіксовано вторинне бактеріальне забруднення підземних водоносних горизонтів, що використовуються для питного водопостачання, зокрема в колодязях та свердловинах [300].

Запірна арматура, що використовується в системі, вичерпала свій експлуатаційний ресурс як фізично, так і морально, що ускладнює проведення ремонтних робіт через неможливість локалізації аварійних ділянок.

Стрімке освоєння земельних ділянок та будівництві приватних споруд, суттєво ускладнила експлуатацію існуючої системи водовідведення. Збільшення щільності забудови та зміна ландшафту призвели до обмеження доступу до

мереж, що в багатьох випадках унеможлиблює проведення необхідних ремонтних робіт. Це створює критичну ситуацію, оскільки пошкодження трубопроводів та інші аварійні ситуації не можуть бути оперативно усунені, що призводить до подальшого погіршення стану системи.

На даний момент КНС приймає стічні води від соціальних об'єктів та населення в обсязі 50 м³/добу. Ці стоки, замість належної обробки, скидаються прямо в санітарно-захисній зоні очисних споруд на рельєф, що розміщений в межах села біля нового масиву забудови, та набули катастрофічних розмірів (рис. 4.11, рис. 4.12).



Рис. 4.11. Скид пробутих стічних вод на рельєф

Відповідно до ст.44 Водного кодексу [15] водокористувачі зобов'язані «дотримувати встановлених нормативів гранично допустимого скидання

забруднюючих речовин та встановлених лімітів забору води, лімітів використання води та лімітів скидання забруднюючих речовин, а також санітарних та інших вимог щодо впорядкування своєї території», ст.70 «Скидати стічні води, використовуючи рельєф місцевості (балки, пониззя, кар'єри тощо), забороняється».

Однак в порушення законодавства станом на 01.01.2025 року скид стічних вод на рельєф активно триває. Площа забруднення ґрунту вже досягає більше 0,6 га та продовжує збільшуватися (рис. 4.12). За період з 2010 року на поверхню скинуто біля 280 тисяч кубічних метрів господарчо-побутових стічних вод (додаток Д.3), що призвело до забруднення та деградації ґрунту. Разом з тим значно погіршився стан атмосферного повітря в населеному пункті – проказники викидів сірководню, оксиду вуглецю та діоксиду азоту перевищують ГДК (рис. 4.13).

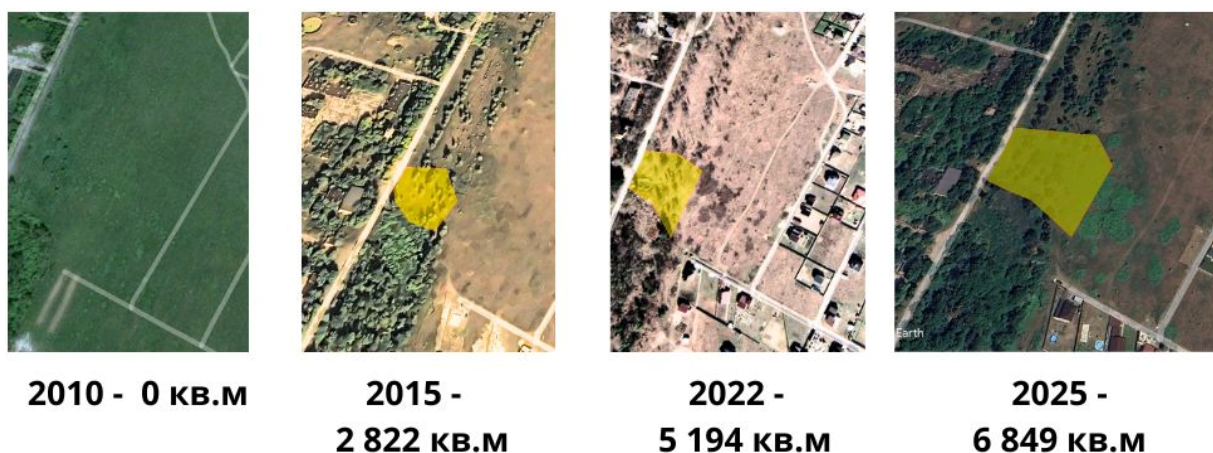


Рис. 4.12. Динаміка забруднення рельєфу населеного пункту стічними водами

Дослідження атмосферного повітря показали, що показники сірководню у повітрі в центрі села знаходиться в межах $0,8 \text{ мг/м}^3$, що перевищує ГДК для населених пунктів у 100 разів. Тривала дія сірководню, навіть у низьких

концентраціях, асоціюється з розвитком дерматитів, офтальмологічних порушень (печіння, запалення кон'юнктиви), кардіоваскулярних (гіпотензія), неврологічних та гастроентерологічних (нудота, анорексія, втрата ваги) симптомів, а також хронічного кашлю. Особлива вразливість дітей зумовлена потенційно тривалішим латентним періодом розвитку наслідків хронічної інтоксикації. Крім того, наявні дані вказують на можливий зв'язок між впливом сірководню на розвиток плода та підвищеним ризиком спонтанних абортів [303].

Таблиця 4.9

Показників викидів в атмосферне повітря населеного пункту за лютий 2025 року

№ п/п	Найменування показника	Одиниця виміру	Виміри, 2025 рік [301]		ГДК у повітрі населеного пункту [302]
			Мінімальне	Максимальне	
1	Сірководень ¹	мг/м ³	0,71	0,91	0,008
2	Діоксид азоту	мг/м ³	0,061	0,114	0,06
3	Аміак	мг/м ³	0,00004	0,0002	0,04
4	Оксид вуглецю	мг/м ³	3,061	3,595	3
¹ Показники вимірів сірководню прийняті за архівними даними вимірювань 2019 року					

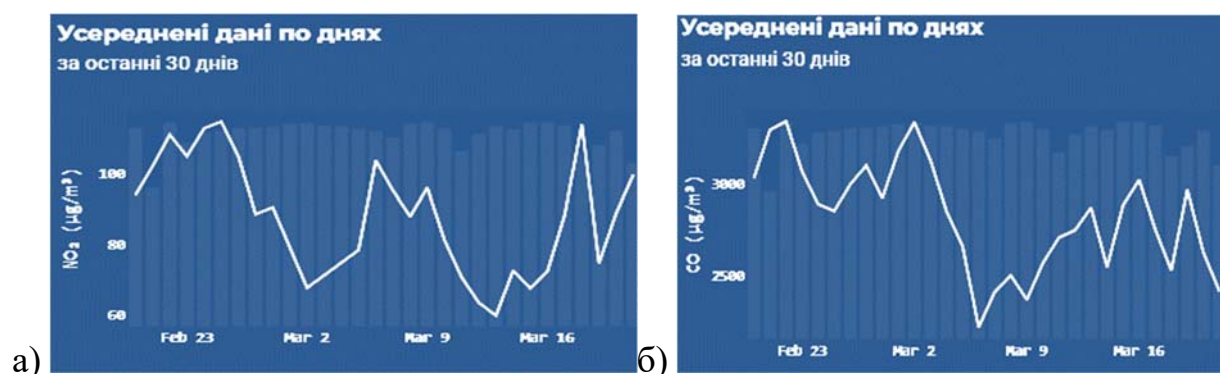


Рис. 4.13. Динаміка викидів в атмосферне повітря за лютий-березень 2025 року: а) діоксиду азоту; в) оксиду вуглецю [301].

Тривалий вплив діоксиду азоту, що триває тижні або місяці, може спричинити ряд хронічних захворювань. Найчастіше спостерігаються запалення ясен, кон'юнктивіт, хронічні захворювання дихальних шляхів, такі як бронхіт і трахеїт, а також серйозніші проблеми з легенями, включаючи емфізему та пневмосклероз. Крім того, можливі зміни в серцево-судинній системі, такі як гіпотонія, а також зміни в складі крові, зокрема збільшення кількості еритроцитів і прискорення згортання [304, 305].

Експертні огляди підтверджують зв'язок між забрудненням повітря твердими частинками та підвищеною смертністю, зокрема від серцево-судинних захворювань, причому ризик зростає з тривалістю впливу [306].

Емісія діоксиду сірки (SO_2) та оксидів азоту (NO_x) в атмосферу є ключовим фактором, що зумовлює формування кислотних опадів. Ці газоподібні забруднювачі, вступаючи в реакцію з атмосферною вологою, трансформуються в сірчану (H_2SO_4) та азотну (HNO_3) кислоти [307].

Це створює пошкодження екосистем, руйнування будівель, негативний вплив на здоров'я людини та зниження врожайності сільськогосподарських культур [51].

Інтегральний показник комплексної оцінки загального стану муніципальної системи водовідведення населеного пункту становить -0,67, що класифікує систему, як екологічно небезпечну (рис. 4.14).

Щодобовий збиток від забруднення земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства, визначається згідно методики [308] (4.2) :

$P_{\text{ш}} = A \cdot \Gamma_{\text{оз}} \cdot P_{\text{д}} \cdot K_{\text{з}} \cdot K_{\text{н}} \cdot K_{\text{ег}}, \text{ грн.}$	(4.2)
--	-------

де $P_{\text{ш}}$ – розмір шкоди від забруднення земель, грн;

A – питомі витрати на ліквідацію наслідків забруднення земельної ділянки, значення якого дорівнює 0,5;

$\Gamma_{\text{оз}}$ – нормативна грошова оцінка земельної ділянки, що зазнала забруднення (засмічення), 2,6531 грн/кв.м [309];

$\Pi_{\text{д}}$ – площа забрудненої земельної ділянки. Середньодобова площа забруднення складає $6849/(365 \cdot 15) = 1,25$ кв.м;



Рис. 4.14. Комплексна оцінка екологічної безпеки муніципальних систем водопостачання та водовідведення населеного пункту

K_3 – коефіцієнт забруднення земельної ділянки, що характеризує кількість забруднюючої речовини в об'ємі забрудненої землі залежно від глибини просочування, розраховується за формулою [308], дорівнює 3700,9;

$K_{\text{н}}$ - коефіцієнт небезпечності забруднюючої речовини, значення якого визначається за додатком 1 [308], приймаємо 2,5.

K_{EG} – коефіцієнт еколого-господарського значення земель визначається за додатком 2 [308], приймаємо 5,5.

Тоді щодобовий збиток від скиду стічних вод в населеному пункті дорівнює:

$$P_{\text{ш}} = 0,5 \cdot 2,6531 \cdot 3700,9 \cdot 1,25 \cdot 2,5 \cdot 5,5 = 84\,444,73 \text{ грн.}$$

Загальний збиток від забруднення ґрунту станом на 01.01.2025 орієнтовно сягає 462,335 мільйона грн.

Така ситуація диктує необхідність екстреного вирішення. До термінових заходів слід віднести припинення скиду стічних вод на рельєф. Для чого стічні води потрібно збирати у накопичувальних ємностях КНС, а потім за допомогою асенізаційних машин вивозити до зливових колодязів. За оцінками експлуатуючої організації вартість таких заходів сягає 17 219 грн. на добу. Що в порівнянні з щодобовим збитком навколишньому середовищу складає всього 20,4%.

Надалі розробляється комплекс першочергових заходів з інтенсифікації роботи муніципальної системи водовідведення. Для цього розглядається 2 альтернативи:

1. Будівництво локальних очисних споруд (децентралізована система).
2. Будівництво напірного трубопроводу з подальшим відведенням стоків на обласні очисні споруди [30, 237, 257].

Альтернатива 1. Будівництво очисних споруд господарсько-побутових стічних вод потужністю 300 м³/добу виробництва «ПОТЕНЦІАЛ-4» [299] (рис. 4.15). Для забезпечення стабільності надходження господарсько-побутових стічних вод на очисні споруди, передбачається будівництво комплектної насосної станції підкачки з насосами зануреного типу в селі поруч з існуючою КНС, яка знаходиться в аварійному стані, з підключенням в існуючий напірний колектор.

Водовідведення очищених та знезаражених стічних вод планується на підґрунті та внутрішньогрунті зрошення шляхом інфільтрації у ґрунт через споруди «БІОПЛАТО».

Альтернатива 2. Будівництво напірного трубопроводу господарсько-побутової каналізації від КНС населеного пункту до точки скиду біля сусіднього села (рис. 4.16), з подальшим відведенням стічної рідини до обласних очисних споруд.

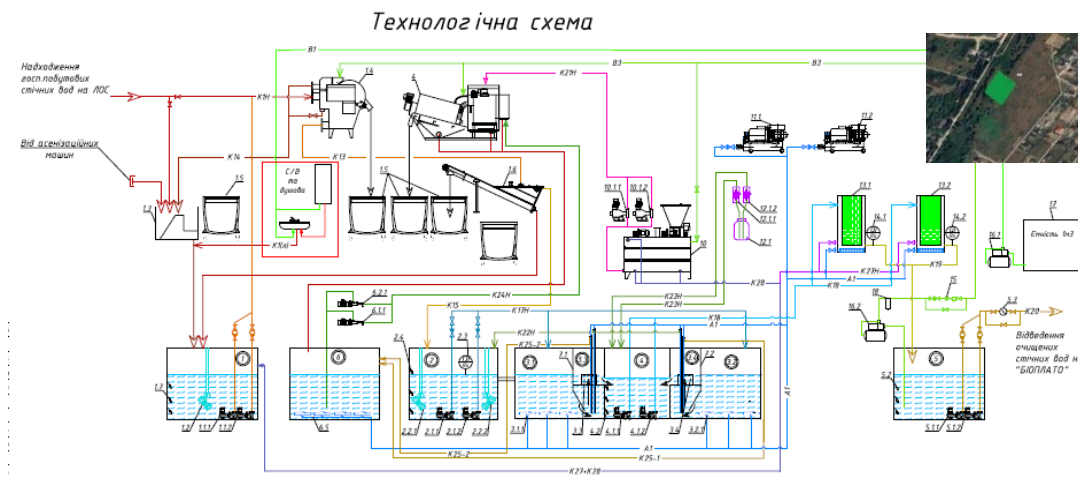


Рис. 4.15. ЛОС виробництва «Потенціал-4» [299]

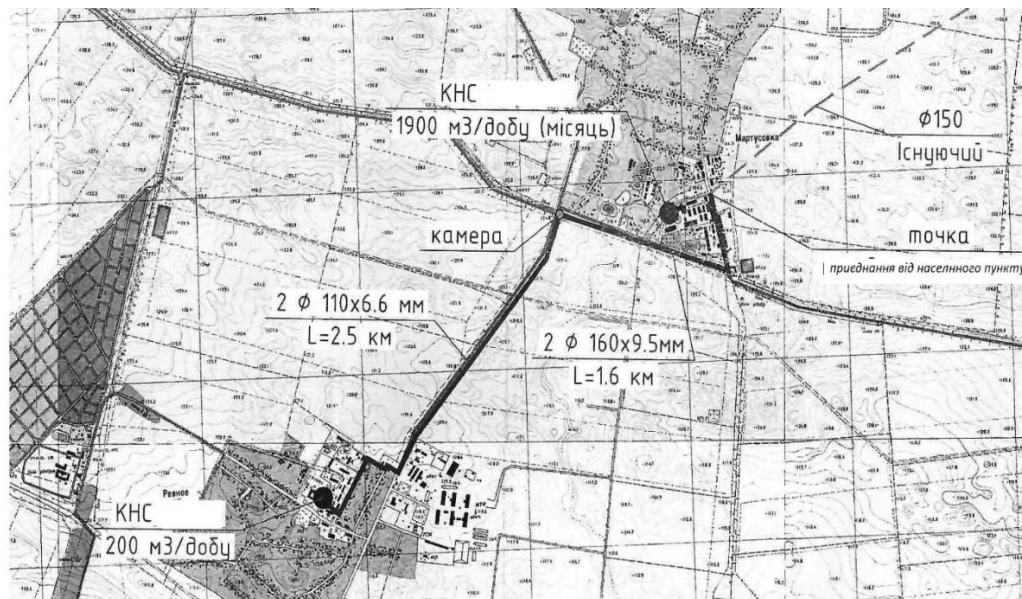


Рис. 4.16. Топографічний план будівництва напірного колектору

Обрання найкращої альтернативи здійснюється за методикою, яка викладена у розділі 3.3.

Вихідними критеріями для прийняття рішень по альтернативі є: забезпечення населення послугами водовідведення, в т.ч. перспективне; вартість експлуатації (додатки Д.6, Д.7); капітальні витрати (додатки Д.4, Д.5); вплив на оточуюче середовище; надійність та стійкість під час війни; енергоефективність; простота експлуатації та обслуговування; прийнятність для місцевого населення; термін служби; відповідність законодавству та нормативним вимогам; зворотне водокористування. Виставляємо бали та систематизуємо (таблиця 4.10).

Таблиця 4.10

Систематизація вихідних даних для вибору методу інтенсифікації
муніципальних систем водовідведення населеного пункту

№ критерію	Найменування	Од. вимір.	Альтернатива 1	Альтернатива 2
1	Забезпечення населення послугами водовідведення, в т.ч. перспективне	%	100,00	100,00
2	Вартість експлуатації	грн./м ³	48,71	37,65
3	Капітальні витрати	грн./м ³	299,72	149,12
4	Вплив на оточуюче середовище	бали	1,00	1,00
5	Надійність та стійкість під час війни		1,00	0,00
6	Енергоефективність	кВт/м ³	3,87	2,65
7	Простота експлуатації та обслуговування	бали	0,50	1,00
8	Прийнятність для місцевого населення	бали	0,00	1,00
9	Термін служби	роки	50	50
10	Відповідність законодавству та нормативним вимогам	бали	1,00	1,00
11	Зворотне водокористування	бали	1,00	0,00
12	Строк реалізації проекту	роки	2,00	1,00

З метою усунення впливу різнорідних одиниць вимірювання та діапазонів значень на результати аналізу, застосовується метод min-max для нормалізації

матриці даних [283]. На основі попередньо визначених вагових коефіцієнтів формується нормалізована матриця, де стандартизовані значення критеріїв зважуються з урахуванням їх відносної важливості. Цей процес дозволяє привести різнорозмірні дані до єдиного масштабу, забезпечуючи їх коректне порівняння (таблиця 4.11).

Таблиця 4.11

Зважена нормалізована матриця рішень для альтернатив A1 та A2

№ критерію	Найменування	Коефіцієнт впливу	Альтернатива 1	Альтернатива 2
1	2	3	4	5
1	Забезпечення населення послугами водовідведення, в т.ч. перспективне	0,1073	0,1073	0,1073
2	Вартість експлуатації	0,0408	0,0000	0,0408
3	Капітальні витрати	0,0824	0,0000	0,0824
4	Влив на оточуюче середовище	0,0574	0,0574	0,0574
5	Надійність та стійкість під час війни	0,1073	0,1073	0,0000
6	Енергоефективність	0,0789	0,0000	0,0789
7	Простота експлуатації та обслуговування	0,0851	0,0426	0,0851
8	Прийнятність для місцевого населення	0,0007	0,0000	0,0007
9	Термін служби	0,1460	0,1460	0,1460
10	Відповідність законодавству та нормативним вимогам	0,1045	0,1045	0,1045
11	Зворотне водокористування	0,0401	0,0401	0,0000
12	Строк реалізації проекту	0,1495	0,0000	0,1495

Згідно до методології TOPSIS після ідентифікації ідеального позитивного (PID) K^+ та ідеального негативного рішення (NID) K^- , представлених у таблиці 4.12, було здійснено обчислення ступенів близькості методом TOPSIS, що відображають відносну перевагу кожної альтернативи.

Таблиця 4.12

Зважена нормалізовані PID та NID

Альтернатива	Номер критерію											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K⁻	0,1073	0,0000	0,0000	0,0574	0,0000	0,0000	0,0426	0,0000	0,1460	0,1045	0,0000	0,0000
K⁺	0,1073	0,0408	0,0824	0,0574	0,1073	0,0789	0,0851	0,0007	0,1460	0,1045	0,0401	0,1495

Одночасно, згідно з методологією TOPSIS, було визначено відстані до ідеального позитивного рішення (S_j^+) та ідеального негативного рішення (S_j^-), результати яких задокументовано у таблиці 4.14.

Таблиця 4.13

Відносна близькість до альтернатив

Альтернативи	S_j^-	S_j^+	C_j^*	Ранг
A1	0,115	0,197	0,37	2
A2	0,197	0,115	0,63	1

В контексті багатокритеріального аналізу, оптимальним вибором вважається альтернатива, що характеризується максимальним значенням коефіцієнта близькості C_j^* . Таким чином, необхідно обрати альтернативу A2, тобто будівництво напірного трубопроводу господарсько-побутової каналізації від КНС населеного пункту до точки скиду біля сусіднього села.

Еколого-інвестиційну привабливість проекту розрахуємо за допомогою чистого дисконтованого доходу NPV при ставці дисконтування 0,155 [310]. Результати розрахунків представлені в таблиці 4.15.

Таблиця 4.14

Відносна близькість до альтернатив

Альтернативи	S_j^-	S_j^+	C_j^*	Ранг
A1	0,115	0,128	0,47	2
A2	0,197	0,189	0,51	1

Далі розраховуємо термін окупності капіталовкладень. У даному розрахунку, в якості грошового потоку використовується величина збитку, зумовленого забрудненням навколишнього середовища внаслідок скидання неочищених стічних вод протягом року. Це обґрунтовано тим, що реалізація заходів з попередження забруднення призведе до відповідної економії, яка еквівалентна запобіганню зазначеному збитку.

Таблиця 4.15

Розрахунок еколого-інвестиційної привабливості проекту будівництва
напірного колектору

Рок	IC	CF				Ставка дисконтування, i	Дисконтовані доходи, PV	NPV
		Виробнича собівартість	Попередження забруднення	Чистий прибуток	Всього			
	грн.	грн.	грн.	грн.	грн.		грн.	грн.
1	13063259	518756	5137055	22965	4641263	0,155	4018410	-9044849
2		3112538	30822328	137788	27847578	0,155	20874855	11830005
3		3112538	30803113	137788	27828363	0,155	18060996	29891001
4		3112538	30803113	137788	27828363	0,155	15637226	45528228
5		3112538	30803113	137788	27828363	0,155	13538724	59066952

На кінець 1-го року кумулятивні дисконтовані доходи (4 018 409,50 грн.) менші за початкові інвестиції (13 063 259,00 грн.), в той же час на кінець 2-го року кумулятивні дисконтовані доходи (20 874 854,55 грн.) перевищують початкові інвестиції (13 063 259,00 грн.). Це означає, що дисконтований період окупності перевищує 1 рік:

$$DPP = 1 + (13\,063\,259,00 - 4\,018\,409,50) / 20\,874\,854,55 = 1,433 \text{ року.}$$

З розрахунку видно, що строк окупності проекту складає 1 рік та 5 місяців.

Визначаємо спосіб прокладання трубопроводів з врахуванням еколого-економічного збитку [30]:

1. Варіант 1. Реалізація проекту передбачає прокладання поліетиленових трубопроводів із застосуванням відкритого траншейного методу.
2. Варіант 2. Для прокладання поліетиленових трубопроводів пропонується комбінований підхід, що поєднує траншейні та безтраншейні технології (рис. 4.17).

Вибір методу реконструкції трубопроводів ґрунтувався на розрахунку чистої приведеної вартості (NPV), який детально представлено у додатках Д.8-Д.12. Результати розрахунків наведені в таблиці 4.16

Таблиця 4.16

Розрахунок ТЕО варіантів будівництва трубопроводів

Роки	Варіант 1		Варіант 2	
	PV	NPV	PV	NPV
	грн.	грн.	грн.	грн.
1	13 288 813	9 297 006	19 915 093	16 164 451
2	22 990 006	32 287 012	22 990 006	39 154 457
3	19 875 377	52 162 389	19 887 848	59 042 304
4	17 194 439	69 356 827	17 205 236	76 247 540
5	14 875 899	84 232 726	14 885 247	91 132 787

Розраховуємо дисконтований період окупності (DPP) для першого та другого варіантів:

$$DPP_1 = (1 - (13\,288\,813 - 3\,991\,807) / 13\,288\,813)) = 0,30 \text{ року}, DPP_1 = 0,3 \cdot 12 = 3,6 \text{ місяця};$$

$$DPP_2 = (1 - (19\,915\,093 - 3\,750\,642) / 19\,912\,095)) = 0,19 \text{ року}, DPP_2 = 0,19 \cdot 12 = 2,3 \text{ місяця}.$$



Рис. 4.17. Прокладання трубопроводу в населеному пункті методом ГНБ у населеному пункті, який досліджується

Зважаючи на те, що дисконтований період окупності (DPP) для варіанту 2 є меншим за DPP варіанту 1 на 1,3місяці, та аналіз чистої приведеної вартості (NPV) демонструє, що на першому році реалізації проєкту варіант 2 забезпечує на 71% більший еколого-економічний ефект, що еквівалентно 6,9 млн. грн. У зв'язку з цим, перевага надається комбінованому методу прокладання трубопроводів.

Визначення заходів з інтенсифікацій роботи муніципальної системи водовідведення здійснюємо за допомогою комплексної моделі оцінювання її екологічної безпеки до отримання значення «Екологічно безпечна» по кожній підсистемі [231] (рис. 4.17) .

Таким чином, окрім будівництва нового напірного трубопроводу і реконструкції існуючої КНС, до першочергових з забезпечення заходів по цьому населеному пункту слід також віднести відновлення існуючих мереж водовідведення, для чого потрібно попередньо здійснити їх паспортизацію.



Рис. 4.18. Розробка заходів на підставі комплексної моделі екологічної оцінки
«Муніципальна система водовідведення»

Планові заходи включають комплексний підхід до вирішення екологічних проблем та покращення функціонування системи водовідведення, а саме: рекультивацію територій, забруднених стічними водами, шляхом проведення детального аналізу забруднених ділянок, розробки техніко-економічного обґрунтування та проєктної документації, залучення інвестиційних ресурсів, виконання відновлювальних робіт та запровадження постійного екологічного моніторингу; підвищення кваліфікаційного рівня персоналу через організацію навчальних програм та тренінгів; активізацію громадського контролю шляхом залучення громадськості до моніторингу роботи системи; впровадження енергоефективних технологій з використанням відновлюваних джерел енергії на каналізаційних насосних станціях; повне охоплення централізованою системою побутової каналізації територій багатоповерхової та садибної забудови;

будівництво нових каналізаційних насосних станцій в нижчих точках рельєфу з подальшим водовідведенням на очисні споруди області .

Висновки до розділу 4:

1. Експрес-моніторинг стану екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України виявив значне погіршення їх функціонування в умовах десятирічного збройного конфлікту. Аналіз показав, що руйнування та деградація інфраструктури призвели до зростання ризику екологічної небезпеки. Десятирічний військові дії в Україні спровокували суттєве зростання екологічних ризиків у дев'яти областях, тоді як у п'яти областях ситуація майже не змінилася. Попри деяке поліпшення в інших регіонах, загальний стан систем водовідведення залишається критичним, оскільки лише одна область демонструє низький рівень екологічної небезпеки. З метою запобігання екологічній катастрофі, необхідно негайно впровадити комплекс першочергових та планових заходів, спрямованих на відновлення та модернізацію інфраструктури водовідведення.
2. Застосування балансово-аналітичного методу для кількісної оцінки додаткового припливу та ексфільтрації в муніципальних системах водовідведення дозволило розробити математичну модель, яка забезпечує науково обґрунтоване прогнозування загального обсягу водовідведення з урахуванням поточного стану мереж водопостачання та водовідведення. На основі отриманих прогнозів розробити комплексні заходи з інтенсифікації роботи систем, спрямовані на підвищення їх екологічної безпеки, що дозволяє оптимізувати управління ресурсами та мінімізувати негативний вплив на довкілля.
3. Результати комплексної оцінки муніципальної системи водовідведення в сільській місцевості виявили її екологічно небезпечний стан, що

призводить до систематичного пошкодження екосистеми та завдає щорічних збитків навколишньому середовищу в розмірі 30,8 млн грн. Для вирішення цієї проблеми, згідно з авторською методикою, було оцінено дві альтернативи, серед яких рекомендовано підключення до централізованої системи водовідведення з будівництвом нового напірного колектору. Економічний аналіз показав, що проєкт має короткий строк окупності (близько 1 року 5 місяців) та визнаний інвестиційно привабливим, що підтверджує його доцільність як з економічної, так і з екологічної точок зору.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У роботі вирішено актуальну для України задачу розроблення методичних та прикладних положень комплексного оцінювання та моніторингу впливу на довкілля муніципальних систем водовідведення з метою забезпечення їх екологічної безпеки, які спираються на запропоновані комплексну модель "Система муніципального водовідведення", метод проведення експрес-моніторингу екологічної безпеки роботи муніципальних систем водовідведення України та еколого-економічне обґрунтування.

2. Екологічна безпека систем водовідведення в Україні критично нестабільна через глобальні екологічні зміни, системні недоліки та наслідки війни. Збитки від руйнування інфраструктури станом на початок 2024 року склали \$3,318 млрд, обсяг скинутих забруднених стічних вод у 2023 р. сягав 375 млн м³, що призводить до деградації екосистем. Літературний огляд показав, що проблема екологічної безпеки окремих елементів систем водовідведення детально досліджується науковцями, проте відсутній цілісний системний підхід до оцінки екологічної безпеки всієї системи.

3. Запропонована модель "Система муніципального водовідведення" комплексно оцінює екологічний стан систем водовідведення та сприяє інтенсифікації їх роботи. Модель охоплює 3 підсистеми та 9 блоків. Вона базується на ієрархічній логіко-математичній побудові, класифікуючи стан системи за кількісними та якісними показниками: експлуатаційними, біологічними та хімічними. Узагальнений критерій екологічної безпеки дозволяє оцінити стан системи водовідведення в цілому: $ES_{MWWs} < 0$ – екологічно небезпечна система; $1 > ES_{MWWs} \geq 0$ – умовно екологічно безпечна система; $ES_{MWWs} = 1$ - екологічно безпечна система. Модель універсальна, адаптується до різних муніципальних систем і може бути інтегрована в цифрові міста для

моніторингу в реальному часі. У майбутньому, з розвитком штучного інтелекту, модель дозволить автоматично аналізувати дані та прогнозувати тенденції, мінімізуючи негативний вплив на довкілля та забезпечуючи сталий розвиток міст. Концепцію оцінювання забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення інтегровано у діяльність ТОВ «ТЕХДАР».

4. Для забезпечення екологічної безпеки та сталого функціонування муніципальних систем водовідведення, особливо в умовах воєнних дій, запропоновано метод експрес-моніторингу, що інтегрує інженерно-екологічний аналіз, економічне моделювання та математичні інструменти. Категоризація систем (I-IV категорії) дозволяє розробити диференційовані стратегії реагування, використовуючи експрес-моніторинг на основі 9-ти індикаторів для визначення рівня екологічного ризику (низький $[0-0,33]$, середній $(0,33; 0,67]$, високий $(0,67-1]$) та оперативного виявлення змін. Аналіз інфільтрації/ексфільтрації та метод TOPSIS забезпечують кількісну оцінку втрат і раціональний вибір рішень для зменшення антропогенного навантаження на екосистеми. Еколого-економічне обґрунтування оптимізації роботи систем водовідведення в умовах експлуатації поєднує інженерно-екологічний аналіз з економічним моделюванням, мінімізує ризики та оптимізує фінансові рішення, забезпечуючи науково обґрунтовану основу для оптимальних рішень та сприяючи сталому розвитку. Запропонований метод впроваджено у діяльність ТОВ «БВК «ЕЛІТ-ПРОЕКТБУД».

5. У воєнний час, ретроспективний експрес-моніторинг екологічної безпеки систем водовідведення України за останнє десятиліття виявив критичну ситуацію:

- у 2013 році 67% муніципальних систем водовідведення мали високий ризик екологічної небезпеки (більше 0,67), а до 2023 року ситуація погіршилася в 9 областях, де екологічний ризик суттєво підвищився, і лише 1 область демонструє низький показник ризику;

- подальше комплексне оцінювання дослідження муніципальної системи водовідведення малого населеного пункту на півдні Київської області виявило її екологічно небезпечний стан, обумовлений насамперед значним фізичним зношенням інфраструктури та несанкціонованим скидом неочищених стічних вод у межах санітарно-захисної зони. Це призвело до забруднення біля 0,6 га ґрунтів із загальним збитком біля 462,335 млн грн. та перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі. Для вирішення проблеми розглянуто 2 альтернативи, та рекомендовано влаштування централізованої системи водовідведення з будівництвом нового напірного трубопроводу для відведення стоків на муніципальні очисні споруди з терміном окупності 1 рік 5 місяців. Загальний еколого-економічний ефект від впровадження заходів вже на другому році експлуатації систем складає 11,8 млн. грн. Результати дослідження інтегровані у план заходів на 2024-2027 роки з реалізації Стратегії розвитку Гірської сільської ради Бориспільського району Київської області до 2027 року, а саме до оперативної цілі В.3 «Розвиток систем водопостачання та водовідведення, забезпечення мешканців громади якісною питною водою».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сахновська В., Ткаченко Т. Забезпечення екологічної безпеки систем водовідведення під час бойових дій. *Екологічні науки*. 2024. № 5 (56). С. 105–109. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.15> (дата звернення: 12.03.2025).
2. Про ратифікацію Рамкової конвенції ООН про зміну клімату : Закон України від 29.10.1996 № 435/96-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435/96-вр#Text> (дата звернення: 10.03.2025).
3. Паризька угода : Угода Орг. Об'єдн. Націй від 12.12.2015 : станом на 14 лип. 2016 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161#Text (дата звернення: 10.03.2025).
4. Кіотський протокол до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату (укр/рос): Протокол Орг. Об'єдн. Націй від 11.12.1997 : станом на 17 листоп. 2006 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_801#Text (дата звернення: 10.03.2025).
5. WHO/UNICEF Joint Monitoring Program for Water Supply, Sanitation and Hygiene (JMP) – Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2022: Special focus on gender. *UN-Water*. URL: <https://www.unwater.org/publications/who/unicef-joint-monitoring-program-update-report-2023> (date of access: 09.03.2025).
6. Global burden of disease collaborative network. Global burden of disease study 2021 (GBD 2021). Seattle, United States: Institute for health metrics and evaluation (IHME), 2024. *Institute for Health Metrics and Evaluation*. URL: <https://vizhub.healthdata.org/gbd-results/> (date of access: 10.03.2025).

7. Global indicator framework for the sustainable development goals and targets of the 2030 agenda for sustainable development. *UNSD - Welcome to UNSD*. URL: https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework%20after%202023%20refinement_Eng.pdf (date of access: 10.03.2025).

8. United nations human settlements programme, World health organization and United nations statistics division – processed by our world in data. *Our World in Data*. URL: <https://ourworldindata.org/sdgs/clean-water-sanitation#target-6-2-end-open-defecation-and-provide-access-to-sanitation-and-hygiene> (date of access: 10.03.2025).

9. Про ратифікацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: Закон України від 16.09.2014 № 1678-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1678-18#Text> (дата звернення: 10.03.2025).

10. Директива Ради 91/271/ЄЕС "Про очистку міських стічних вод" від 21 травня 1991 року (укр/рос): Директива Європ. екон. співтовариства від 21.05.1991 № 91/271/ЄЕС. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_911#Text (дата звернення: 05.02.2025).

11. Про приєднання України до Конвенції про охорону та використання трансграничних водотоків та міжнародних озер: Закон України від 01.07.1999 № 801-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/801-14#Text> (дата звернення: 10.03.2025).

12. Конституція України: Офіц. вид. Київ: Парлам. вид-во, 2001. 92 с.

13. Про національну безпеку України: Закон України від 21.06.2018 № 2469-VIII: станом на 9 серп. 2024 р.

URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text> (дата звернення: 10.03.2025).

14. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 вересня 2020 року "Про Стратегію національної безпеки України": Указ Президента

України від 14.09.2020 № 392/2020 : станом на 7 січ. 2025 р.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020#Text> (дата звернення: 10.03.2025).

15. Водний кодекс України: Кодекс України від 06.06.1995 № 213/95-ВР : станом на 15 листоп. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр#Text> (дата звернення: 05.02.2025).

16. Про водовідведення та очищення стічних вод: Закон України від 12.01.2023 № 2887-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-20#Text> (дата звернення: 23.10.2024).

17. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 26.06.91 № 1268-XII. Відомості Верховної Ради України. 1991. № 41. ст.546 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення 11.05.2024 р.)

18. Про житлово-комунальні послуги: Закон України від 09.11.2017 № 2189-VIII : станом на 9 лип. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2189-19#Text> (дата звернення: 28.03.2025).

19. ДБН В.2.5-75:2013.34. Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування із зміною № 1 : Держ. буд. норми України від 01.01.2014 № ДБН В.2.5-75:2013 : станом на 2 січ. 2019 р. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3200391384846566485?doc_type=2 (дата звернення: 01.02.2025).

20. Про затвердження Правил приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення та Порядку визначення розміру плати, що справляється за понаднормативні скиди стічних вод до систем централізованого водовідведення: Наказ М-ва регіон. розвитку, буд-ва та житлово-комун. госп-ва України від 01.12.2017 № 316 : станом на 23 лют. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#Text> (дата звернення: 07.01.2025).

21. Про затвердження Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами: Постанова Каб. Міністрів України від 25.03.1999 № 465 : станом на 30 жовт. 2013 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/465-99-п#Text> (дата звернення: 05.02.2025).

22. Про затвердження Порядку проведення оцінки стану водовідведення та очищення стічних вод: Постанова Каб. Міністрів України від 14.05.2024 № 548. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/548-2024-п#Text> (дата звернення: 10.03.2025).

23. Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року: Розпорядж. Каб. Міністрів України від 09.12.2022 № 1134-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-р#Text> (дата звернення: 28.11.2024).

24. Євстігнєєв А. Правове регулювання пріоритету питного водопостачання в Україні. *Форум права*. 2011. № 1. С. 335–340.

25. Про затвердження Порядку розроблення нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти та перелік забруднюючих речовин, скидання яких у водні об'єкти нормується: Постанова Каб. Міністрів України від 11.09.1996 № 1100 : станом на 17 верес. 2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1100-96-п#Text> (дата звернення: 10.03.2025).

26. Про затвердження Порядку видачі дозволів на спеціальне водокористування та внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 10 серпня 1992 р. N 459: Постанова Каб. Міністрів України від 13.03.2002 № 321: станом на 2 квіт. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/321-2002-п#Text> (дата звернення: 10.03.2025).

27. Протокол про воду та здоров'я до Конвенції про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер 1992 року (укр/рос):

Протокол Орг. Об'єдн. Націй від 17.06.1999 : станом на 9 лип. 2003 р.
URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_030#Text (дата звернення: 10.03.2025).

28. Додатковий протокол до Женевських конвенцій від 12 серпня 1949 року, що стосується захисту жертв міжнародних збройних конфліктів (Протокол I) з поправками від 30.11.93: Протокол Орг. Об'єдн. Націй від 30.11.1993.
URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_911#Text (дата звернення: 31.03.2025).

29. Додатковий протокол до Женевських конвенцій від 12 серпня 1949 року, що стосується захисту жертв збройних конфліктів неміжнародного характеру (Протокол II), від 8 червня 1977 року (укр/рос) : Протокол Орг. Об'єдн. Націй від 08.06.1977: станом на 8 груд. 2005 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_200#Text (дата звернення: 31.03.2025).

30. Nasonkina N., Sakhnovskaya V. System analysis of evaluation of ecological safety of Water supply and water disposal. *Industrial and civil construction*. 2009. Vol. 5, no. 3. P. 113–123.

31. Ткаченко Т., Сахновська В. Забезпечення екологічної безпеки систем водовідведення під час військових дій. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»)* : Матеріали міжнар. конф., м. Київ, 16–17 квіт. 2024 р. Київ, 2024. С. 303–305. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovuj-4.pdf (дата звернення: 15.04.2025).

32. Михайловська Ю., Сахновська В. Надійність, як критерій екологічної безпеки мереж водопостачання та водовідведення. *Міжнародний форум «Безпечна, комфортна, спроможна, територіальна громада»*: Матеріали міжнар. конф., м. Дніпро, 11–13 жовт. 2023 р. Дніпро, 2023. С. 36–37. URL: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/19824> (дата звернення: 15.04.2025).

33. Сахновська В. Екологічна безпека та стійкі системи водовідведення під час надзвичайних ситуацій в умовах воєнного стану. *Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, реагування та ліквідація їх наслідків*: Матеріали круглого столу (вебінару)., м. Харків, 23 лют. 2023 р. Харків, 2023. С. 72–73.

34. Сахновська В., Михайловський О. Забезпечення техногенної та екологічної безпеки об'єктів критичної інфраструктури під час військових дій на прикладі систем водопостачання та водовідведення. *Енергоощадні машини і технології*: Матеріали V Міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 22–24 трав. 2024 р. Київ, 2024. С. 199–201

35. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на початок 2024 року. Київ, 2024. 39 с. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf (дата звернення: 10.03.2025).

36. Global Occurrence and Emission of Rotaviruses to Surface Waters / N. M. Kiulia et al. *Pathogens*. 2015. Vol. 4, no. 2. P. 229–255. URL: <https://doi.org/10.3390/pathogens4020229> (date of access: 17.04.2025)

37. Treated and highly diluted, but wastewater still impacts diversity and energy fluxes of freshwater food webs / I. de Guzman et al. *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 345. 118510. P.1-9 URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118510> (date of access: 17.04.2025)

38. Contaminants of emerging concern in a large temperate estuary / J. P. Meador et al. *Environmental Pollution*. 2016. Vol. 213. P. 254–267. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.088> (date of access: 17.04.2025).

39. Wear S. L., Thurber R. V. Sewage pollution: mitigation is key for coral reef stewardship. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2015. Vol. 1355, no. 1. P. 15–30.

40. Manzetti S., van der Spoel D. Impact of sludge deposition on biodiversity. *Ecotoxicology*. 2015. Vol. 24, no. 9. P. 1799–1814. URL: <https://doi.org/10.1007/s10646-015-1530-9> (date of access: 17.04.2025).

41. Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: An updated analysis with a focus on low- and middle-income countries / A. Prüss-Ustün et al. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2019. Vol. 222, no. 5. P. 765–777. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.05.004> (date of access: 17.04.2025).

42. Metal concentrations in surface water and sediments from Pardo River, Brazil: Human health risks / R. I. S. Alves et al. *Environmental Research*. 2014. Vol. 133. P. 149–155. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.05.012> (date of access: 17.04.2025).

43. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2023 р. Київ : М-во розвитку громад та території України, 2024. 438 с. URL: <https://mtu.gov.ua/content/nacionalna-dopovid-pro-yakist-pitnoi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostachannya-v-ukraini.html> (дата звернення: 10.03.2025).

44. Водні ресурси. ВУЕ.

URL: https://vue.gov.ua/Водні_ресурси#:~:text=Максимуму%20досягнуто%201990,%20коли%20із,порівняно%20з%20«рекордним»%201990. (дата звернення: 10.03.2025).

45. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2011 році. Київ: М-во екології та природ. ресурсів України, 2011. 258 с. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/natsionalni-dopovid-pro-stan-navkolyshnogo-pryrodnogo-seredovyshha-v-ukrayini/> (дата звернення: 10.03.2025).

46. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2013 р. Київ : М-во регіонал. розвитку, буд-ва та житлово-комун. госп-ва України, 2014. 454 с. URL: <https://mtu.gov.ua/content/nacionalna-dopovid-pro-yakist-pitnoi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostachannya-v-ukraini.html> (дата звернення: 04.03.2025).

47. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. Київ: М-во зах. довкілля та природ. ресурсів України, 2022. 514 с. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoring/natsionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-prirodnogo-seredovyssha-v-ukrayini/> (дата звернення: 10.03.2025).

48. Ensure access to water and sanitation for all. Our World in Data. URL: <https://ourworldindata.org/sdgs/clean-water-sanitation> (date of access: 10.03.2025).

49. Sewers: rehabilitation and new construction: repair and renovation / ed. by G. F. Read., I. G. Vickridge. Elsevier. Butterworth-Heinemann, 1997. 414 p. URL: [http://www.abfaeng.ir/Content/media/article/abfaeng.ir%20\[Geoffrey_F_Read\]_Sewers_-_Rehabilitation_and_New_\(b-ok.cc\)_195.pdf](http://www.abfaeng.ir/Content/media/article/abfaeng.ir%20[Geoffrey_F_Read]_Sewers_-_Rehabilitation_and_New_(b-ok.cc)_195.pdf) (date of access: 10.03.2025)

50. Defects in sewer pipe joints and water tests / Y. Hau et al. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*. 2005. Vol. 158, no. 3. P. 119–125. URL: <https://doi.org/10.1680/wama.2005.158.3.119> (date of access: 10.03.2025).

51. Насонкіна Н., Сахновська В., Пашков В. Аналіз стану та критерії безпеки мереж водовідведення. *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник*. 2010. № 37. С. 349–358.

52. Cleaner Production Strategy As A Supporting Analysis of Environmental Impact on Drinking Water Treatment Process Using Life Cycle Assessment Approach. *2nd International Conference Eco-Innovation in Science, Engineering, and Technology*. 2021. URL: <https://doi.org/10.11594/nstp.2021.1427> (date of access: 10.03.2025).

53. Hajibabaei M., Nazif S., Tavanaei Sereshgi F. 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> (date of access: 10.03.2025).

54. Tytła M. Assessment of Heavy Metal Pollution and Potential Ecological Risk in Sewage Sludge from Municipal Wastewater Treatment Plant Located in the Most Industrialized Region in Poland—Case Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Vol. 16, no. 13. P. 2430. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph16132430> (date of access: 10.03.2025).

55. Assessment of Heavy Metal Pollution and Potential Ecological Risk in Soils of Tianjin Sewage Irrigation Region, North China / B. Hu et al. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*. 2017. Vol. 07, no. 01. URL: <https://doi.org/10.4172/2161-0525.1000425> (date of access: 10.03.2025).

56. Correlation Analysis Between GDP, Sewage and Heavy Metal Pollution, and Human Health in the Past 14 years—A Case Study of Gansu Province / B. Yue et al. *Environmental Pollution Governance and Ecological Remediation Technology*. Cham, 2023. P. 33–42. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-25284-6_4 (date of access: 10.03.2025).

57. Battersby S. Public health and environmental risks from sewage pollution of the environment. *Sewerage and Sewage as an Environmental Health Issue*. London, 2023. P. 30–41. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003375647-2> (date of access: 10.03.2025).

58. Metwally K., Hussein M., Akl A. Structural deterioration of pipelines and its impact on ground surface. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2009. Vol. 56. P. 1–20. URL: https://www.researchgate.net/publication/273763678_Structural_deterioration_of_pipelines_and_its_impact_on_ground_surface (date of access: 04.04.2024).

59. Zamanian S., Shafieezadeh A. A high-fidelity computational investigation of buried concrete sewer pipes exposed to truckloads and corrosion deterioration. *Engineering Structures*. 2020. Vol. 221. P. 111043. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111043> (date of access: 10.03.2025).
60. Evaluation of Technical Condition of Water Supply Networks on Undermined Territories / V. Maslak et al. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. P. 980–989. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.206> (date of access: 12.03.2025)
61. World Commission on Environment and Development. Our common future. (s.n.). URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> (date of access: 31.03.2025).
62. Commoner B. The closing circle: Nature, man, & technology. New York : Bantam Books, 1974. 343 p.
63. United Nations Environment Programme. UNEP in the Post-2015 Era: Delivering on the Environmental Dimension of the 2030 Agenda for Sustainable Development. *United Nations Environment Programme*, 2016. URL: <https://digitallibrary.un.org/record/3968158?v=pdf&ln=ru> (date of access: 03.02.2025).
64. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. Climate Change 2023: Synthesis Report / ed. by H. Lee, J. Romero. Geneva, Switzerland, 2023. P. 1–34. URL: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001> (date of access: 03.02.2025).
65. Ліхно І., Нечипорук М.. Екологічна безпека держави: економічний аспект. *Економіка України*. 2010. № 8. С. 53-62.
66. Качинський А., Єгоров Ю. Екологічна безпека України: системні принципи та методи її формалізації. *Національна безпека: український вимір*. 2009. Т. 4, № 4. С. 71–79.

67. Public EM-DAT platform. Public EM-DAT platform. URL: <https://public.emdat.be/> (date of access: 23.10.2024).
68. Brawnill J. The security implications of global environmental change. In *Handbook of Environmental Change and Peace*. Edward Elgar Publishing. 2017. pp. 21-36.
69. Stern N. H. A Blueprint for a Safer Planet. London: Random House Publishing Group Nordhaus, William D. 2019. "Climate change: The ultimate challenge for economics". *American Economic Review* 109 (6): 1991-2014., 2009.
70. Nordhaus, William. 2019. "Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics." *American Economic Review*, 109 (6): 1991–2014. DOI: 10.1257/aer.109.6.1991 (date of access: 23.01.2025)
71. Tol, Richard S J. 2009. "The Economic Effects of Climate Change." *Journal of Economic Perspectives*, 23 (2): 29–51. DOI: 10.1257/jep.23.2.29 (date of access: 23.01.2025)
72. Thomas Sterner, Jens Ewald, Erik Sterner, Economists and the climate, *Journal of Behavioral and Experimental Economics*, Volume 109, 2024, 102158, ISSN 2214-8043, <https://doi.org/10.1016/j.socec.2023.102158> (date of access: 23.01.2025)
73. Mandelson, M. The Economics of Climate Change: The Stern Review. HM Treasury. 2007. URL: https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100407172811/http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm (date of access: 23.01.2025)
74. Huang W.-L., Fu Y.-K. The Study on the Relationship between the Environmental and Financial Performances of Corporates Which Have Adopting the System of Environmental Accounting in Taiwan. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 81. P. 01012. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198101012> (date of access: 15.05.2024).

75. Magnusson T., Andersson H., Ottosson M. Industrial ecology and the boundaries of the manufacturing firm. *Journal of Industrial Ecology*. 2019. Vol. 23, no. 5. P. 1211–1225. URL: <https://doi.org/10.1111/jiec.12864> (date of access: 15.05.2024).
76. Green Finance, International Technology Spillover and Green Technology Innovation: A New Perspective of Regional Innovation Capability / P. Cheng et al. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, no. 2. P. 1112. URL: <https://doi.org/10.3390/su15021112> (date of access: 15.05.2024).
77. Лисиченко Г.В., Хміль Г. А., Барбашев С. В. Методологія оцінювання екологічних ризиків. Одеса. Астропринт. 2011. 368 с.
78. Randmer A. Environmental initiatives to improve the quality of the local environment. *Iso 14001*. 2017. P. 50–56. URL: <https://doi.org/10.4324/9781351282765-5> (date of access: 25.10.2024).
79. Bekkering M., McCallum D. ISO 14001: a tool for municipal government to achieve sustainability. *ISO 14001*. 2017. P. 308–316. URL: <https://doi.org/10.4324/9781351282765-28> (date of access: 25.10.2024).
80. Switzer J., Ehrenfeld J., Milledge V. ISO 14001 and environmental performance. *ISO 14001*. 2017. P. 262–272. URL: <https://doi.org/10.4324/9781351282765-24> (date of access: 25.10.2024).
81. Tack J.-P. Environmental management systems and stakeholders. *Iso 14001*. 2017. P. 210–219. URL: <https://doi.org/10.4324/9781351282765-19> (date of access: 25.10.2024).
82. Toffel M. W. Anticipating greener supply chain demands. *Iso 14001*. 2017. P. 182–199. URL: <https://doi.org/10.4324/9781351282765-17> (date of access: 25.10.2024).
83. Serafin R., Tatum G., Heydel W. ISO 14001 as an opportunity for engaging smes in Poland's environmental reforms. *ISO 14001*. 2017. P. 150–161. URL: <https://doi.org/10.4324/9781351282765-14> (date of access: 25.10.2024).

84. Fresner J. Setting up effective environmental management systems based on the concept of cleaner production. ISO 14001. 2017. P. 127–137. URL: <https://doi.org/10.4324/9781351282765-12> (date of access: 25.10.2024).

85. Cagno E., Trucco P. Integration of business strategy in establishing significant environmental aspects*. ISO 14001. 2017. P. 111–126. URL: <https://doi.org/10.4324/9781351282765-11> (date of access: 25.10.2024).

86. Ciravegna Martins da Fonseca L. M. ISO 14001:2015: an improved tool for sustainability. *Journal of industrial engineering and management*. 2015. Vol. 8, no. 1. URL: <https://doi.org/10.3926/jiem.1298> (date of access: 25.10.2024).

87. Managing risks to Canada's boreal zone: transdisciplinary thinking in pursuit of sustainability1 / I. F. Creed et al. *Environmental Reviews*. 2019. Vol. 27, no. 3. P. 407–418. URL: <https://doi.org/10.1139/er-2018-0070> (date of access: 25.10.2024).

88. Widiанти T., Firdaus H., Rakhmawati T. Mapping the landscape: a bibliometric analysis of ISO 31000. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1108/ijqrm-09-2023-0287> (date of access: 25.10.2024).

89. Yarmoliuk A. Theoretical principles of the development of the risk management system at the enterprises of the forestry complex. *Ukrainian journal of applied economics and technology*. 2024. Vol. 2024, no. 3. P. 204–207. URL: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-3-35> (date of access: 25.10.2024).

90. Smirnova E., Larionov A., Shkarovskiy A. Risk management model in iso-standards as the implementation of environmental safety for housing construction. *Rocznik ochrona środowiska*. 2023. Vol. 25. P. 282–288. URL: <https://doi.org/10.54740/ros.2023.030> (date of access: 25.10.2024).

91. Study on risk assessment of underground natural gas storage development. *Foreign language science and technology journal database engineering technology*. 2021. URL: <https://doi.org/10.47939/et.v2i11.333> (date of access: 25.10.2024).

92. ДСТУ ISO 14001:2015 Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001:2015, IDT). На заміну ДСТУ ISO 14001:2006; чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64015 (дата звернення: 25.10.2024).

93. ДСТУ ISO 31000:2018 менеджмент ризиків. На заміну ДСТУ ISO 31000:2014; чинний від 2019-01-01. Вид. офіц. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80322. (дата звернення: 25.10.2024).

94. Дрозд Г. М., Калініна І. П. Екологічна безпека підприємства: зміст, ознаки, складові. *Економічний вісник НТУУ «КПІ»*. №5. С. 115-119.

95. Шульга М. В. Управління безпекою життєдіяльності підприємства. Київ: *Центр учбової літератури*. 2015. 255 с.

96. Журба, М. І., Крючек, О. М. (2016). Процесний підхід до забезпечення екологічної безпеки підприємства. *Економічний часопис-XXI*. 2016. №1-2(1), С.38-41.

97. Кобильська, М. М., Ігнатенко, В. В. Результативний підхід до визначення екологічної безпеки підприємств. *Економіка та управління*. 2017. № 4. С. 9-16.

98. Екологічна безпека та економіка: монографія / М.І. Сокур. В. Білетський та інш. Кременчук. ПП Щербатих О.В. 2020. 240 с.

URL:https://www.researchgate.net/publication/339847190_Ekologicna_bezpeka_ta_ekonomika_monografia_MI_Sokur_VM_Smandij_EK_Babec_VS_Bileckij_IE_Melnikova_OV_Harlamova_LS_Seludcenko_-_Kremencuk_PP_Serbatih_OV_2020_-_240_s (дата звернення 01.05.2024)

99. Бойко Т. В., Абрамова А. О. Оцінювання екологічних ризиків від впливів на навколишнє середовище техногенних об'єктів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2015. № 4. С. 31-35. URL:

http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi_2015_4_7 (дата звернення 15.05.2024)

100. Василюшин Х.Р. Науково-методичні засади оцінювання екологічного ризику в Україні в контексті реалізації екологічного страхування. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.10. С. 355-363. URL:

http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnltu_2013_23.10_58 (дата звернення 15.05.2024)

101. Дрозд Г.Я. Необхідність підвищення рівня надійності каналізаційних мереж України. *Будівництво України*. 1997. №1. С. 10–13.

102. Stanaszek-Tomal E., Fiertak M. Biological Corrosion in the Sewage System and the Sewage Treatment Plant. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 161. P. 116–120. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.507> (дата звернення 15.05.2024).

103. Підвищення екологічної безпеки експлуатації споруд водовідведення / В. Юрченко та ін. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. 2017. С. 395–405. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6515> (дата звернення: 25.10.2024).

104. Iurchenko V., Lebedeva E., Brigada E. Environmental safety of the sewage disposal by the sewerage pipelines. *Procedia engineering*. 2016. Vol. 134. P. 181–186. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.058> (date of access: 25.10.2024).

105. Ситніченко М.В. Вдосконалення нормативних параметрів проектування каналізаційних мереж: *Автореф. дис... канд. техн. наук*: Рівнен. держ. техн. Ун-т. Рівне. 2001. 19 с.

106. Каналізаційні тунелі Харкова: QUO VADIS?: монографія/ Під заг. ред. Гончаренко Д.Ф. *Харків: Раритети України*. 2018. 232 с.

107. Волков В. М., Гончаренко Д. Ф., Алейнікова А. І., Зубко Г. Г та інші, всього 5 осіб. Сучасний підхід до дослідження біогенної корозії каналізаційних колекторів. *Харків: Раритети України*, 2017. 320 с.
108. Забелін С. А., Алейнікова А. І. Сучасний підхід до дослідження біогенної корозії каналізаційних колекторів. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2017. № 172. С. 20–36.
109. Алейнікова А.І., Лебедєва О.С., Ємельянова Д. І. Застосування методології екологічного ризику для оцінки рівня екологічної небезпеки для навколишнього середовища та здоров'я населення шахт каналізаційних колекторів. *Науковий вісник будівництва*. 2021. №3(105). С. 65-74 URL: <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2021-105-3-65-74> (дата звернення 19.03.2025).
110. Bio-corrosion in concrete sewer systems: Mechanisms and mitigation strategies / S. K. Pramanik et al. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 921. 171231. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171231> (date of access: 25.01.2025).
111. Ремонт і відновлення каналізаційних колекторів відкритим способом: Монографія / Д. Ф. Гончаренко та інші.; ред. Д. Ф. Гончаренко. Харків: *Раритети України*, 2022. 144 с.
112. Comparison of Trenchless and Excavation Technologies in the Restoration of a Sewage Network and Their Carbon Footprints / T. Chorazy et al. *Resources*. 2024. Vol. 13, no. 1. P. 12. URL: <https://doi.org/10.3390/resources13010012> (date of access: 15.05.2024).
113. Biocorrosion of Concrete Sewers in Greece: Current Practices and Challenges / G. Fytianos et al. 2020. Vol. 12. URL: <https://doi.org/10.3390/su12072638>. (date of access: 20.03.2023)

114. Królikowska J. Application of PHA method for assessing risk of failure on the example of sewage system in the city of Krakow. *Rocznik Ochrona Srodowiska*. 2011. Vol. 13. P. 693–710.

115. Analysis of Estimation of Soundness and Deterioration Factors of Sewage Pipes Using Machine Learning / T. Suwa et al. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, no. 22. P. 16081. URL: <https://doi.org/10.3390/su152216081> (date of access: 15.05.2024).

116. Weerakoon W. M. T. D. N., Jayathilaka N., Seneviratne K. N. Water quality and wastewater treatment for human health and environmental safety. *Metagenomics to Bioremediation*. 2023. P. 357–378. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-96113-4.00031-7> (date of access: 15.05.2024).

117. Establishing Environmental Standardization of Wastewater Composition Based on Environmental Risk Assessment / O. Proskurnin et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23, no. 11. P. 139–146. URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/153602> (date of access: 15.05.2024).

118. Environmental impact of municipal wastewater management based on analysis of life cycle assessment in Denpasar City / I. W. K. Suryawan et al. *Desalination and water treatment*. 2021. Vol. 244. P. 55–62. URL: <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27957> (date of access: 25.10.2024).

119. Łój-Pilch M., Zakrzewska A. Analysis of risk assessment in a municipal wastewater treatment plant located in upper silesia. *Water*. 2019. Vol. 12, no. 1. P. 23. URL: <https://doi.org/10.3390/w12010023> (date of access: 25.10.2024).

120. Shinta F. R., Karnaningroem N., Mardyanto M. A. Risk management of wastewater treatment in the wastewater treatment plant of PT. X. *IPTEK journal of proceedings series*. 2019. No. 5. P. 140. URL: <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2019i5.6292> (date of access: 25.10.2024).

121. Failure mode and effects analysis of common effluent treatment plants of humid sub-tropical regions using fuzzy based MCDM methods / S. Kumari et al.

Engineering failure analysis. 2022. P. 107010. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.107010> (date of access: 25.10.2024).

122. A reliable risk analysis approach using an extension of best-worst method based on democratic-autocratic decision-making style / M. Yazdi et al. *Journal of cleaner production*. 2020. Vol. 256. P. 120418. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120418> (date of access: 25.10.2024).

123. Risk assessment for gas chlorination units of water and wastewater treatment with FMEA method / H. Mohsenzade et al. *Journal of water and wastewater science and engineering*. 2020. Vol. 5, no. 4. P. 31–40. URL: <https://doi.org/10.22112/jwwse.2020.221545.1193>.

124. Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis. [s.l.]: United States, Department of Defense, 1980.

125. Research on the safety evaluation method for quayside container cranes based on the best–worst method–pythagorean fuzzy VIKOR approach / J. Yu et al. *Applied sciences*. 2024. Vol. 14, no. 3. P. 1312. URL: <https://doi.org/10.3390/app14031312> (date of access: 25.10.2024).

126. A fuzzy extension of simplified best-worst method (F-SBWM) and its applications to decision-making problems / M. Amiri et al. *Symmetry*. 2022. Vol. 15, no. 1. P. 81. URL: <https://doi.org/10.3390/sym15010081> (date of access: 25.10.2024).

127. Ali A., Rashid T. Hesitant fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *International journal of intelligent systems*. 2019. Vol. 34, no. 8. P. 1953–1967. URL: <https://doi.org/10.1002/int.22131> (date of access: 25.10.2024).

128. Robust optimization of best-worst multi-criteria decision-making method / D. Qu et al. *Journal of web engineering*. 2020. URL: <https://doi.org/10.13052/jwe1540-9589.19787> (date of access: 25.10.2024).

129. Sadjadi S. J., Karimi M. Best-worst multi-criteria decision-making method: a robust approach. *Decision science letters*. 2018. P. 323–340. URL: <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2018.3.003> (date of access: 25.10.2024).
130. Nguyen H. A new knowledge-based measure for intuitionistic fuzzy sets and its application in multiple attribute group decision making. *Expert systems with applications*. 2015. Vol. 42, no. 22. P. 8766–8774. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.07.030> (date of access: 25.10.2024).
131. Bhardwaj B., Kaur J., Kumar A. A new fuzzy CCR data envelopment analysis model and its application to manufacturing enterprises. *Soft computing applications for group decision-making and consensus modeling*. Cham, 2017. P. 345–368. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-60207-3_21 (date of access: 25.10.2024).
132. Seiti H., Hafezalkotob A. A new risk-based fuzzy cognitive model and its application to decision-making. *Cognitive computation*. 2019. Vol. 12, no. 1. P. 309–326. URL: <https://doi.org/10.1007/s12559-019-09701-8> (date of access: 25.10.2024).
133. Kheybari S., Ishizaka A. The Behavioural Best-Worst Method. *Expert Systems with Applications*. 2022. Vol. 209. 118265. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118265>. (date of access: 25.10.2024).
134. Green credit and enterprise green operation: Based on the perspective of enterprise green transformation / H. Niu et al. *Frontiers in Psychology*. 2022. Vol. 13. URL: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1041798> (date of access: 15.05.2024).
135. Rezaei J. Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*. 2015. Vol. 53. P. 49–57. URL: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009> (date of access: 25.10.2024).
136. Božić V. Fuzzy AHP method. 2023. URL: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13486.48967> (date of access: 25.10.2024).

137. Chakraborty S. TOPSIS and Modified TOPSIS: a comparative analysis. *Decision analytics journal*. 2022. Vol. 2. P. 100021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2021.100021> (date of access: 29.10.2024).

138. High groundwater levels: processes, consequences, and management / B. Becker et al. *WIREs water*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1002/wat2.1605> (date of access: 25.02.2025).

139. Exfiltration and infiltration effect on sewage flow and quality: a case study of Hue, Vietnam / R. Watanabe et al. *Environmental Technology*. 2021. Vol. 42, no. 11. P. 1747–1757. URL: <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1680739> (date of access: 25.02.2025).

140. Foster S., Hirata R., Andreo B. The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection?. *Hydrogeology journal*. 2013. Vol. 21, no. 7. P. 1389–1392. URL: <https://doi.org/10.1007/s10040-013-1019-7> (date of access: 25.02.2025).

141. Impact of on-site wastewater infiltration systems on organic contaminants in groundwater and recipient waters / Q. Gao et al. *Science of the total environment*. 2019. Vol. 651. P. 1670–1679. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.016> (date of access: 25.02.2025).

142. Dilution of sewage: is it, after all, really worth the bother? / G. Dirckx et al. *Journal of hydrology*. 2019. Vol. 571. P. 437–447. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.065> (date of access: 25.02.2025).

143. Ohlin Saletti A. Infiltration and inflow to wastewater sewer systems. Gothenburg, Sweden : Chalmers University Of Technology, 2021. 56 p. URL: http://research.chalmers.se/publication/522159/file/522159_Fulltext.pdf (date of access: 25.02.2025).

144. Exfiltration in sanitary sewer systems in the US / A. Selvakumar et al. *Urban water journal*. 2004. Vol. 1, no. 3. P. 227–234. URL: <https://doi.org/10.1080/15730620410001732017> (date of access: 25.02.2025).
145. Harvey R. R., McBean E. A. Predicting the structural condition of individual sanitary sewer pipes with random forests. *Canadian journal of civil engineering*. 2014. Vol. 41, no. 4. P. 294–303. URL: <https://doi.org/10.1139/cjce-2013-0431> (date of access: 25.02.2025).
146. Climate-related health impact indicators for public health surveillance in a changing climate: a systematic review and local suitability analysis / Y. Palmeiro-Silva et al. *The lancet regional health - Americas*. 2024. Vol. 38. P. 100854. URL: <https://doi.org/10.1016/j.lana.2024.100854> (date of access: 25.02.2025).
147. Sojobi A. O., Zayed T. Impact of sewer overflow on public health: a comprehensive scientometric analysis and systematic review. *Environmental research*. 2022. Vol. 203. P. 111609. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111609> (date of access: 25.02.2025).
148. Tracking diseases from the sewer. EU Science Hub. URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/tracking-diseases-sewer-2025-01-29_en (date of access: 25.02.2025).
149. Seabrook V. 'Shocking' incidents of sewage spewing into gardens and streets - with disease outbreaks 'very possible'. *Sky News*. URL: <https://news.sky.com/story/shocking-incidents-of-sewage-spewing-into-gardens-and-streets-with-disease-outbreaks-very-possible-13094148> (date of access: 25.02.2025).
150. Холера. Що загрожує окупованим територіям України? | INgenius. Медична та наукова платформа. Лекції, статті, зустрічі з успішними особистостями. *INgenius*. URL: <https://ingeniusua.org/articles/kholera-shcho-zahrozhuye-okupovany-m-terytoriyam-ukrayiny> (дата звернення: 25.02.2025).

151. Сотні людей в Ізмаїлі отруїлися через забруднення води у водогоні. У місті режим надзвичайної ситуації. *Texty.org.ua - статті та журналістика даних для людей – Тексти.org.ua*.

URL:https://texty.org.ua/fragments/68480/Sotni_ludej_v_Izmajili_otrujilysa_cher_ez_zabrudnenna-68480/ (дата звернення: 25.02.2025).

152. Towards a better understanding of sewer exfiltration / M. Rutsch et al. *Water research*. 2008. Vol. 42, no. 10-11. P. 2385–2394. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.01.019> (date of access: 25.02.2025).

153. Investigation of sewer exfiltration using integral pumping tests and wastewater indicators / S. Leschik et al. *Journal of contaminant hydrology*. 2009. Vol. 110, no. 3-4. P. 118–129. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2009.10.001> (date of access: 25.02.2025).

154. Staufer P., Scheidegger A., Rieckermann J. Assessing the performance of sewer rehabilitation on the reduction of infiltration and inflow. *Water research*. 2012. Vol. 46, no. 16. P. 5185–5196. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.07.001> (date of access: 25.02.2025).

155. Using distributed temperature sensing (DTS) for locating and characterising infiltration and inflow into foul sewers before, during and after snowmelt period / O. Panasiuk et al. *Water*. 2019. Vol. 11, no. 8. P. 1529. URL: <https://doi.org/10.3390/w11081529> (date of access: 25.02.2025).

156. An effective and comprehensive model for optimal rehabilitation of separate sanitary sewer systems / A. F. Diogo et al. *Science of the total environment*. 2018. Vol. 612. P. 1042–1057. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.315> (date of access: 25.02.2025).

157. Cost effective infiltration and inflow analysis and remediation efforts in Miami-Dade county / P. Davalos et al. *Proceedings of the 91st annual water environment*

federation technical exhibition and conference (WEFTEC). New Orleans, LA, USA, 2018. P. 2994–3023.

158. Metelka T., Laichter T. The role of a system ‘hydrological memory’ in source control strategy evaluation in urban areas. *Dordrecht*, 2001. P. 209–220. URL: https://doi.org/10.1007/978-94-010-0532-6_18(date of access: 25.02.2025).

159. Eiswirth M., Hötzl H. The impact of leaking sewers on urban groundwater. *Groundwater in the urban environment*. 1997. Vol. 1. P. 399–404.

160. Zeydalinejad N., Javadi A. A., Webber J. L. Global perspectives on groundwater infiltration to sewer networks: a threat to urban sustainability. *Water research*. 2024. Vol. 262. P. 122098. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122098> (date of access: 25.02.2025).

161. Karpf C., Krebs P. Quantification of groundwater infiltration and surface water inflows in urban sewer networks based on a multiple model approach. *Water Research*. 2011. Vol. 45, no. 10. P. 3129–3136. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.03.022>. (date of access: 25.02.2025).

162. Lundblad U., Backö J. Undersökningsmetoder för att hitta källorna till tillskottsvatten. *Svenskt Vatten Utveckling*, Svenskt Vatten AB, 2012. 60 p. URL: https://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2012-13.pdf (date of access: 16.04.2023).

163. Lai F.-h., Field R. Usepa research on infiltration/inflow control. *Proceedings of the water environment federation*. 2001. Vol. 2001, no. 2. P. 145–162. URL: <https://doi.org/10.2175/193864701784835925> (date of access: 25.02.2025).

164. Weiß G., Brombach H., Haller B. Infiltration and inflow in combined sewer systems: long-term analysis. *Water science and technology*. 2002. Vol. 45, no. 7. P. 11–19. URL: <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0112> (date of access: 25.02.2025).

165. Franz T. Spatial classification methods for efficient infiltration measurements and transfer of measuring results: doctoral thesis. 2006. URL: <https://tud.qucosa.de/id/qucosa:24942> (date of access: 25.02.2025).

166. Infiltration and Inflow (I/I) to Wastewater Systems in Norway, Sweden, Denmark, and Finland / K. Jenssen Sola et al. *Water* 2018, 2018. Vol. 10, no. 11. 1696. URL: <https://doi.org/10.3390/w10111696> (date of access: 20.03.2024).

167. Mitchell P. S., Stevens P. L., Nazaroff A. Quantifying base infiltration in sewers: a comparison of methods and a simple empirical solution. *Proceedings of the water environment federation*. 2007. Vol. 2007, no. 4. P. 219–238. URL: <https://doi.org/10.2175/193864707787974805> (date of access: 25.02.2025).

168. Assessment and pathway determination for rainfall-derived inflow and infiltration in sanitary systems: a case study / P. Tan et al. *Urban water journal*. 2019. Vol. 16, no. 8. P. 600–607. URL: <https://doi.org/10.1080/1573062x.2019.1700289> (date of access: 25.02.2025).

169. Stormwater infiltration and the ‘urban karst’ – A review / J. Bonneau et al. *Journal of hydrology*. 2017. Vol. 552. P. 141–150. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.043> (date of access: 25.02.2025).

170. Yasuhara M. Changing groundwater balance by leaking water mains and groundwater infiltration to the sewer system in major cities, Japan. *In joint AOGS 1st annual meeting & 2nd APHW conference, singapore*. 2004.

171. Quantification of groundwater recharge in the city of Nottingham, UK / Y. Yang et al. *Environmental geology*. 1999. Vol. 38, no. 3. P. 183–198. URL: <https://doi.org/10.1007/s002540050414> (date of access: 25.02.2025).

172. How much water is stolen by sewers? Estimating watershed-level inflow and infiltration throughout a metropolitan area / J. E. Diem et al. *Journal of hydrology*. 2022. Vol. 614. P. 128–629. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128629> (date of access: 25.02.2025).

173. Beheshti M., Sægrov S., Ugarelli R. Infiltration / inflow assessment and detection in urban sewer system. *VANN*. 01. 2015. P. 24–34. URL:

https://www.researchgate.net/publication/325090081_Infiltration_Inflow_Assessment_and_Detection_in_Urban_Sewer_System (date of access: 25.01.2024)

174. De Bénédictis J., Bertrand-Krajewski J. L. Measurement of infiltration rates in urban sewer systems by use of oxygen isotopes. *Water Science and Technology*. 2005. Vol. 52, no. 3. P. 229–237. URL: <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0080> (date of access: 25.02.2025).

175. Tuccillo M. E. Report on condition assessment technology of wastewater collection systems. Cincinnati, Ohio: National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, *U.S. Environmental Protection Agency*, 2010. 102 p.

176. Rizzo P. Water and wastewater pipe nondestructive evaluation and health monitoring: a review. *Advances in civil engineering*. 2010. Vol. 2010. P. 1–13. URL: <https://doi.org/10.1155/2010/818597> (date of access: 25.02.2025).

177. Assessment technologies for sewer system rehabilitation / R. Wirahadikusumah et al. *Automation in construction*. 1998. Vol. 7, no. 4. P. 259–270. URL: [https://doi.org/10.1016/s0926-5805\(97\)00071-x](https://doi.org/10.1016/s0926-5805(97)00071-x) (date of access: 25.02.2025).

178. Harris R. J., Dobson C. Sewer pipe infiltration assessment: comparison of electro-scan, joint pressure testing, and CCTV inspection. *Pipeline division specialty conference 2006*, Chicago, Illinois, United States. Reston, VA, 2006. URL: [https://doi.org/10.1061/40854\(211\)61](https://doi.org/10.1061/40854(211)61) (date of access: 25.02.2025).

179. Martire C., Muhammad M., Shah B. Mitigation of issues raised during construction of trunk sewer rehabilitation project. *Pipelines 2019*, Nashville, Tennessee. Reston, VA, 2019. URL: <https://doi.org/10.1061/9780784482490.024> (date of access: 25.02.2025).

180. Sewer inspection and comparison of acoustic and CCTV methods/ A. Romanova et al. *Proceedings of the institution of civil engineers - water management*.

2013. Vol. 166, no. 2. P. 70–80. URL: <https://doi.org/10.1680/wama.11.00039> (date of access: 25.02.2025).

181. Beheshti M., Sægrov S. Detection of extraneous water ingress into the sewer system using tandem methods – a case study in Trondheim city. *Water science and technology*. 2019. Vol. 79, no. 2. P. 231–239. URL: <https://doi.org/10.2166/wst.2019.057> (date of access: 25.02.2025).

182. Locating illicit connections in storm water sewers using fiber-optic distributed temperature sensing / O. A. C. Hoes et al. *Water research*. 2009. Vol. 43, no. 20. P. 5187–5197. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.08.020> (date of access: 25.02.2025).

183. Using distributed temperature sensing (DTS) for locating and characterising infiltration and inflow into foul sewers before, during and after snowmelt period / O. Panasiuk et al. *Water*. 2019. Vol. 11, no. 8. P. 1529. URL: <https://doi.org/10.3390/w11081529> (date of access: 25.02.2025).

184. Yap H. T., Ngien S. K. Assessment on inflow and infiltration in sewerage systems of Kuantan, Pahang. *Water science and technology*. 2017. Vol. 76, no. 11. P. 2918–2927. URL: <https://doi.org/10.2166/wst.2017.463> (date of access: 25.02.2025).

185. Lepot M., Makris K. F., Clemens F. H. L. R. Detection and quantification of lateral, illicit connections and infiltration in sewers with Infra-Red camera: conclusions after a wide experimental plan. *Water research*. 2017. Vol. 122. P. 678–691. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.030> (date of access: 25.02.2025).

186. Quantifying rainfall-derived inflow and infiltration in sanitary sewer systems based on conductivity monitoring / M. Zhang et al. *Journal of hydrology*. 2018. Vol. 558. P. 174–183. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.002>. (date of access: 23.08.2024).

187. Preliminary Inflow and Infiltration Study of Sewerage Systems from Two Residential Areas in Kuantan, Pahang / H. T. Yap et al. *ESTEEM Academic Journal*.

2017. Vol. 13, Special. P. 98–106. URL: <http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/18497> (date of access: 23.08.2024).

188. Rukovets R. B. Impact of wet-weather peak flow blending on disinfection and treatment: a case study at three wastewater treatment plants. Cincinnati, Ohio: National Risk Management Research Laboratory, *Office of Research and Development*, U.S. Environmental Protection Agency, 2010. 68 p. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1007227.PDF?Dockkey=P1007227.PDF> (date of access: 23.08.2024)

189. Lundblad U., Backö J. Juridisk och ekonomisk hantering av tillskottsvatten som sker till spillvattenförande ledning innanför förbindelsepunkt. Svenskt Vatten Utveckling: *Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten*, 2014. 44 p. URL: https://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2014-11.pdf (date of access: 25.02.2025).

190. Kracht O., Gresch M., Gujer W. Innovative tracer methods for sewer infiltration monitoring. *Urban water journal*. 2008. Vol. 5, no. 3. P. 173–185. URL: <https://doi.org/10.1080/15730620802180802>. (date of access: 07.08.2024)

191. Direct measurements of exfiltration in a sewer test site in a medium-sized city in southwest Germany / L. Wolf et al. *Urban groundwater, meeting the challenge*. 2006. P. 65–77. URL: <https://doi.org/10.1201/9780203947050.ch6> (date of access: 26.02.2025).

192. Nguyen H. H., Peche A., Venohr M. Modelling of sewer exfiltration to groundwater in urban wastewater systems: a critical review. *Journal of hydrology*. 2021. Vol. 596. P. 126130. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126130> (date of access: 26.02.2025).

193. Detection of Exfiltration in Sewer Systems with Tracers / B. Stegeman et al. *New Trends in Urban Drainage Modelling - UDM 2018* / ed. by G. Mannina. 2019. P. 820–824. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99867-1_141. (date of access: 26.02.2025).

194. Nguyen H. H., Peche A., Venohr M. Modelling of sewer exfiltration to groundwater in urban wastewater systems: a critical review. *Journal of hydrology*. 2021. Vol. 596. P. 126130. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126130> (date of access: 26.02.2025).

195. Winter J. Risk assessment of sewage from leaking sewers for soil and groundwater. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*. 2004. Vol. 32, no. 4-5. P. 275. URL: <https://doi.org/10.1002/aheh.200390079> (date of access: 26.02.2025).

196. Chisala B., Lerner D. Sewage risks to urban groundwater. Bristol : Environment Agency, 2008. 36 p. URL: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7c5718e5274a1b004231ec/scho0907bngd-e-e.pdf> (date of access: 26.02.2025).

197. Assessing infiltration and exfiltration on the performance of urban sewer systems (APUSS). *IWA Publishing*, 2010. 190 p. URL: <https://doi.org/10.2166/9781780401652> (date of access: 26.02.2025).

198. Pin-pointing groundwater infiltration into urban sewers using chemical tracer in conjunction with physically based optimization model / Z. Zhao et al. *Water Research*. 2020. Vol. 175. P. 115689. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115689> (date of access: 26.03.2024).

199. Bareš V., Stránský D., Sýkora P. Sewer infiltration/inflow: long-term monitoring based on diurnal variation of pollutant mass flux. *Water science and technology*. 2009. Vol. 60, no. 1. P. 1–7. URL: <https://doi.org/10.2166/wst.2009.280> (date of access: 25.02.2025).

200. Backman H. Infiltration/Inflow in separate sewer systems: some aspects on sources and a methodology for localization and quantification of infiltration into sanitary sewers caused by leaking storm sewers. Doktorsavhandling. Department of Sanitary Engineering Chalmers University of Technology. 1985. 85p. URL:

<https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/166799/166799.pdf> (date of access: 15.02.2024).

201. Chisala B., Lerner D. Distribution of sewer exfiltration to urban groundwater. *Water Management*. 2008. Vol. 161. 6. P. 333–341. URL: <https://doi.org/10.1680/wama.2008.161.6.333> (date of access: 14.01.2025).

202. Jeppesen J., Christensen S., Ladekarl U. L. Modelling the historical water cycle of the Copenhagen area 1850–2003. *Journal of hydrology*. 2011. Vol. 404, no. 3-4. P. 117–129. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.12.022> (date of access: 25.02.2025).

203. Comparing Rainfall Dependent Inflow and Infiltration Simulation Methods / L. Wright et al. *Journal of Water Management Modeling*. University of Colorado. USA. 2001. P.235-237. URL: <https://doi.org/10.14796/JWMM.R207-16>(date of access: 14.06.2024) .

204. Modelling rainfall dependent infiltration and inflow (RDII) in a separate sewer system in huddinge, stockholm. / A.-M. Gustafsson et al. *DHI conference on 'modelling in a world of change. Copenhagen*. 2010. URL: https://www.dhigroup.com/upload/publications/mikeshe/Gustafsson_2010.pdf (date of access: 25.02.2025).

205. River water intrusion as a source of inflow into the sanitary sewer system / S. Guo et al. *Water Science & Technology. IWA Publishing*. 2020. Vol. 82. P.1-10. URL: <https://doi.org/10.2166/wst.2020.516>. (date of access: 17.02.2024).

206. Wittenberg H., Aksoy H. Groundwater intrusion into leaky sewer systems. *Water science and technology*. 2010. Vol. 62, no. 1. P. 92–98. URL: <https://doi.org/10.2166/wst.2010.287> (date of access: 25.02.2025).

207. Teimoori S., O’Leary B. F., Miller C. J. Modeling shallow urban groundwater at regional and local scales: A case study in detroit, MI. *Water*. 2021.

Vol. 13, no. 11. P. 1515. URL: <https://doi.org/10.3390/w13111515> (date of access: 25.02.2025).

208. Williams Jr V. A. Evaluating the potential of a geospatial/geostatistical methodology for locating rain-derived infiltration and inflow into wastewater treatment systems in the Minneapolis/St. Paul metropolitan area, Minnesota, USA. *Minnesota State University*, Mankato, 2017. URL: <https://cornerstone.lib.mnsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1744&context=etds> (date of access: 17.01.2025).

209. Lovett A. A., Parfitt J. P., Brainard J. S. Using GIS in risk analysis: a case study of hazardous waste transport. *Risk analysis*. 1997. Vol. 17, no. 5. P. 625–633. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1997.tb00903.x> (date of access: 17.01.2025).

210. Digital water 4. 0: transforming water utilities. *PUP. IWA Publishing*, 2020. 30p.

211. What does water 4.0 mean to the water industry. URL: <https://www.hidropolitikakademi.org/en/article/28010/what-does-water-40-mean-to-the-water-industry> (date of access: 26.01.2025).

212. The Advantages of SCADA for Remote Monitoring of Wastewater. *Remote Monitoring and Alarms for Wastewater and Industrial Processes*. URL: https://www.racomman.com/blog/advantages-of-rtus?srsltid=AfmBOooia8mFCqz1j_1m2aHXgigPKixUZ4DWSQ6AwWt5Gk9hT7-PpaNw (date of access: 09.01.2025)..

213. Xu H., Shi W., Chen Z. Wasterwater factories solution on SCADA system. *Advances in computer science, intelligent system and environment*. Berlin, Heidelberg, 2011. P. 207–211. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-23756-0_34 (date of access: 26.02.2025).

214. Humoreanu B., Nascu I. Wastewater treatment plant SCADA application. *2012 IEEE international conference on automation, quality and testing, robotics (AQTR*

2012), Cluj-Napoca, Romania, 24–27 May 2012. 2012. URL: <https://doi.org/10.1109/aqtr.2012.6237776> (date of access: 26.02.2025).

215. Planning of green roofs for the best thermotechnical effect / T. Tkachenko et al. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences (SREES)*. 2025. Vol. 34, no. 1. P. 42–54. URL: <https://doi.org/10.22630/srees.9954> (date of access: 01.04.2025).

216. Dieu B. Application of the SCADA system in wastewater treatment plants. *ISA transactions*. 2001. Vol. 40, no. 3. P. 267–281. URL: [https://doi.org/10.1016/s0019-0578\(00\)00053-7](https://doi.org/10.1016/s0019-0578(00)00053-7) (date of access: 26.02.2025).

217. Alzahrani A. I. A., Chauhdary S. H., Alshdadi A. A. Internet of things (iot)-based wastewater management in smart cities. *Electronics*. 2023. Vol. 12, no. 12. P. 2590. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics12122590> (date of access: 26.02.2025).

218. Data management techniques for Internet of Things / B. Diène et al. *Mechanical systems and signal processing*. 2020. Vol. 138. P. 106564. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106564> (date of access: 26.02.2025).

219. Revolutionizing wastewater treatment toward circular economy and carbon neutrality goals: pioneering sustainable and efficient solutions for automation and advanced process control with smart and cutting-edge technologies / S. Cairone et al. *Journal of water process engineering*. 2024. Vol. 63. P. 105486. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105486> (date of access: 26.02.2025).

220. Behzadan A. H., Dong S., Kamat V. R. Augmented reality visualization: a review of civil infrastructure system applications. *Advanced engineering informatics*. 2015. Vol. 29, no. 2. P. 252–267. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.03.005> (date of access: 26.02.2025).

221. Enhancement of membrane system performance using artificial intelligence technologies for sustainable water and wastewater treatment: a critical review / N. D. Viet et al. *Critical reviews in environmental science and technology*. 2021. P. 1–31. URL: <https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1940031> (date of access: 26.02.2025).

222. Treatment of out-of-context buildings during the restoration of historical territories using green structures / T. Tkachenko et al. *International journal of conservation science*. 2024. Vol. 15, SI. P. 129–140. URL: <https://doi.org/10.36868/ijcs.2024.si.11> (date of access: 28.02.2025).

223. Evaluating rain-garden bands: filtration properties and implications for urban water management / T. Tkachenko et al. *World environmental and water resources congress 2024*, Milwaukee, Wisconsin. Reston, VA, 2024. URL: <https://doi.org/10.1061/9780784485477.085> (date of access: 28.02.2025).

224. Improving the efficiency and environmental friendliness of urban stormwater management by enhancing the water filtration model in rain gardens / M. Kravchenko et al. *Water*. 2024. Vol. 16, no. 10. P. 1316. URL: <https://doi.org/10.3390/w16101316> (date of access: 28.02.2025).

225. Hlushchenko R. O., Tkachenko T. M., Mileikovskyi V. O. Effective drainage of rainwater from roads by rain garden-strips in the concept of the city-sponge. *Environmental safety and natural resources*. 2021. Vol. 40, no. 4. P. 46–59. URL: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.4.46-59> (date of access: 28.02.2025).

226. Using rain-garden bands for rainwater drainage from roads / T. Tkachenko et al. *World environmental and water resources congress 2023*, Henderson, Nevada. Reston, VA, 2023. URL: <https://doi.org/10.1061/9780784484852.110> (date of access: 28.02.2025).

227. Abdel Rasheed M. Green infrastructure as an effective rainwater management approach in cities. *Journal of al-azhar university engineering sector*. 2023. Vol. 18, no. 66. P. 278–303. URL: <https://doi.org/10.21608/auej.2023.283070> (date of access: 28.02.2025).

228. “Green structures” for effective rainwater management on roads / R. Hlushchenko et al. *Production engineering archives*. 2022. Vol. 28, no. 4. P. 295–299. URL: <https://doi.org/10.30657/pea.2022.28.37> (date of access: 28.02.2025).

229. Tkachenko T., Mileikovskiy V., Ujma A. Field study of air quality improvement by a “green roof” in kyiv. *System safety: human - technical facility - environment*. 2019. Vol. 1, no. 1. P. 419–424. URL: <https://doi.org/10.2478/czoto-2019-0054> (date of access: 28.02.2025).

230. Ткаченко Т. М., Глущенко Р. О. Можливості використання дощової води після фільтрації зеленими покрівлями. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. *Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VII Міжнародний конгрес, 12-14 жовтня 2022*. Україна, Львів: Збірник матеріалів Київ: Яроченко Я. В., 2022. С. 98.

231. Nasonkina N. G., Sakhnovskaya V. N. System analysis of evaluation of ecological safety of water supply and water disposal. *Modern Industrial and Civil Construction*. 2009. Vol. 5, no. 3. P. 113–123.

232. Сахновська В. Концепція оцінки забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення // *Moderní aspekty vědy: LV. Díl mezinárodní kolektivní monografie. Česká republika : Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2025*. С. 527-538. URL: <https://doi.org/10.52058/55-2025> (дата звернення: 22.04.2025)

233. Сахновська В. Системна модель забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водопостачання та водовідведення під час воєнного стану. Енергія. Ресурси. *Екологія багатofункціональні еко - та енергоефективні, ресурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях: V-та міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 27–29 листоп. 2024 р. Київ, 2024*. С. 100–102. URL: <https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/ere-2024-ua.pdf> (дата звернення: 15.04.2025).

234. Насонкіна Н. Г. Підвищення екологічної безпеки систем питного водопостачання : автореф. дис. ... д-ра філос. наук. Донецьк, 2006. 38 с.

235. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. Чинний від 1997-01-01. Вид. офіц. Київ, 1994.

236. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Чинний від 1996-01-01. Вид. офіц. 1996. 75 с.

237. Васілевський О., Поджаренко В. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 129 с.

238. Aven T. Interpretations of Alternative Uncertainty Representations in a Reliability and Risk Analysis Context. Reliability Engineering & System Safety - *RELIAB ENG SYST SAFETY*. 2011. Vol. 96. P. 353–360. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2010.11.004>

239. Про затвердження Порядку обслуговування внутрішньобудинкових систем теплопостачання, водопостачання, водовідведення та постачання гарячої води. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1074-18#n14> (дата звернення: 29.10.2024).

240. Про затвердження Правил технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів України : Наказ Держ. ком. України по житлово-комун. госп-ву від 05.07.1995 № 30 : станом на 22 берез. 2016 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-95#Text> (дата звернення: 17.01.2025).

241. ДБН В.1.2-14:2018 "Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд" : Техн. норми, правила і стандарти від 02.08.2018 № ДБН В.1.2-14:2018 : станом на 16 трав. 2022 р. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199634775304307868?doc_type=2 (дата звернення: 23.01.2025).

242. ДСТУ 8855:2019. Визначення класу наслідків (відповідальності). На заміну ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013; чинний від 2019-07-24. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 17 с. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/8855_viznachennja_klasu_naslidkiv/5-1-0-1851 (дата звернення: 23.01.2025).

243. Сахновська В. Моніторинг стану водопровідної мережі міст Донецької області. *Містобудування та територіальне планування*: наук.-техн. збірник. 2009. № 32. С. 385–394.

244. Сахновська В. Аналіз стану та визначення заходів щодо покращення роботи водопровідної мережі міст Донецької області. *Вісник ДонНАБА*. 2010. Т. 3, № 83. С. 276–284.

245. Services K. Broken Sewer Line: Hidden Dangers. URL: <https://www.kingsservices.com/broken-sewer-line-hidden-dangers> (date of access: 05.10.2023).

246. Сахновська В. Визначення базових та додаткових факторів, що впливають на надійність та екологічну безпеку мереж водопостачання і водовідведення. *Nauchno-tehnicheskij sbornik "Kommunalnoe hozyajstvo gorodov"*. 2009. № 2. С. 376–383. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/17106/>

247. Гіроль М., Інші. Стан водопровідних мереж України та шляхи запобігання погіршенню якості питної води. Полімерні труби. 2013. URL: <https://polypipe.info/news/238-stanvodoprovodnuhmerezhukraini> (дата звернення: 29.01.2025).

248. Krysin'ska D. O., Klymenko L. P. Changing the structure of drinking water as the basis of solving the problem of environmental safety of water supply. *Ecological sciences*. 2019. Vol. 2. P. 133–137. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-2-25-21> (date of access: 29.01.2025).

249. Bio-corrosion in concrete sewer systems: Mechanisms and mitigation strategies / S. K. Pramanik et al. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 921. P. 171231. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171231> (date of access: 24.04.2025).

250. Anwar A., Liu X., Zhang L. Biogenic corrosion of cementitious composite in wastewater sewerage system—A review. *Process Safety and Environmental Protection*.

2022. Vol. 165. P. 545–585. URL: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.07.030>. (date of access: 21.04.2024).

251. Concrete in aggressive ground (SD 1). 3rd ed. *Bre Construction Division*. Garston: BRE Electronic Publications, 2005. 63 p. URL: <https://bregroup.com/store/bookshop/concrete-in-aggressive-ground-sd-1> (date of access: 21.04.2024)

252. A Deterioration Model for Sewer Pipes Using CCTV and Artificial Intelligence/ C. Salihu et al. *Buildings*. 2023. Vol. 13, no. 4. P. 952. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings13040952> (date of access: 29.01.2025).

253. Kaempfer W., Berndt M. Estimation of service life of concrete pipes in sewer networks. *Durability of building materials and components*. 1999. Vol. 8. P. 36–45. URL: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB2045.pdf> (date of access: 29.01.2025).

254. ДСТУ Б В.2.5-32:2007. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Труби безнапірні з поліпропілену, поліетилену, непластифікованого полівінілхлориду та фасонні вироби до них для зовнішніх мереж каналізації будинків і споруд та кабельної каналізації. Технічні умови. На заміну Міністерство регіонального розвитку та будівництва України ; чинний від 2008-01-01. Вид. офіц. Київ, 2007. 112 с.

255. 100 Year service life of polypropylene and polyethylene gravity sewer pipes - TEPPFA. TEPPFA. URL: <https://www.teppfa.eu/media/industry-studies/100-year-service-life-of-polypropylene-and-polyethylene-gravity-sewer-pipes/> (date of access: 29.01.2025).

256. ANSI/AWWA C105/A21.5-18. Polyethylene encasement for ductile-iron pipe systems. *AWWA Standard*. American Water Works Association, 2018. URL: https://webstore.ansi.org/preview-pages/awwa/preview_c105-2018.pdf?srsId=AfmBOooZAW8z0Mkm__QgLLLe2TKESYIpyKk3AZj9GL4GuKoASMT4uEOL0 (date of access: 29.01.2025)

257. Fairfield C. A. Cavitation damage to potential sewer and drain pipe materials. *Wear*. 2014. Vol. 317, no. 1-2. P. 92–103. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2014.05.010> (date of access: 25.01.2025).

258. Nienartowicz B., Przybyła B. Damage to plastic pipelines and its consequences. *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 45. P. 00070. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184500070> (date of access: 05.10.2023).

259. Макаренко В., Винников Ю., Кусков Ю. Корозійно-механічна стійкість каналізаційних систем: монографія. Київ: НУБіП України, 2021. 287 с. URL: <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/17249> (дата звернення: 29.01.2025).

260. І.О. Гуцал І. Конспект лекцій з дисципліни „Технологія очистки водно-дисперсних систем”, Модуль 2: «Технологія очищення стічних вод» (для студентів 4 курсу денної форми навчання напряму підготовки 0926 – „Водні ресурси”, спеціальності 6.092600 – „Водопостачання та водовідведення”) Харків : ХНАМГ, 2009. 93 с.

261. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse / G. Tchobanoglous et al. *McGraw-Hill Education*, 2003. URL: <https://books.google.com.ua/books?id=-eoeAQAAIAAJ>. с. (date of access: 29.01.2025)

262. Sokac M. Water Balance in Urban Areas. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 471. P. 042028. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/471/4/042028> (date of access: 25.04.2025).

263. Monitoring the performance of a storm water separating manifold with distributed temperature sensing / J. G. Langeveld et al. *Water Science and Technology*. 2012. Vol. 66, no. 1. P. 145–150. URL: <https://doi.org/10.2166/wst.2012.152> (date of access: 23.11.2024).

264. Ellis, B.; Bertrand-Krajewski, J.L. Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems (APUSS); *IWA Publishing*: London, UK, 2010. P.9. URL: <https://doi.org/10.2166/9781780401652> (date of access: 23.11.2024)

265. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Чинний від 2010-02-15. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 105 с.

266. План для 2024-2027 роки «Ukraine facility». URL: <https://www.ukrainefacility.me.gov.ua/wp-content/uploads/2024/03/plan-ukraine-facility.pdf> (дата звернення: 01.02.2025).

267. Directive (Eu) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652. *Official Journal of the European Union*. 2023. 77 p. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj> (date of access: 11.10.2024)

268. Про затвердження Порядку повторного використання очищених стічних вод та осаду за умови дотримання нормативів гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин: Наказ М-ва регіон. госп-ва України від 12.12.2018 № 341: станом на 25 січ. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0075-19#Text> (дата звернення: 05.02.2025).

269. ДСТУ 7369:2013. Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування та удобрювання. Чинний від 2014-01-01. Вид. офіц. МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ України, 2014. 10 с.

270. ДСТУ 8727:2017. Осад стічних вод. Підготування органо-мінеральної суміші з осаду стічних вод. Чинний від 2017-07-31. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 12 с.

271. Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті: Наказ МОЗ України від 14.07.2020 № 1595. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text> (дата звернення: 05.02.2025).

272. Про затвердження Змін до Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб

населення: Наказ МОЗ України від 13.01.2023 № 77 : станом на 22 лют. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0181-23#Text> (дата звернення: 29.03.2025).

273. Юридична енциклопедія: в 6-ти томах. Київ: Укр. енциклопедія ім. М.П. Баж., 2001. Т. 3 : К-М. 792 с.

274. Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу у сферах питної води та питного водопостачання, водовідведення: Постанова Каб. Міністрів України від 21.01.2025 № 61. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/61-2025-п#Text> (дата звернення: 20.03.2025).

275. Про затвердження Методичних рекомендацій для здійснення оцінки ризиків та вразливості соціально-економічних секторів та природних складових до зміни клімату: Наказ від 03.06.2023 № 386. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0386926-23#Text> (дата звернення: 01.03.2025).

276. Environmental indicators and indicator-based assessment reports: Eastern Europe, Caucasus and Central Asia / ed. by United Nations. *Economic Commission for Europe*. New York: United Nations, 2007. 92 p. URL: https://unece.org/sites/default/files/2020-12/Publication.Indicators___Reporting._ECE-CEP-140_Eng_final.pdf (date of access: 01.03.2025).

277. Методичні рекомендації щодо здійснення стратегічної екологічної оцінки містобудівної документації: Наказ №705 від 18.10.2023 № 705. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0705926-23#Text> (дата звернення: 03.03.2025).

278. Концепція «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року (Проект). URL: [https://enefcities.org.ua/upload/files/Проект%20Концепції%20\(1\).pdf](https://enefcities.org.ua/upload/files/Проект%20Концепції%20(1).pdf) (дата звернення: 01.03.2025).

279. Про затвердження Інструкції зі здійснення моніторингу у сфері централізованого водопостачання та централізованого водовідведення: Постанова Нац. коміс., що здійснює держ. регулювання у сферах енергетики та комун. послуг

від 02.09.2020 № 1648. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1648874-20#Text> (дата звернення: 01.03.2025).

280. Про затвердження Порядку підготовки та оприлюднення Національної доповіді про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні: Постанова Каб. Міністрів України від 29.04.2004 № 576: станом на 19 лют. 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/576-2004-п#Text> (дата звернення: 01.03.2025).

281. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28.02.2019 № 2697-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення: 04.03.2025).

282. Сахновська В. Розробка заходів забезпечення екологічної безпеки та надійності роботи систем водопостачання та водовідведення під час надзвичайних ситуацій та воєнних дій східних регіонів України. *Екологія. Ресурси. Енергія: IV міжнар. науково-практ. конф.*, м. Київ, 22–24 листоп. 2023 р. Київ, 2023. С. 54–55. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2023/12/j_ere_2023.pdf. (дата звернення: 15.04.2025).

283. Т.М. Ткаченко, В.М. Сахновська. Експрес-метод моніторингу екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України під час військових дій. *Екологічна безпека та природокористування*, 53(1), 48-61. URL: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.1.48-61> (дата звернення: 19.04.2025).

284. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування зі змінами. Чинний від 2014-01-01. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2019.

285. Про питну воду та питне водопостачання: Закон України від 10.01.2002 № 2918-III: станом на 1 жовт. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text>

286. Сучасні технології реновації водопровідних мереж / Н. Насонкіна та ін. Водопостачання та водовідведення. 2008. № 5. С. 16–22.

287. Стратегія проведення моніторингу й реформування систем муніципального водопостачання/ Н. Насонкіна та ін. Водопостачання та водовідведення 2009. Т. 2. С. 2–8.

288. Buja A. What Criterion for a Power Algorithm? Robust Statistics, Data Analysis, and Computer Intensive Methods. New York, NY, 1996. P. 49–61. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2380-1_4 (date of access: 02.03.2025).

289. Coulmas F. Normalization and standardization. Language policy. 2025. P. 49–64. URL: <https://doi.org/10.1093/9780191976377.003.0004> (date of access: 02.03.2025).

290. Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook's approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk/ M. Zebisch et al. Germany: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. 68 p. URL: https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2017/10/GIZ-2017_Risk-Supplement-to-the-Vulnerability-Sourcebook.pdf.

291. Бережна Л. В., Снитюк О. І. Економіко-математичні моделі в зовнішньоекономічній діяльності: навч. посіб. для студ. екон. напрямів підготовки. Київ: Кондор-Видавництво, 2016. 386 с.

292. Романченко І. С., Потьомкін М. М., Сирський О. С. Метод трикритеріального евклідового ранжування та його використання для багатокритеріального порівняння альтернатив. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2019. Т. 34, № 1. С. 59–63. URL: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2019-34-1-59-63> (дата звернення: 07.03.2025).

293. Про затвердження порядків розроблення, погодження та затвердження інвестиційних програм суб'єктів господарювання у сферах теплопостачання,

централізованого водопостачання та водовідведення: Постанова Нац. коміс., що здійснює держ. регулювання у сфері комун. послуг від 14.12.2012 № 381: станом на

294. Роз'яснення щодо розрахунків прогнозованих показників ефективності інвестиційних програм суб'єктів господарювання у сфері теплопостачання, централізованого водопостачання та водовідведення: Роз'яснення від 26.08.2013. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/n0079866-13#Text> (дата звернення: 07.03.2025).

295. Про затвердження кошторисних норм України у будівництві : Наказ м-ва розвитку громад та територій України від 01.11.2021 № 281. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0281914-21#Text> (дата звернення: 07.03.2025).

296. DeepState. DeepStateMap. URL: <https://deepstatemap.live/#6/47.5987553/35.5737305> (date of access: 04.03.2025).

297. Про затвердження переліку територій, на яких ведуться (велися) бойові дії або тимчасово окупованих Російською Федерацією: Наказ М-ва з питань реінтеграції тимчасово окуп. територій України від 22.12.2022 № 309: станом на 27 груд. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1668-22#Text> (дата звернення: 04.03.2025).

298. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Чинний від 2011-01-01. Вид. офіц. Київ, 2010. 127 с.

299. Проект 419 – 1632 – 19 – ПЗ. Київ: Україна Корпорація УКРБУД. Науково-інж. центр «ПОТЕНЦІАЛ-4» Науково-інж. центр «ПОТЕНЦІАЛ-4», 2020.

300. Робочий проект 16102023-1-0-0-ПЗ. Київ: ТОВ «ПРОЕКТВОДСЕРВІС», 2024.

301. Eco-city. EcoCity: Reborn. URL: <https://reborn.eco-city.org.ua/station/1868> (date of access: 05.03.2025).

302. Про затвердження державних медико-санітарних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць: Наказ МОЗ України від 10.05.2024 № 813: станом на 19 черв. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0763-24#Text> (дата звернення: 05.03.2025).

303. Hydrogen sulfide | medical management guidelines | toxic substance portal | ATSDR. URL:

<https://wwwn.cdc.gov/TSP/MMG/MMGDetails.aspx?mmgid=385&toxid=67> (date of access: 05.03.2025).

304. Koenig J. Q. Health effects of nitrogen dioxide. *Health effects of ambient air pollution*. Boston, MA, 2000. P. 165–180. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4569-9_12 (date of access: 05.03.2025).

305. Outdoor air pollution: nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects / T.-M. Chen et al. *The American journal of the medical sciences*. 2007. Vol. 333, no. 4. P. 249–256. URL: <https://doi.org/10.1097/maj.0b013e31803b900f> (date of access: 05.03.2025).

306. Air quality, health effects and management of ammonia emissions from fertilizers / S. Bittman et al. *Air quality management*. Dordrecht, 2013. P. 261–277. URL: https://doi.org/10.1007/978-94-007-7557-2_12 (date of access: 05.03.2025).

307. K S. M. Acid rain-causes, effects and preventive strategies. *Global journal for research analysis*. 2021. P. 70–72. URL: <https://doi.org/10.36106/gjra/6211953> (date of access: 05.03.2025).

308. Про затвердження Методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства: Наказ М-ва охорони навколиш. природ. середовища та ядер. безпеки України від 27.10.1997 № 171 : станом на 12 січ. 2021

р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0285-98#Text> (дата звернення: 05.03.2025).

309. Інформація щодо нормативної грошової оцінки одиниці площі ріллі в розрізі областей. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. Офіційний веб-сайт. URL: <https://land.gov.ua/informatsiia-shchodo-normatyvnoi-hroshovoi-otsinky-odynytsi-ploshchi-rilli-v-rozrizi-oblastei/> (дата звернення: 05.03.2025).

310. Облікова ставка НБУ (1992-2025). Ставки, індекси, тарифи. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/banks/nbu/refinance/> (дата звернення: 06.03.2025).

Додаток А

Список опублікованих праць за темою дисертації:

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Сахновська В., Ткаченко Т. Забезпечення екологічної безпеки систем водовідведення під час бойових дій. *Екологічні науки*. 2024. № 5 (56). С. 105–109. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.15> (дата звернення: 12.03.2025). **(Фахове видання)**

Особистий внесок здобувача полягає у розробці алгоритму визначення пріоритетності заходів з відновлення елементів системи водовідведення, техніко-економічного обґрунтування варіантів забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення.

2. Planning of green roofs for the best thermotechnical effect / Т. Tkachenko et al. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences (SREES)*. 2025. Vol. 34, no. 1. P. 42–54. URL: <https://doi.org/10.22630/srees.9954> (дата звернення: 15.04.2025). **(SCOPUS, Q3)**

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі існуючих технологій зменшення навантаження на очисні споруди за рахунок ефективного управління поверхневим стоком при застосуванні зелених конструкцій (зелених покрівель, дощових зелених садів, зелених схилів тощо)

3. Т.М. Ткаченко, В.М. Сахновська. Експрес-метод моніторингу екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України під час військових дій. *Екологічна безпека та природокористування*, 53(1), 48-61. URL: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.1.48-61> (дата звернення: 19.04.2025) **(Фахове видання)**

Особистий внесок здобувача полягає у розробці методу проведення експрес-моніторингу екологічної безпеки та визначенні екологічних ризиків муніципальних систем водовідведення України під час військових дій.

4. Сахновська В. Концепція оцінки забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення // Moderní aspekty vědy: LV. Díl mezinárodní kolektivní monografie. Česká republika : Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2025. С. 527-538. URL: <https://doi.org/10.52058/55-2025> (одноосібний розділ у колективній монографії)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

1. Ткаченко Т., Сахновська В. Забезпечення екологічної безпеки систем водовідведення під час військових дій. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»):* Матеріали міжнар. конф., м. Київ, 16–17 квіт. 2024 р. Київ, 2024. С. 303–305. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyy-4.pdf (дата звернення: 15.04.2025).

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні пріоритетності заходів з відновлення елементів системи водовідведення.

2. Михайловська Ю., Сахновська В. Надійність, як критерій екологічної безпеки мереж водопостачання та водовідведення. *Міжнародний форум «Безпечна, комфортна, спроможна, територіальна громада»:* Матеріали міжнар. конф., м. Дніпро, 11–13 жовт. 2023 р. Дніпро, 2023. С. 36–37. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/19824> (дата звернення: 15.04.2025).

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні залежності аварійності мереж водовідведення від аварійності мереж водопостачання.

3. Сахновська В. Екологічна безпека та стійкі системи водовідведення під час надзвичайних ситуацій в умовах воєнного стану. *Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, реагування та ліквідація їх наслідків:* Матеріали круглого столу (вебінару), м. Харків, 23 лют. 2023 р. Харків, 2023. С. 72–73.

4. Сахновська В. Розробка заходів забезпечення екологічної безпеки та надійності роботи систем водопостачання та водовідведення під час надзвичайних ситуацій та воєнних дій східних регіонів України. *Екологія. Ресурси. Енергія* : IV міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 22–24 листоп. 2023 р. Київ, 2023. С. 54–55. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2023/12/j_ere_2023.pdf. (дата звернення: 15.04.2025).

5. Сахновська В., Михайловський О. Забезпечення техногенної та екологічної безпеки об'єктів критичної інфраструктури під час військових дій на прикладі систем водопостачання та водовідведення. *Енергоощадні машини і технології*: Матеріали V Міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 22–24 трав. 2024 р. Київ, 2024. С. 199–201.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці механізму прийняття рішень щодо відновлення об'єктів критичної інфраструктури

6. Сахновська В. Системна модель забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водопостачання та водовідведення під час воєнного стану. *Енергія. Ресурси. Екологія багатofункціональні еко - та енергоефективні, ресурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях*: V-та міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 27–29 листоп. 2024 р. Київ, 2024. С. 100–102. URL: <https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/ere-2024-ua.pdf> (дата звернення: 15.04.2025).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

Статті у журналах:

1. Сучасні технології реновації водопровідних мереж / Н. Насонкіна та ін. *Водопостачання та водовідведення* . 2008. № 5. С. 16–22.

Особистий внесок здобувача полягає у аналізі сучасних методів відновлення трубопроводів.

2. Nasonkina N., Sakhnovskaya V. Complex evaluation of water supply and sewerage systems. *Інженерні системи та техногенна безпека*. 2009. No. 2009-2(76). P. 158–166.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці системної моделі оцінки екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України

3. Nasonkina N., Sakhnovskaya V. System analysis of evaluation of ecological safety of Water supply and water disposal. *Industrial and civil construction*. 2009. Vol. 5, no. 3. P. 113–123.

Особистий внесок здобувача полягає концептуалізації та розробці інтегративної системної моделі, призначеної для кількісної оцінки екологічних ризиків, пов'язаних з функціонуванням муніципальних систем водовідведення в Україні, та їх впливу на екологічну безпеку довкілля.

4. Стратегія проведення моніторингу й реформування систем муніципального водопостачання / Н. Насонкіна та ін. *Водопостачання та водовідведення* 2009. Т. 2. С. 2–8.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці п.1 моніторингу систем муніципального водопостачання.

5. Сахновська В. Визначення базових та додаткових факторів, що впливають на надійність та екологічну безпеку мереж водопостачання і водовідведення. *Nauchno-tekhnycheskyi sbornyk "Kommunalnoe khoziaistvo horodov"*. 2009. № 2. С. 376–383. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/17106/>.

6. Сахновська В. Аналіз стану та визначення заходів щодо покращення роботи водопровідної мережі міст Донецької області. *Вісник ДонНАБА*. 2010. Т. 3, № 83. С. 276–284.

7. Сахновська В. Моніторинг стану водопровідної мережі міст Донецької області. *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник*. 2009. № 32. С. 385–394.

8. Насонкіна Н., Сахновська В., Пашков В. Аналіз стану та критерії безпеки мереж водовідведення. *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник*. 2010. № 37. С. 349–358.

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні значимості критеріїв, що впливають на роботу мереж водопостачання та водовідведення, побудові графів зв'язності та матриці домінування.

Лист підтримки «БВК «ЕЛІТ-ПРОЕКТБУД»



Алеф Строй

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«БВК «ЕЛІТ-ПРОЕКТБУД»

Код ЄДРПОУ 42769701.

Ліцензія № 2013059801 від 05.03.2019.

Україна, 01004, місто Київ, вулиця Басейна, будинок 5Б.

№ 200325/1 від 20.03.2025 р.

ЛИСТ ПІДТРИМКИ

Щодо впровадження результатів дисертаційної роботи Сахновської Вікторії Миколаївни на здобуття наукового ступеню доктор філософії за темою «Теоретичне обґрунтування планування заходів забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення» розглянуті, проаналізовані та в майбутньому можуть бути інтегровані в діяльність підприємства з метою залучення інвестицій для заходів підвищення екологічної безпеки об'єктів водовідведення. А саме впроваджено метод еколого-економічного обґрунтування оптимізації роботи систем водовідведення в умовах експлуатації

Метод являє собою комплексну наукову стратегію, що об'єднує інженерно-екологічний аналіз з економічним моделюванням, та складається з наступних етапів:

1. Визначенням альтернатив та систематизація даних за 12 критеріями: забезпечення населення послугами водовідведення (в т.ч. перспективне); вартість експлуатації; капітальні витрати; вплив на оточуюче середовище; надійність та стійкість під час війни; енергоефективність; простота експлуатації та обслуговування; прийнятність для місцевого населення; термін служби; відповідність законодавству та нормативним вимогам; зворотне водокористування; строк реалізації проекту.
2. Створення та нормалізація матриці рішень за методами MCDM та TOPSIS на підставі вагових коефіцієнтів.
3. Визначення узагальненого показника та рангу альтернативи.
4. Визначення еколого-інвестиційної привабливості альтернатив.

Директор



ОЛЕКСАНДР ВОДОТИЄЦЬ

**LIMITED LIABILITY COMPANY TECHDAR**

03148, Ukraine, Kyiv, Zhmerinska str., 11

EDPNOU 44317789

Вих.№ 2/11-2024 Н
від 11.11.2024 р.

ЛИСТ ПІДТРИМКИ

Щодо впровадження результатів дисертаційної роботи Сахновської Вікторії Миколаївни на здобуття наукового ступеню доктор філософії за темою «Теоретичне обґрунтування планування заходів забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення» розглянуті, проаналізовані та в майбутньому можуть бути інтегровані в діяльність компанії при співпраці з муніципальними підприємствами водовідведення. А саме впроваджено концепцію оцінювання забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення

Запропонована концепція дозволяє:

- детально виконати кількісну оцінку стану системи водовідведення на всіх етапах від приймання стічних вод до їх очищення та повернення до джерела;
- змінювати та доповнювати критерії екологічної безпеки окремих блоків системної моделі відповідно до змін законодавства та проведення нових вишукувань;
- визначати загальний стан системи водовідведення;
- зосередити зусилля на найбільш значущих аспектах та моделювати зміни, які призведуть до найбільшого позитивного ефекту для системи;
- розробити заходи з інтенсифікації роботи систем водовідведення.

З повагою,
директор



Ірімеску Дорін

Лист підтримки депутата сьомого округу Гірської сільської ради**01 квітня 2025 року****ЛИСТ ПІДТРИМКИ**

Щодо впровадження результатів дисертаційної роботи Сахновської Вікторії Миколаївни на здобуття наукового ступеню доктор філософії за темою: «Теоретичне обґрунтування планування заходів забезпечення екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення» розглянуті та інтегровані у план заходів на 2024-2027 роки з реалізації Стратегії розвитку Гірської сільської ради Бориспільського району Київської області до 2027 року, а саме до оперативної цілі В.3 «Розвиток систем водопостачання та водовідведення, забезпечення мешканців громади якісною питною водою»: еколого-економічно обґрунтовано влаштування централізованої системи водовідведення з будівництвом напірного колектору та реконструкцією існуючої КНС.

Ефективність проекту:

- строк окупності запропонованих заходів 1 рік 5 місяців;
- планова сумарна еколого-економічна ефективність проекту на другому році реалізації складає 11,83 млн. грн.

Депутат сьомого округу
Гірської сільської ради

Т.С. Гуменюк

Додаток В. Матриця домінування до розділу 2

Матриця домінування *S*

№ інд.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	Всього
2	0	0	20	4	21	1	0	9	0	0	0	32	19	57	9	6	6	7	8	2	0	0	0	0	0	19	8	228
9	0	0	18	3	19	0	0	8	0	0	0	28	17	50	8	5	5	6	7	2	0	0	0	0	0	17	7	200
12	0	0	11	1	12	0	0	6	0	0	0	19	11	49	5	9	5	12	9	4	0	0	0	0	0	19	13	185
8	0	0	14	3	17	0	0	6	0	0	0	22	14	41	7	4	4	5	6	2	0	0	0	0	0	15	6	166
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0	9	5	18	14	10	0	0	0	0	0	26	20	141
3	0	0	12	1	12	0	0	6	0	0	0	18	11	34	6	3	3	4	5	2	0	0	0	0	0	13	5	135
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	7	5	15	14	8	0	0	0	0	0	25	17	126
5	0	0	13	3	12	0	0	4	0	0	0	12	9	27	7	2	2	3	4	2	0	0	0	0	0	13	4	117
13	0	0	11	2	12	0	0	2	0	0	0	11	10	25	6	2	2	3	4	2	0	0	0	0	0	12	4	108
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	6	4	12	11	7	0	0	0	0	0	21	13	103
1	0	0	10	1	8	0	0	3	0	0	0	11	8	24	5	2	2	3	4	2	0	0	0	0	0	11	4	98
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	6	4	12	10	6	0	0	0	0	0	17	12	92
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	4	4	11	11	6	1	0	0	0	0	17	10	89
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	6	3	10	9	6	0	0	0	0	0	17	12	88
7	0	0	5	2	7	1	0	5	0	0	0	15	6	24	2	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	5	3	87
11	0	0	5	2	7	1	0	5	0	0	0	15	6	24	2	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	5	3	87
6	0	0	7	2	7	0	0	2	0	0	0	9	6	21	4	2	2	3	4	2	0	0	0	0	0	10	4	85
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	5	2	9	9	5	0	0	0	0	0	16	11	80
4	0	0	6	1	6	0	0	1	0	0	0	5	5	15	4	1	1	2	3	2	0	0	0	0	0	9	3	64
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	4	1	6	6	4	0	0	0	0	0	12	7	57
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	2	2	6	6	5	0	0	0	0	0	11	5	52
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	6	0	8	2	4	0	0	0	0	0	7	9	51
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	1	2	5	5	2	0	0	0	0	0	8	5	39
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	4	0	5	2	2	0	0	0	0	0	6	6	36
10	0	0	2	1	2	1	0	1	0	0	0	4	2	8	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1	29
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	0	3	0	2	0	0	0	0	0	1	3	16
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Додаток Г. Вплив критеріїв оцінювання на екологічну безпеку та інвестиційну привабливість

Таблиця Г.1.

Матриця домінування L

№ критерію	Найменування критерію	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Забезпечення населення послугами водовідведення, в т.ч. перспективне	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1
2	Вартість експлуатації	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
3	Капітальні витрати	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
4	Влив на оточуюче середовище	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1
5	Надійність та стійкість під час війни	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1
6	Енергоефективність	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1
7	Простота експлуатації та обслуговування	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0
8	Прийнятність для місцевого населення	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	Термін служби	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1
10	Відповідність законодавству та нормативним вимогам	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
11	Зворотне водокористування	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
12	Строк реалізації проекту	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1
13	Інвестиційна привабливість	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Екологічна безпека	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Матриця домінування L1

№ критерію	Найменування критерію	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Забезпечення населення послугами водовідведення, в т.ч. перспективне	0	17	0	17	5	12	0	21	6	20	0	0
2	Вартість експлуатації	0	4	0	6	0	5	0	8	4	8	0	0
3	Капітальні витрати	0	11	0	13	3	10	0	15	7	15	0	0
4	Влив на оточуюче середовище	0	8	0	8	1	6	0	12	4	12	0	0
5	Надійність та стійкість під час війни	0	16	0	17	3	12	0	21	7	21	0	0
6	Енергоефективність	0	12	0	12	2	8	0	16	5	16	0	0
7	Простота експлуатації та обслуговування	0	13	0	13	4	10	0	17	5	16	0	0
8	Прийнятність для місцевого населення	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Термін служби	0	21	0	23	5	17	0	28	10	28	0	0
10	Відповідність законодавству та нормативним вимогам	0	15	0	17	4	12	0	19	8	19	0	0
11	Зворотне водокористування	0	4	0	6	0	5	0	7	4	8	0	0
12	Строк реалізації проекту	1	21	1	22	5	17	0	29	11	27	0	0
13	Інвестиційна привабливість	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Екологічна безпека	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Додаток Д.

Додаток Д.1. Вихідні дані для експрес-моніторингу

Таблиця Д.1.1

Стан системи водовідведення в 2013 році

Найменування області	1. Питоме водоспоживання			2. Питоме водовідведення			3.Забезпечення послугами водовідведення			4. Застарілі та аварійні мережі	5. Питомі витрати електроенергії кВт год/1000 куб.м стічної рідини	6. Експлiльтрація (-) та додатковий приплив (+)	7.Стан насосного обладнання	8. Стан очисних споруд	9.Скид нормативно очищених стічних вод
	Міста	Села	СМТ	Міста	Села	СМТ	Міста	Села	СМТ						
	л/добу*добу			л/добу*добу			%					%			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Вінницька	100,0	86,0	6,8	139,0	0,4	66,0	100	70	67,6	16,3	751	14,6	13,8	41	98,6
Волинська	129,0	101,0	0,0	119,0	99,6	88,2	81,8	86,4	20,3	28,1	758	14,4	30,6	60	98,6
Дніпропетровська	138,7	114,7	111,7	142,6	109,0	61,2	95	52,2	9	19,7	276	14,5	30,3	75	83,5
Донецька	270,0	0,0	0,0	270,0	100,0	0,0	100	40,5	4,4	48,7	719	32,4	39,9	63	61,3
Житомирська	130,0	92,0	53,0	108,6	80,8	47,9	100	81	1,7	36,3	808	32,8	33,7	26	25,6
Закарпатська	84,9	39,2	0,0	119,2	34,0	0,0	100	94,7	2,7	19,5	366	17,0	44,8	69	92,6
Запорізька	130,3	84,8	63,9	123,5	75,0	47,5	100	50	2,8	42,8	649	42,4	49,4	67	91,4
Івано-Франківська	90,0	90,0	0,7	101,3	101,3	0,0	100	45,8	0,8	26,7	303	26,7	36,2	57	98,5
Київська	163,4	80,4	34,2	52,9	15,3	15,3	100	96,56	16	28,5	118	15,2	29,1	32	97,6
Київ	181,1	0,0	0,0	98,9	0,0	0,0	0	0	0	32	607	-4,2	32,5	50	92,8
Кіровоградська	96,7	96,7	96,7	152,0	152,0	152,0	91,7	66,7	1	29,8	396	25,4	38	86	93,7

Продовження таблиці Д.1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Луганська	96,7	175,0	160,0	185,0	175,0	160,0	90	90	5	59,9	684	-145,0	11,3	70	93,5
Львівська	150,0	77,0	77,0	250,0	45,0	45,0	100	61,8	10,6	29,9	857	20,2	44,4	16	79,7
Миколаївська	150,0	98,0	49,0	195,0	96,0	4,0	100	97	2	26,5	650	20,4	35,8	72	78,9
Одеська	151,4	58,2	52,7	223,0	128,0	28,0	79	51,2	15,7	35	2988	4,4	13	1	64,4
Полтавська	100,0	100,0	30,3	100,0	100,0	30,3	100	85,7	2	35,6	690	-36,1	27,9	32	89,5
Рівненська	139,9	42,5	18,7	163,0	120,0	5,0	100	93,8	2,8	26,5	981	9,3	22,8	81	78,3
Сумська	130,4	28,1	42,6	95,4	13,1	6,2	100	60	0,78	33,3	909	-31,3	48,8	76	91,7
Тернопільська	96,0	100,0	0,0	95,0	100,0	0,0	100	58	0	34,5	680	-2,0	85,1	63	91,8
Харківська	117,6	115,2	74,0	122,5	114,9	83,9	94,1	64	3,1	57,2	377	-9,0	36,8	39	94,4
Херсонська	148,4	160,0	159,0	100,0	100,0	100,0	100	39	1	38,1	307	-21,4	48	55	97,9
Хмельницька	184,6	142,0	82,6	180,0	160,0	140,0	100	75	1,5	34,3	986	-29,7	29,3	7	99,5
Черкаська	263,0	130,0	0,0	263,0	0,0	0,0	100	60	27	15	1091	4,3	44,8	70	82,9
Чернівецька	180,0	135,0	135,0	170,0	130,0	60,0	81,8	87,5	80	29,5	340	-7,2	28	33	96,1
Чернігівська	146,9	0,0	0,0	90,6	0,0	0,0	93,8	48,3	0,9	35,8	703	-39,3	25,89	74	25,0

Примітка.

1. Побудовано на підставі даних з відкритих джерел [38].
2. Дані про стан систем централізованого водопостачання та централізованого водовідведення в Автономній Республіці Крим та м. Севастополь за 2013 рік були відсутні.

Таблиця Д.1.2

Стан системи водовідведення в 2023 році

Найменування області	1. Питоме водоспоживання			2. Питоме водовідведення			3.Забезпечення послугами водовідведення			4. Застарілі та аварійні мережі	5. Питомі витрати електроенергії кВт год/1000 куб.м стічної рідини	6. Експльтрація (-) та додатковий приплив (+)	7.Стан насосного обладнання	8. Стан очисних споруд	9.Скид нормативно очищених стічних вод
	Міста	Села	СМТ	Міста	Села	СМТ	Міста	Села	СМТ						
	л/добу*добу			л/добу*добу			%								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Вінницька	100,0	80,0	50,0	100,0	80,0	50,0	71,4	61,2	2,2	26,6	719	-0,4	32,1	0	98,5
Волинська	88,0	64,0	113,2	81,8	81,8	2,4	104,7	63,4	136,5	56,4	720	27,8	31	86	100,0
Дніпропетровська	150,0	132,0	120,0	132,0	115,0	75,0	74,1	37,6	4,8	41	264	-2,5	23,8	10	50,3
Донецька	143,5	143,5	143,5	103,8	81,0	58,8	80	31,3	6,1	67,4	988	-11,0	26,5	90	66,5
Житомирська	127,0	93,0	69,0	106,0	88,0	49,0	65,8	45,2	4	50,6	918	-3,0	34,4	26	94,6
Закарпатська	94,9	32,8	277,0	101,8	8,1	0,3	100	78,9	2,8	27,6	331	58,4	25,1	100	82,0
Запорізька	109,9	47,8	40,7	70,1	33,3	26,6	73,4	1,9	2,9	64,4	518	-3,6	6,2	83	100,0
Івано-Франківська	61,5	0,0	0,0	61,5	0,0	0,0	84,6	38,3	57	32,3	302	55,3	33,1	50	99,3
Київська	121,9	111,6	100,1	11,5	92,6	89,7	99,6	92,3	9,7	23	661	-2,1	43,6	76	98,1
Київ	82,0	0,0	0,0	102,0	0,0	0,0	100	0	0	29,8	563	34,0	38,7	100	94,4
Кіровоградська	115,4	110,5	103,5	114,9	90,3	87,5	77,1	62,3	2,7	55,3	767	20,0	58,6	23	40,1
Львівська	79,0	96,0	93,0	137,9	100,2	92,1	95,4	42	2	26,6	1675	29,6	24,8	70	100,0
Миколаївська	109,0	60,0	41,0	109,5	106,3	16,3	79,4	69,8	21,3	30	988	-2,4	14,1	28	100,0
Одеська	130,0	102,2	104,3	223,0	128,0	28,0	87,6	36,4	2,5	45,4	93	32,9	18,4	74	92,9
Полтавська	121,2	82,2	78,9	225,0	95,0	104,0	66,7	16,6	2	45,6	599	0,0	19,5	1	42,8
Рівненська	85,6	84,2	85,2	88,9	90,9	88,2	87,5	1,4	0	34,1	611	23,7	29,6	83	58,7

Продовження таблиці Д.1.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Сумська	130,8	76,4	51,7	93,6	50,2	51,2	77,4	33,7	2,3	47,6	858	-2,9	28,8	51	50,1
Тернопільська	106,0	1000,0	109,0	95,0	100,0	56,0	94,4	58,8	1,6	41,2	792	30,7	47	13	90,9
Харківська	130,6	76,9	83,1	75,6	83,5	52,8	83,3	21,3	5,4	63,2	372	50,8	27,7	88	97,2
Херсонська	137,0	117,0	138,0	190,0	150,0	150,0	98,92	24,1	7,6	61,4	259	42,8	8,7	100	100,0
Хмельницька	116,0	37,0	1,0	116,0	37,0	1,0	71,8	36	1,1	40,5	699	-3,4	30,1	67	100,0
Черкаська	80,0	40,5	62,4	117,2	44,0	57,0	60,9	16,8	1,5	29,5	454	-2,9	39,8		85,6
Чернівецька	180,0	135,0	65,0	170,0	130,0	160,0	65,5	65,8	31,5	30,6	1162	43,1	20,3	23	94,0
Чернігівська	69,9	65,5	62,8	66,1	63,7	55,4	56,8	27,3	1,2	45,9	955	-3,5	8,4	50	95,1

Примітка.

1. Побудовано на підставі даних з відкритих джерел [31].
2. Дані про стан систем централізованого водопостачання та централізованого водовідведення в Автономній Республіці Крим, м. Севастополь, Луганської області за 2023 рік були відсутні.

Додаток Д.2. Експрес-моніторинг муніципальних систем водовідведення України в 2013 році

Таблиця Д.2.1

Систематизація вихідних даних стану екологічної безпеки систем водовідведення України за 2013 рік

№ індикатора	Показники	Од.вимір.	Область																								
			Вінницька	Волинська	Дніпропетровська	Донецька	Житомирська	Закарпатська	Запорізька	Івано-Франківська	Київська	Київ	Кіровоградська	Львівська	Луганська	Миколаївська	Одеська	Полтавська	Рівненська	Сумська	Тернопільська	Харківська	Херсонська	Хмельницька	Черкаська	Чернівецька	Чернігівська
1	Питоме водоспоживання	бали	0,3	1,0	1,3	2,0	0,7	0,0	0,7	0,0	0,7	2,0	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,7	2,0	1,3	2,0	2,0	2,0
2	Питоме водовідведення	бали	0,7	0,3	1,0	1,5	0,3	0,5	0,3	1,0	0,0	0,0	2,0	0,7	0,7	0,7	1,0	0,7	1,0	0,0	0,5	0,7	1,0	2,0	2,0	1,3	0,0
3	Забезпечення послугами водовідведення	бали	1,0	2,0	0,7	2,0	1,3	2,0	0,7	0,7	1,3	0,0	0,7	0,7	1,3	1,3	0,7	1,3	1,3	0,7	1,0	0,7	0,7	1,3	1,0	2,0	2,0
4	Стан мереж водовідведення	бали	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
5	Питомі витрати електроенергії	кВт/1000 куб.м.	751	758	276	719	808	366	649	303	118	607	396	857	650	650	389	690	981	909	680	377	307	986	1091	340	703
6	Ексфільтрація та інфільтрація (в т.ч. невраховані витрати)	бали	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	0	0	1	0	0
7	Стан насосного обладнання	бали	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
8	Стан очисних споруд	бали	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	2	1	0	0	0	1	1	2	0	1	0
9	Скид нормативно очищених стічних вод	%	98,574	99	83	61	26	93	91	99	98	93	94	80	79	79	64	89	78	92	92	94	98	99	83	96	25

Нормалізація даних за 2013 рік

№ інди- ка- тору	Область																								
	Вінницька	Волинська	Дніпропетровська	Донецька	Житомирська	Закарпатська	Запорізька	Івано-Франківська	Київська	Київ	Кіровоградська	Львівська	Луганська	Миколаївська	Одеська	Полтавська	Рівненська	Сумська	Тернопільська	Харківська	Херсонська	Хмельницька	Черкаська	Чернівецька	Чернігівська
1	0,17	0,50	0,67	1,00	0,33	0,00	0,33	0,00	0,33	1,00	0,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,25	0,33	1,00	0,67	1,00	1,00	1,00
2	0,333	0,167	0,500	0,750	0,167	0,250	0,167	0,500	0,000	0,000	1,000	0,333	0,333	0,333	0,500	0,333	0,500	0,000	0,250	0,333	0,500	1,000	1,000	0,667	0,000
3	0,013	0,027	0,009	0,027	0,018	0,027	0,009	0,009	0,018	0,000	0,009	0,009	0,018	0,018	0,009	0,018	0,018	0,009	0,013	0,009	0,009	0,018	0,013	0,027	0,027
4	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50
5	0,22	0,22	0,06	0,21	0,24	0,09	0,19	0,06	0,00	0,17	0,10	0,26	0,19	0,19	1,00	0,20	0,30	0,28	0,20	0,09	0,07	0,30	0,34	0,08	0,20
6	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
7	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
8	0,50	0,50	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	1,00	0,00	0,50	0,00
9	0,99	0,99	0,79	0,49	0,01	0,91	0,89	0,99	0,97	0,91	0,92	0,73	0,72	0,72	0,53	0,87	0,72	0,90	0,90	0,93	0,98	1,00	0,78	0,96	0,00

Таблиця Д.2.3

Визначення рівня екологічного ризику систем водовідведення України за 2013 рік

№ індика- тору	Область																								
	Вінницька	Волинська	Дніпропетровська	Донецька	Житомирська	Закарпатська	Запорізька	Івано-Франківська	Київська	Київ	Кіровоградська	Львівська	Луганська	Миколаївська	Одеська	Полтавська	Рівненська	Сумська	Тернопільська	Харківська	Херсонська	Хмельницька	Черкаська	Чернівецька	Чернігівська
1	0,018	0,055	0,073	0,110	0,037	0,000	0,037	0,000	0,037	0,110	0,000	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,027	0,037	0,110	0,073	0,110	0,110	0,110
2	0,062	0,031	0,093	0,140	0,031	0,047	0,031	0,093	0,000	0,000	0,187	0,062	0,062	0,062	0,093	0,062	0,093	0,000	0,047	0,062	0,093	0,187	0,187	0,125	0,000
3	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
4	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,324	0,162	0,162
5	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005	0,001	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,001
6	0,154	0,154	0,154	0,000	0,000	0,154	0,000	0,000	0,154	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,154	0,000	0,154	0,000	0,308	0,000	0,000	0,000	0,154	0,000	0,000
7	0,016	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,016	0,008	0,008	0,008	0,000	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
8	0,008	0,008	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,008	0,008	0,008	0,000	0,008	0,000	0,000	0,016	0,008	0,000	0,000	0,000	0,008	0,008	0,016	0,000	0,008	0,000
9	0,005	0,005	0,004	0,003	0,000	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005	0,000
ER	0,57	0,57	0,50	0,58	0,75	0,62	0,76	0,72	0,63	0,71	0,64	0,72	0,73	0,73	0,51	0,72	0,54	0,79	0,45	0,72	0,61	0,55	0,21	0,58	0,72

Додаток Д.3. Забруднення території населеного пункту стічними водами

Таблиця Д.3.1

Загальний обсяг скиду забруднень в оточуюче середовище

№ п/п	Найменування показника	Одиниця виміру	Концентрації речовин стічні води	Загальний обсяг скиду забруднень в оточуюче середовище	
				кг/рік	За 15 років, кг
1	2	3	4	5	6
1	Завислі речовини	мг/л	280	5110	76650
4	Хлориди	мг/л	350	6388	95813
5	Сульфати	мг/л	400	7300	109500
6	Фосфати	мг/л	12	219	3285
7	Залізо	мг/л	0,5	9	137
8	СПАР	мг/л	10	183	2738
9	Жири	мг/л	50	913	13688
10	Нафтопродукти	мг/л	4,5	82	1232
11	Азот амонійний	мг/л	20	365	5475
12	Нітрати	мг/л	5	91	1369
13	Нітрити	мг/л	0,5	9	137
14	Сухий залишок	мг/л	1050	19163	287438

(назва організації, що затверджує)

Додаток Д.4. Капітальні витрати до альтернативи 2

Затверджено (схвалено)

Зведений кошторисний розрахунок в сумі 15675,911 тис. грн.
В тому числі зворотних сум 0 тис. грн.

(посилання на документ про затвердження)

" " 20 р.

ЗВЕДЕНИЙ КОШТОРИСНИЙ РОЗРАХУНОК ВАРТОСТІ ОБ`ЄКТА БУДІВНИЦТВА №

Нове будівництво напірного трубопроводу господарсько-побутової каналізації з реконструкцією КНС

Складений за поточними цінами станом на 7 травня 2024 р.

№ Ч.ч	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування глав, будівель, споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			
			будівельних робіт	устаткування, меблів та інвентарю	інших витрат	загальна вартість
1	2	3	4	5	6	7
1	02-01	Глава 2. Об'єкти основного призначення «Нове будівництво напірного трубопроводу господарсько-побутової каналізації»	5115,990	-	-	5115,990
2	02-02	Реконструкція КНС	3538,558	2321,696	-	5860,254
		Разом по главі 2:	8654,548	2321,696	-	10976,244
		Разом по главах 1-7:	8654,548	2321,696	-	10976,244
		Глава 8. Тимчасові будівлі і споруди				

1	2	3	4	5	6	7
3	ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 п.5.8.11	Кошти на зведення та розбирання тимчасових будівель і споруд виробничого та допоміжного призначення, передбачених проектом (робочим проектом)	233,673	-	-	233,673
		Разом по главі 8:	233,673	-	-	233,673
		Разом по главах 1-8:	8888,221	2321,696	-	11209,917
		Глава 9. Кошти на інші роботи та витрати				
4	ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 Дод. К п. 27	Додаткові витрати при виконанні будівельних робіт у літній період	23,998	-	-	23,998
		Разом по главі 9:	23,998	-	-	23,998
		Разом по главах 1-9:	8912,219	2321,696	-	11233,915
		Глава 10. Утримання служби замовника				
5	ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 Дод. К п. 44	Кошти на утримання служби замовника (включаючи витрати на технічний нагляд) (1,5 %)	-	-	168,509	168,509
		Разом по главі 10:	-	-	168,509	168,509
		Глава 12. Проектно-вишукувальні роботи та авторський нагляд				
6	ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 Дод. К п. 52	Вартість проектних робіт	-	-	324,167	324,167
7	ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 Дод. К п. 53	Вартість експертизи проектної документації	-	-	29,118	29,118
8	ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 Дод. К п. 54	Кошти на здійснення авторського нагляду	-	-	53,400	53,400
		Разом по главі 12:	-	-	406,685	406,685
		Разом по главах 1-12:	8912,219	2321,696	575,194	11809,109
	ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 п.5.8.16	Кошторисний прибуток (П)	327,153	-	-	327,153

1	2	3	4	5	6	7
	ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 п.5.8.16 Розрахунок N П-131 Розрахунок N П-145	Кошти на покриття адміністративних витрат будівельних організацій (АВ) Кошти на покриття ризику всіх учасників будівництва	-	-	91,408	91,408
		Кошти на покриття додаткових витрат, пов'язаних з інфляційними процесами (І)	178,244	46,434	11,504	236,182
		Разом	458,132	141,275	-	599,407
		Податок на додану вартість	9875,748	2509,405	678,106	13063,259
	ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 п.5.8.16		-	-	2612,652	2612,652
	Довідка вартості виконаних робіт станом на 20 березня 2023 року	Всього по зведеному кошторисному розрахунку Виконані роботи згідно довідки Замовника	9875,748	2509,405	3290,758	15675,911
				-		
		Всього по зведеному кошторисному розрахунку з урахуванням витрат за підсумком	9875,748	2509,405	3290,758	15675,911

Додаток Д.5. Капітальні витрати до альтернативи 1

(назва організації, що затверджує)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зведений кошторисний розрахунок в сумі 39439.694 тис. грн.

В тому числі зворотних сум _____ тис. грн.

(посилання на документ про затвердження)

" ____ " _____ 20__ р.

ЗВЕДЕНИЙ КОШТОРИСНИЙ РОЗРАХУНОК
ВАРТОСТІ ОБ`ЄКТА БУДІВНИЦТВА № _____

Будівництво очисних споруд
(найменування об'єкта будівництва)

Складений в поточних цінах станом на 7 березня 2025 р.

№ Ч.ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування глав, будівель, споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			
			будівельних робіт	устаткування, меблів та інвентарю	інших витрат	загальна вартість
1	2	3	4	5	6	7
		Глава 2. Об'єкти основного призначення				
1	02-001	Очисні споруди	9486.996	10180.720		19667.716
2	02-002	Біоплато	2619.988			2619.988
3	02-003	Комплектна КНС	32.628	1390.594		1423.222
4	02-004	Реконструкція існуючою КНС	3538.558	2321.696		5860.254
5	02-005	Кошти на здійснення технічного нагляду				
		Разом за главою № 2	15678.170	13893.010		29571.180
		Глава 5. Об'єкти транспортного господарства і зв'язку				
6	05-001	Проїзди по території ЛОС	383.084			383.084
		Разом за главою № 5	383.084			383.084
		Глава 7. Благоустрій та озеленення території				

1	2	3	4	5	6	7
7	07-001	Огорожа території ЛОС	385.898			385.898
		Разом за главою № 7	385.898			385.898
		Разом за главами № 1 - 7	16447.152	13893.010		30340.162
		Глава 9. Інші роботи та витрати				
8	09-001	Кошти на відрядження працівників будівельних організацій			278.540	278.540
9	Розрахунок № П40 (Додаток 8, Настанова п.34)	Кошти на відрядження працівників будівельних організацій на об'єкт будівництва				
		Разом за главою № 9			278.540	278.540
		Разом за главами № 1 - 9	16447.152	13893.010	278.540	30618.702
		Глава 10. Утримання служб замовника та інжинірингові послуги				
10	Додаток 8, Настанова п.46	Кошти на здійснення технічного нагляду - 1,5 %			459.281	459.281
11	Додаток 8, Настанова п.47	Кошти на надання послуг інженера-консультанта - 3 %			918.561	918.561
12	Розрахунок № П107 (Додаток 8, Настанова п.49)	Кошти на формування страхового фонду документації			9.868	9.868
		Разом за главою № 10			1387.710	1387.710
		Разом за главами № 1 - 10	16447.152	13893.010	1666.250	32006.412
		Глава 12. Проектні, вишукувальні роботи, експертиза та авторський нагляд				
13	Додаток 8, Настанова п.53	Кошторисна вартість проектно-вишукувальних робіт			50.000	50.000
14	Додаток 8, Настанова п.53	Кошторисна вартість проектних робіт			680.000	680.000
15	Додаток 8, Настанова п.54	Вартість експертизи проектної документації			50.000	50.000
16	Додаток 8, Настанова п.55	Кошти на здійснення авторського нагляду			80.000	80.000
		Разом за главою № 12			860.000	860.000
		Разом за главами № 1 - 12	16447.152	13893.010	2526.250	32866.412
		Разом	16447.152	13893.010	2526.250	32866.412
		Податок на додану вартість			6573.282	6573.282

1	2	3	4	5	6	7
		Всього по зведеному кошторисному розрахунку	16447.152	13893.010	9099.532	39439.694

СклавСахновська

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірів

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Додаток Д.6. Експлуатаційні витрати до Альтернативи 1

Розрахунок експлуатаційних витрат при розміщенні локальних очисних споруд

№ з.п.	Найменування витрат	Одиниця вимірювання	Кількість за рік	Ціна за од.	Сума, грн.
1	2	3	4	5	6
1	Матеріальні витрати	-	-	-	-
1.1.	Сировина	-	-	-	-
1.2.	Матеріали	-	-	-	-
	- флокулянт	кг	113	420	47460
	- гіпохлорит натрію «А»	л	1730	80	138400
	- препарат «Еконадін»	л	800	70	56000
1.3	Електроенергія	тис. кВт-годин	182,42	6901,6	1258990
2	Вода привізна	мз	116,8	50	5840
3	Заробітна плата	чол.	0,25*12 міс.	25000*0,25*12	75000
	Відрахування (соцстрах, ін.)	-	-	-	16650
	Разом по ОС:	грн/м ³			14,60
	Водовідведення до очисних	грн/м ³			34,11
	Разом	грн/м ³			48,71

Додаток Д.7. Експлуатаційні витрати до Альтернативи 2

Витрати на експлуатацію КНС та напірного трубопроводу

№ з.п.	Найменування витрат	грн./м3
1	2	3
1	Виробнича собівартість	34,11
1.1	Прямі матеріальні витрати, у т.ч.	10,30
1.1.1	електроенергія	1,08
1.1.2	перекачка та очищення стоків	8,22
1.1.3	витрати на ремонти	1,00
1.2	Прямі витрати на оплату праці	8,2
1.3.	Інші прямі витрати	2,34
1.4.	Загальновиробничі витрати	13,27
1.4.1.	витрати на оплату праці	9,25
1.4.2.	відрахування на соціальні заходи	2,04
1.4.3.	амортизаційні відрахування	0,57
1.4.5	інші	1,41
2	Адміністративні витрати:	3,54
2.1.1	витрати на оплату праці	2,61
2.1.2	відрахування на соціальні заходи	0,57
2.1.3	амортизаційні відрахування	0,02
2.1.4	інші	0,34
	Всього експлуатаційних витрат	37,65
3	Плановий прибуток	1,51
	Всього	39,16

Додаток Д.8. Експлуатаційні витрати варіантів 1,2

Витрати на експлуатацію напірного трубопроводу довжиною 2,478 км

№ з.п.	Найменування витрат	грн./км
1	2	
1	Виробнича собівартість	47 043,34
1.1	Прямі матеріальні витрати, у т.ч.	34 473,23
1.1.1	електроенергія	0,00
1.1.2	перекачка та очищення стоків	0,00
1.1.3	витрати на ремонти	34 473,23
1.2	Прямі витрати на оплату праці	8 225,36
1.3.	Інші прямі витрати	2 347,24
1.4.	Загальновиробничі витрати	1 997,51
1.4.1.	витрати на оплату праці	9 278,61
1.4.2.	відрахування на соціальні заходи	2 045,93
1.4.3.	амортизаційні відрахування	32 217,97
1.4.5	інші	1 053,66
2	Адміністративні витрати:	3 469,43
2.1.1	витрати на оплату праці	2 618,07
2.1.2	відрахування на соціальні заходи	577,28
2.1.3	амортизаційні відрахування	20,00
2.1.4	інші	254,07
	Всього експлуатаційних витрат	50 512,77

Всього експлуатаційні витрати $OC_t = 50512,77 \cdot 2,478 = 125\,170,65$ грн./рік

Додаток Д.9. Еколого-економічна оцінка варіанту 1

Траншейний метод прокладання

Роки	IC	CF						Ставка дисконтування, i	Дисконтовані доходи, PV	NPV
		Експлуатаційні витрати, ОС	Вірогідність безвідмовної роботи, P_i	Можливий екологічний збиток, S_i	Негативні екологічні наслідки, ERC	Попередження забруднення	Всього			
-	грн.	грн.	-	грн.	грн.	грн.	грн.	-	грн.	грн.
1	3 991 807	62 585	1,00	211 112	0	15 411 164	15 348 579	0,155	13 288 813	9 297 006
2		125 171	0,93	422 224	27 915	30 822 328	30 669 243	0,155	22 990 006	32 287 012
3		125 171	0,87	422 224	53 984	30 803 113	30 623 959	0,155	19 875 377	52 162 389
4		125 171	0,81	422 224	78 329	30 803 113	30 599 613	0,155	17 194 439	69 356 827
5		125 171	0,76	422 224	101 065	30 803 113	30 576 877	0,155	14 875 899	84 232 726

Нормативна кількість відказів прийнята 0,02 ав./км·рік для поліетиленових труб, строк служби 50 років

Додаток Д.10. Еколого-економічна оцінка варіанту 2

Комбінований метод прокладання

Роки	IC	CF						Ставка дисконтування, i	Дисконтовані доходи, PV	NPV
		Експлуатаційні витрати, OC	Вірогідність безвідмовної роботи, P_i	Можливий екологічний збиток, S_i	Негативні екологічні наслідки, ERC_i	Попередження забруднення	Всього			
-	грн.	грн.	-	грн.	грн.	грн.	грн.	-	грн.	грн.
1	3 750 642	93 878	1	316 668	0	23 116 746	23 001 932	0	19 915 093	16 164 451
2		125 171	1	422 224	27 915	30 822 328	30 669 243	0	22 990 006	39 154 457
3		125 171	1	422 224	53 984	30 822 328	30 643 174	0	19 887 848	59 042 304
4		125 171	1	422 224	78 329	30 822 328	30 618 828	0	17 205 236	76 247 540
5		125 171	1	422 224	101 065	30 822 328	30 596 092	0	14 885 247	91 132 787

Нормативна кількість відказів прийнята 0,02 ав./км рік для поліетиленових труб, строк служби 50 років.

Додаток Д.11. Капітальні витрати
варіант 1

Будівництво напірного колектору населеного пункту
(найменування об'єкта будівництва)

(назва організації, що затверджує)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Локальний кошторисний розрахунок в сумі	4790.168 тис. грн.
у тому числі зворотних сум	тис. грн.

(посилання на документ про затвердження)

" ____ " _____ 20 ____ р.

Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 06-001-005

на Варіант 1. Траншейний метод
(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА: креслення(специфікації)№	Кошторисна вартість	3991.807 тис. грн.
	Кошторисна трудомісткість	20.64632 тис. люд.-год
	Кошторисна заробітна плата	1538.193 тис. грн.
	Середній розряд робіт	1.8 розряд

Складений в поточних цінах станом на 6 березня 2025 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслуговуванням машин	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	тих, що обслуговують машини	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати		
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Розділ № 1 ЗЕМЛЯНІ РОБОТИ									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ1-18-2	Розроблення ґрунту з навантаженням на автомобілі-самоскиди екскаваторами одноковшовими дизельними на гусеничному ході з ковшом місткістю 0,4 [0,35-0,45] м3, група ґрунтів 2	1000 м3 ґрунту	9.718	44441.36	42410.46	431881	19736	412145	30.4300	295.72
					2030.90	11442.55			111199	122.4136	1189.62
2	КБ1-164-2	Розробка ґрунту вручну в траншеях глибиною до 2 м без кріплень з укосами, група ґрунтів 2	100м3 ґрунту	0.98	17085.07	-	16743	16743	-	261.8000	256.56
					17085.07	-			-	-	-
3	КБ1-162-8	Розробка ґрунту вручну з кріпленням у	100м3	0.05	32313.60	-	1616	1616	-	448.8000	22.44
					32313.60	-			-	-	-
4	КБ1-163-8	Розробка ґрунту вручну в траншеях	100м3	0.05	35234.06	-	1762	1762	-	503.2000	25.16
					35234.06	-			-	-	-
5	С311-10	Перевезення ґрунту до 10 км	т	512.0	135.32	135.32	69284	-	69284	-	-
					-	14.74			7547	0.1610	82.43
6	КБ1-172-2	Кріплення дошками стінок котлованів і	100м2	0.032	12252.22	780.35	392	98	25	42.3300	1.35
					3074.00	246.53			8	2.9792	0.10
7	КБ1-13-1	Розроблення ґрунту у відвал екскаваторами	1000м3	0.24	19589.33	18952.63	4701	153	4548	9.5400	2.29
					636.70	5540.48			1330	58.9016	14.14
8	С311-10	Перевезення ґрунту до 10 км	т	408.0	135.32	135.32	55211	-	55211	-	-
					-	14.74			6014	0.1610	65.69
9	КБ1-166-1	Засипка вручну траншей, пазух котлованів і	100м3	97.18	9669.42	-	939674	939674	-	150.4500	14620.73
					9669.42	-			-	-	-
10	КБ23-1-1	Улаштування піщаної основи під	10м3	2.3	10187.26	-	23431	2628	-	16.3200	37.54
					1142.73	-			-	-	-
11	КБ1-27-4	Засипка траншей і котлованів бульдозерами	1000м3	8.34	6619.62	6619.62	55208	-	55208	-	-
					-	1300.39			10845	12.0516	100.51
12	КБ1-134-1	Ущільнення ґрунту пневматичнимиІ	100м3	8.4	2728.48	1382.88	22919	11303	11616	18.3600	154.22
					1345.60	413.63			3474	5.1175	42.99
		Разом прямих витрат по розділу № 1					1622822	993713	608037		15416.01
									140417		1495.48
		Розділ № 2 Прокладання трубопроводу в траншеях з укосами									
13	КБ22-11-5	Укладання трубопроводів із поліетиленових труб діаметром 160 мм з гідрравличним випробуванням	1000м	0.639	49764.07	16721.60	31799	19945	10685	395.2000	252.53
					31212.90	5235.13			3345	65.6365	41.94

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14	KB22-11-3	Укладання трубопроводів з поліетиленових труб з гідравлічним випробуванням, зовнішній діаметр 110 мм	1 км трубопроводу	2.478	37382.42	11797.10	92634	61464	29233	310.4000	769.17
					24804.06	3692.80			9151	46.3270	114.80
15	C113-1380	Труби поліетиленові для подачі холодної води PE 100 SDR-17(1,0 МПа), зовнішній діаметр 110x6,6 мм	м	2483.0	261.78		650000				
16	C113-1383	Труби поліетиленові для подачі холодної води PE 100 SDR-17(1,0 МПа), зовнішній діаметр 160x9,5 мм	м	645.0	546.53		352512				
17	KB23-23-1	Приєднання каналізаційних трубопроводів до існуючої мережі в сухих ґрунтах	шт	5.0	2569.45	109.05	12847	10513	545	26.9400	134.70
					2102.67	31.36			157	0.3362	1.68
18	KB22-36-2	Установлення сталевих засувки або клапанів зворотних діаметром 100 мм	шт	5.0	391.25	27.87	1956	1086	139	2.7500	13.75
					217.20	8.80			44	0.1064	0.53
19	KB22-36-3	Установлення сталевих засувки або клапанів зворотних діаметром 150 мм	шт	4.0	873.46	334.96	3494	1245	1340	3.9400	15.76
					311.18	94.13			377	0.9357	3.74
20	C1630-72	Засувки клинова фланцева коротка F4,	шт	3.0	6714.63		20144				
21	C1630-72	Засувки клинова фланцева коротка F4,	шт	2.0	11492.93		22986				
22	C1630-1413	Зворотний клапан шаровий DN150, PN16	шт	2.0	6484.93		12970				
23	KB22-33-5	Установлення сталевих зварних фасонних	т	0.15	360317.63	32864.26	54048	5058	4930	353.8000	53.07
					33717.14	668.11			100	8.0707	1.21
24	C130-939	Фланці плоскі глухі, діаметр 100 мм	шт	2.0	1146.40		2293				
25	C113-	Втулка під фланець PE 100 SDR17 Ду 160	шт	2.0	592.79	-	1186	-	-	-	-
					-	-			-	-	-
26	C113-	Втулка під фланець PE 100 SDR17 Ду 100	шт	6.0	266.39	-	1598	-	-	-	-
					-	-			-	-	-
27	C113-	Коліно чавунне фланцеве Ду 150 мм	шт	4.0	4802.84	-	19211	-	-	-	-
					-	-			-	-	-
28	C1530-164	Перехід чавунний фланцевий, діаметр	10шт	0.1	31623.20		3162				
29	C113-1587	Універсальний фланцевий адаптер Ду100,	шт	2.0	2553.28		5107				
30	C113-90	Трійники чавунні фланцеві 100x100 мм PN10	10шт	0.1	54399.88		5440				
31	C113-90	Трійники чавунні фланцеві 150x150 мм	10шт	0.1	91833.88		9183				
32	C113-90	Трійники чавунні прохід 150x100 мм	10шт	0.1	81633.88		8163				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
33	C1532-14	Хрестовина чавунна фланцева Ду 100х100	шт	1.0	12243.16		12243				
34	C113-1589	Адаптер фланцевий універсальний, Ду 150	шт	2.0	3124.40		6249				
35	C113-1070	Сідло фланцеве чавунне з хомутом з	шт	2.0	4492.14		8984				
36	C1545-482	Болт М16х80 з нержавіючою сталі	шт	88.0	157.58		13867				
37	C1545-482	Болт М20х100 з нержавійчої сталі	шт	96.0	178.70		17155				
38	C113-2122	Шайба плоска М16 з нежавіючої сталі	шт	88.0	15.48		1362				
39	C113-2122	Шайба плоска 20 з нежавіючої сталі	шт	96.0	20.58		1976				
40	C1545-470	Гайка М16 з нержавіючої сталі	шт	88.0	30.93		2722				
41	C1545-470	Гайка М20 з нежавіючої сталі	шт	96.0	36.03		3459				
42	C1536-171	Ковзаючі опори R110 (h=25 мм)	шт	74.0	334.32		24740				
43	C1536-171	Ковзаючі опори R160 (h=8 мм)	шт	62.0	439.15		27227				
44	C1534-20	Коліно 90 град Ду 110х6,6 мм ПЕ 100 SDR 17	шт	6.0	496.58		2979				
45	C1534-20	Коліно 148 град Ду 110х6,6 мм ПЕ 100 SDR	шт	1.0	502.70		503				
46	C1534-20	Коліно 127 град Ду 110х6,6 мм ПЕ 100 SDR	шт	1.0	511.66		512				
47	C1534-20	Коліно 135 град Ду 110х6,6 мм ПЕ 100 SDR	шт	2.0	508.60		1017				
48	C1534-20	Коліно 168 град Ду 110х6,6 мм ПЕ 100 SDR	шт	1.0	508.60		509				
49	C1534-20	Коліно 159 град Ду 110х6,6 мм ПЕ 100 SDR	шт	1.0	510.64		511				
50	C1534-20	Коліно 135 град Ду 160х9,5 мм ПЕ 100 SDR	шт	3.0	1249.85		3750				
51	C1534-20	Коліно 105 град Ду 160х9,5 мм ПЕ 100 SDR	шт	1.0	460.45		460				
52	KP2-15-1	Улаштування бетонних упорів	100 м3	0.05	415280.28	46242.37	20764	2386	2312	657.0000	32.85
					47711.34	11542.47			577	108.5551	5.43
53	KB23-13-7	Улаштування круглих збірних	10м3	0.2998	80669.55	8481.94	24185	2606	2543	111.3600	33.39
					8691.65	2274.87			682	21.8844	6.56
54	K585521-	Кільця КС20.9 залізобетонні серія 3.900.1-	шт	2.0	4252.70	-	8505	-	-	-	-
					-	-			-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
55	K585521-	Кільця КС20.6 залізобетонні серія 3.900.1-14	шт	1.0	3544.31	-	3544	-	-	-	-
56	K585521-	Плити покриття ЗПП20-1-1 залізобетонні	шт	1.0	8012.63	-	8013	-	-	-	-
57	K585521-	Плити днищ ПН20 залізобетонні серія 3.900.	шт	1.0	8441.65	-	8442	-	-	-	-
58	K585521-	Кільця КС7.3 залізобетонні серія 3.900.1-14	шт	2.0	820.67	-	1641	-	-	-	-
59	K585521-	Кільця опорні КО6 залізобетонні серія 3.900.	шт	4.0	391.49	-	1566	-	-	-	-
60	KB8-3-7	Гідроізоляція обмазувальна колодязів	100м2	0.099852	15570.56	-	1555	274	-	33.5000	3.35
61	KP20-23-3	Пробивання отворів в залізобетонних	шт	2.0	219.28	129.65	439	161	259	1.1300	2.26
62	C111-1788	Скоби ходові	шт	12.0	115.88	-	1391	-	-	-	-
63	C113-754	Люк чавунний для колодязів важкий	шт	2.0	4086.19	-	8172	-	-	-	-
64	KB23-13-5	Улаштування круглих збірних	10м3	0.362	83879.96	8744.28	30365	4159	3165	147.2000	53.29
65	K585521-	Кільця КС15.9 залізобетонні серія 3.900.1-	шт	4.0	2443.75	-	9775	-	-	-	-
66	K585521-	Кільця КС15.6 залізобетонні серія 3.900.1-	шт	2.0	1811.83	-	3624	-	-	-	-
67	K585521-	Плити покриття ІПП15-1 залізобетонні	шт	2.0	3700.51	-	7401	-	-	-	-
68	K585521-	Плити днищ ПН15 залізобетонні серія 3.900.	шт	2.0	3978.47	-	7957	-	-	-	-
69	K585521-	Кільця КС7.3 залізобетонні серія 3.900.1-14	шт	2.0	820.67	-	1641	-	-	-	-
70	K585521-	Кільця опорні КО6 залізобетонні серія 3.900.	шт	4.0	391.49	-	1566	-	-	-	-
71	KB8-3-7	Гідроізоляція обмазувальна колодязів	100м2	0.08496	15570.56	-	1323	233	-	33.5000	2.85
72	KP20-23-3	Пробивання отворів в залізобетонних	шт	4.0	219.28	129.65	877	322	519	1.1300	4.52
					80.59	39.01			156	0.4838	1.94

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Разом прямих витрат по розділу № 2					1593704	109452	55670		1371.49
									15519		187.06
		Разом прямих витрат по кошторису					3216526	1103165	663707		16787.50
									155936		1682.54
		Разом прямі витрати				грн.	3216526				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	1449654				
		вартість ЕММ				грн.	663707				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		155936			
		заробітна плата робітників				грн.		1103165			
		всього заробітна плата				грн.		1259101			
		Загальновиробничі витрати				грн.	775281				
		трудоємність в загальновиробничих витратах				люд-г					2176.28
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		279092			
№ Ч.ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування глав, будинків, будівель, споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.								
			будівельних робіт		устаткування, меблів та інвентарю		інших витрат		загальна вартість		
			1	2	3	4	5	6	7		
			Глава 6. Зовнішні мережі і споруди водопостачання, каналізації, тепlopостачання та газопостачання								
			1	06-001-005	Обічний метод сталь	3991.807					3991.807
					Разом по главі № 6	3991.807					3991.807
					Разом за главами № 1 - 7	3991.807					3991.807
					Разом за главами № 1 - 12	3991.807					3991.807
					Разом	3991.807					3991.807
					Податок на додану вартість				798.361		798.361
					Всього по зведеному кошторисному розрахунку	3991.807			798.361		4790.168
					у тому числі поставка замовника без ПДВ						
					Податок на додану вартість						

1	2	3	4	5	6	7
		Всього поставка замовника з ПДВ				

Керівник проєктної організації

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Головний інженер проєкту

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Керівник відділу

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Будівництво напірного колектору населеного пункту
(найменування об'єкта будівництва)
(назва організації, що затверджує)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Локальний кошторисний розрахунок в сумі	4500.770 тис. грн.
у тому числі зворотних сум	тис. грн.

(посилання на документ про затвердження)

" " 20 р.

Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 06-001-004

на Варіант 2. Комплексний метод
(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА: креслення(специфікації)№	Кошторисна вартість	3750.642 тис. грн.
	Кошторисна трудомісткість	12.05664 тис. люд.-год
	Кошторисна заробітна плата	975.554 тис. грн.
	Середній розряд робіт	2.7 розряд

Складений в поточних цінах станом на 6 березня 2025 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслугову- ванням машин				
					Всього	експлуа- тації машин	Всього	заробітної плати	експлуа- тації машин					
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати	в тому числі заробітної плати	тих, що обслуговують машини	
													на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
		Розділ № 1 1. ЗЕМЛЯНІ РОБОТИ												

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ1-18-2	Розроблення ґрунту з навантаженням на автомобілі-самоскиди екскаваторами одноковшовими дизельними на гусеничному ході з ковшом місткістю 0,4 [0,35-0,45] м3, група ґрунтів 2	1000 м3 ґрунту	8.058	44441.36	42410.46	358108	16365	341743	30.4300	245.20
					2030.90	11442.55			92204	122.4136	986.41
2	КБ1-164-2	Розробка ґрунту вручну в траншеях глибиною до 2 м без кріплень з укосами, група ґрунтів 2	100м3 ґрунту	8.382	17085.07	-	143207	143207	-	261.8000	2194.41
					17085.07	-			-	-	-
3	КБ1-162-8	Розробка ґрунту вручну з кріпленням у	100м3	2.16	32313.60	-	69797	69797	-	448.8000	969.41
					32313.60	-			-	-	-
4	КБ1-163-8	Розробка ґрунту вручну в траншеях	100м3	0.24	35234.06	-	8456	8456	-	503.2000	120.77
					35234.06	-			-	-	-
5	С311-10	Перевезення ґрунту до 10 км	т	408.0	135.32	135.32	55211	-	55211	-	-
					-	14.74			6014	0.1610	65.69
6	КБ1-172-2	Кріплення дошками стінок котлованів і	100м2	2.8	12252.22	780.35	34306	8607	2185	42.3300	118.52
					3074.00	246.53			690	2.9792	8.34
7	КБ1-13-1	Розроблення ґрунту у відвал екскаваторами	1000м3	0.24	19589.33	18952.63	4701	153	4548	9.5400	2.29
					636.70	5540.48			1330	58.9016	14.14
8	С311-10	Перевезення ґрунту до 10 км	т	408.0	135.32	135.32	55211	-	55211	-	-
					-	14.74			6014	0.1610	65.69
9	КБ1-166-1	Засипка вручну траншей, пазах котлованів і	100м3	8.382	9669.42	-	81049	81049	-	150.4500	1261.07
					9669.42	-			-	-	-
10	КБ23-1-1	Улаштування піщаної основи під	10м3	17.346	10187.26	-	176708	19822	-	16.3200	283.09
					1142.73	-			-	-	-
11	КБ1-27-4	Засипка траншей і котлованів бульдозерами	1000м3	7.35034	6619.62	6619.62	48656	-	48656	-	-
					-	1300.39			9558	12.0516	88.58

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	КБ1-134-1	Ущільнення ґрунту пневматичними	100м3	72.03333	2728.48	1382.88	196542	96928	99614	18.3600	1322.53
		1345.60			413.63	29795			5.1175	368.63	
		Разом прямих витрат по розділу № 1						1231952	444384	607168	6517.29
										145605	1597.48
		Розділ № 2 3. ПРОКЛАДАННЯ ТРУБОПРОВОДУ МЕТОДОМ ГСБ ДІАМЕТРОМ 200 (ФУТЛЯР) ММ L=110 М									
13	КБ22-53-6	Розширення свердловини установками горизонтально спрямованого буріння, сила протяжки до 11000 кг, група ґрунту 2, діаметр розширення понад 110 мм до 200 мм	10 м	11.0	3376.05	2714.93	37137	6763	29864	7.3200	80.52
					614.81	516.91			5686	5.5287	60.82
14	КБ22-53-7	Розширення свердловини установками горизонтально спрямованого буріння, сила протяжки до 11000 кг, група ґрунту 2, діаметр розширення понад 110 мм до 200 мм	10 м	11.0	3447.42	2745.02	37922	6837	30195	7.4000	81.40
					621.53	522.55			5748	5.5890	61.48

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	КБ22-57-4	Протягування нитки трубопроводу з поліетиленових труб у свердловину установками горизонтально спрямованого буріння, сила протяжки до 11000 кг, зовнішній діаметр труб понад 100 до 200	10 м	11.0	1074.73	920.80	11822	1663	10129	1.8000	19.80
					151.18	173.96			1914	1.8540	20.39
16	КБ22-60-3	Збирання нитки трубопроводу зі поліетиленових труб, зовнішній діаметр 110	10 м	11.0	183.09	109.46	2014	795	1204	0.8600	9.46
					72.23	34.10			375	0.4254	4.68
17	КБ22-60-6	Збирання нитки трубопроводу зі поліетиленових труб, зовнішній діаметр 200	10 м	11.0	349.99	207.99	3850	1534	2288	1.6600	18.26
					139.42	64.17			706	0.7896	8.69
18	КБ22-62-3	Установлення та знімання оголовка для протягування трубопроводів з поліетиленових труб, діаметр трубопроводу понад 200 мм до 315 мм	оголовок	5.0	470.01	348.37	2350	608	1742	1.4700	7.35
					121.64	74.47			372	0.7122	3.56
19	КБ22-47-1	Протягування у футляр труб діаметром 100 мм	100м	1.1	13184.93	27.87	14503	7504	31	84.4000	92.84
					6822.05	8.80			10	0.1064	0.12
20	С113-1385	Труби поліетиленові для подачі холодної води PE 100 SDR-17(1,0 МПа), зовнішній діаметр 200x11,9 мм	м	111.1	700.53		77829				
21	С113-1380	Труби поліетиленові для подачі холодної води PE 100 SDR-17(1,0 МПа), зовнішній діаметр 110x6,6 мм	м	111.1	261.78		29084				
Разом прямих витрат по розділу № 2							216511	25704	75453		309.63
									14811		159.74
Розділ № 3 4. ПРОКЛАДАННЯ ТРУБОПРОВОДУ МЕТОДОМ ГСБ ДІАМЕТРОМ 110 ММ L=554,0 М											

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
22	КБ22-53-6	Розширення свердловини установками горизонтально спрямованого буріння, сила протяжки до 11000 кг, група ґрунту 2, діаметр розширення понад 110 мм до 200 мм	10 м	55.4	3376.05	2714.93	187033	34060	150407	7.3200	405.53
					614.81	516.91			28637	5.5287	306.29
23	КБ22-57-4	Протягування нитки трубопроводу з поліетиленових труб у свердловину установками горизонтально спрямованого буріння, сила протяжки до 11000 кг, зовнішній діаметр труб понад 100 до 200 мм	10 м	55.4	1074.73	920.80	59540	8375	51012	1.8000	99.72
					151.18	173.96			9637	1.8540	102.71
24	КБ22-60-3	Збирання нитки трубопроводу зі поліетиленових труб, зовнішній діаметр 110 мм	10 м	55.4	183.09	109.46	10143	4002	6064	0.8600	47.64
					72.23	34.10			1889	0.4254	23.57
25	КБ22-62-2	Установлення та знімання оголовка для протягування трубопроводів із поліетиленових труб, діаметр трубопроводу понад 110 мм до 200 мм	1 оголовок	5.0	131.43	54.47	657	385	272	0.9300	4.65
					76.96	2.80			14	0.0342	0.17
26	С113-1380	Труби поліетиленові для подачі холодної води PE 100 SDR-17(1,0 МПа), зовнішній діаметр 110х6,6 мм	м	559.4	381.56		213445				
Разом прямих витрат по розділу № 3							470818	46822	207755		557.54
									40177		432.74
Розділ № 4 Прокладання трубопроводу в траншеях з укосами											
27	КБ22-11-5	Укладання трубопроводів із поліетиленових труб діаметром 160 мм з гідравличним випробуванням	1000м	0.529	49764.07	16721.60	26325	16512	8846	395.2000	209.06
					31212.90	5235.13			2769	65.6365	34.72
28	КБ22-11-3	Укладання трубопроводів з поліетиленових труб з гідравличним випробуванням, зовнішній діаметр 110 мм	1 км трубопроводу	1.949	37382.42	11797.10	72858	48343	22993	310.4000	604.97
					24804.06	3692.80			7197	46.3270	90.29
29	С113-1380	Труби поліетиленові для подачі холодної води PE 100 SDR-17(1,0 МПа), зовнішній діаметр 110х6,6 мм	м	1968.49	261.78		515311				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30	C113-1383	Труби поліетиленові для подачі холодної води PE 100 SDR-17(1,0 МПа), зовнішній діаметр 160x9,5 мм	м	534.29	546.53		292006				
31	KB23-23-1	Приєднання каналізаційних трубопроводів до існуючої мережі в сухих ґрунтах	шт	3.0	2569.45	109.05	7708	6308	327	26.9400	80.82
					2102.67	31.36			94	0.3362	1.01
32	KB22-36-2	Установлення сталевих засувок або клапанів зворотних діаметром 100 мм	шт	3.0	391.25	27.87	1174	652	84	2.7500	8.25
					217.20	8.80			26	0.1064	0.32
33	KB22-36-3	Установлення сталевих засувок або клапанів зворотних діаметром 150 мм	шт	4.0	873.46	334.96	3494	1245	1340	3.9400	15.76
					311.18	94.13			377	0.9357	3.74
34	C1630-72	Засувки клинова фланцева коротка F4,	шт	3.0	6714.63		20144				
35	C1630-72	Засувки клинова фланцева коротка F4,	шт	2.0	11492.93		22986				
36	C1630-1413	Зворотний клапан шаровий DN150, PN16	шт	2.0	6484.93		12970				
37	KB22-33-5	Установлення сталевих зварних фасонних	т	0.15	360317.63	32864.26	54048	5058	4930	353.8000	53.07
					33717.14	668.11			100	8.0707	1.21
38	C130-939	Фланці плоскі глухі, діаметр 100 мм	шт	2.0	1146.40		2293				
39	C113-	Втулка під фланець PE 100 SDR17 Ду 160	шт	2.0	592.79	-	1186	-	-	-	-
					-	-			-	-	-
40	C113-	Втулка під фланець PE 100 SDR17 Ду 100	шт	6.0	266.39	-	1598	-	-	-	-
					-	-			-	-	-
41	C113-	Коліно чавунне фланцеве Ду 150 мм	шт	4.0	4802.84	-	19211	-	-	-	-
					-	-			-	-	-
42	C1530-164	Перехід чавунний фланцевий, діаметр	10шт	0.1	31623.20		3162				
43	C113-1587	Універсальний фланцевий адаптер Ду100,	шт	2.0	2553.28		5107				
44	C113-90	Трійники чавунні фланцеві 100x100 мм PN10	10шт	0.1	54399.88		5440				
45	C113-90	Трійники чавунні фланцеві 150x150 мм	10шт	0.1	91833.88		9183				
46	C113-90	Трійники чавунні прохід 150x100 мм	10шт	0.1	81633.88		8163				
47	C1532-14	Хрестовина чавунна фланцева Ду 100x100	шт	1.0	12243.16		12243				
48	C113-1589	Адаптер фланцевий універсальний, Ду 150	шт	2.0	3124.40		6249				
49	C113-1070	Сідло фланцеве чавунне з хомутом з	шт	2.0	4492.14		8984				
50	C1545-482	Болт M16x80 з нержавіючою сталі	шт	88.0	157.58		13867				
51	C1545-482	Болт M20x100 з нержавіючої сталі	шт	96.0	178.70		17155				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
52	C113-2122	Шайба плоска М16 з нежарівуючої сталі	шт	88.0	15.48		1362				
53	C113-2122	Шайба плоска 20 з нежарівуючої сталі	шт	96.0	20.58		1976				
54	C1545-470	Гайка М16 з нержавіуючої сталі	шт	88.0	30.93		2722				
55	C1545-470	Гайка М20 з нежарівуючої сталі	шт	96.0	36.03		3459				
56	C1536-171	Ковзаючі опори R110 (h=25 мм)	шт	74.0	334.32		24740				
57	C1536-171	Ковзаючі опори R160 (h=8 мм)	шт	62.0	439.15		27227				
58	C1534-20	Коліно 90 град Ду 110х6,6 мм ПЕ 100 SDR 17	шт	6.0	496.58		2979				
59	C1534-20	Коліно 148 град Ду 110х6,6 мм ПЕ 100 SDR	шт	1.0	502.70		503				
60	C1534-20	Коліно 127 град Ду 110х6,6 мм ПЕ 100 SDR	шт	1.0	511.66		512				
61	C1534-20	Коліно 135 град Ду 110х6,6 мм ПЕ 100 SDR	шт	2.0	508.60		1017				
62	C1534-20	Коліно 168 град Ду 110х6,6 мм ПЕ 100 SDR	шт	1.0	508.60		509				
63	C1534-20	Коліно 159 град Ду 110х6,6 мм ПЕ 100 SDR	шт	1.0	510.64		511				
64	C1534-20	Коліно 135 град Ду 160х9,5 мм ПЕ 100 SDR	шт	3.0	1249.85		3750				
65	C1534-20	Коліно 105 град Ду 160х9,5 мм ПЕ 100 SDR	шт	1.0	460.45		460				
66	KP2-15-1	Улаштування бетонних упорів	100 м3	0.05	415280.28	46242.37	20764	2386	2312	657.0000	32.85
					47711.34	11542.47			577	108.5551	5.43
67	KB23-13-7	Улаштування круглих збірних	10м3	0.2998	80669.55	8481.94	24185	2606	2543	111.3600	33.39
					8691.65	2274.87			682	21.8844	6.56
68	K585521-	Кільця КС20.9 залізобетонні серія 3.900.1-	шт	2.0	4252.70	-	8505	-	-	-	-
					-	-			-	-	-
69	K585521-	Кільця КС20.6 залізобетонні серія 3.900.1-14	шт	1.0	3544.31	-	3544	-	-	-	-
					-	-			-	-	-
70	K585521-	Плити покриття ЗПП20-1-1 залізобетонні	шт	1.0	8012.63	-	8013	-	-	-	-
					-	-			-	-	-
71	K585521-	Плити днищ ПН20 залізобетонні серія 3.900.	шт	1.0	8441.65	-	8442	-	-	-	-
					-	-			-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
72	K585521-	Кільця КС7.3 залізобетонні серія 3.900.1-14	шт	2.0	820.67	-	1641	-	-	-	-
73	K585521-	Кільця опорні КО6 залізобетонні серія 3.900.	шт	4.0	391.49	-	1566	-	-	-	-
74	KB8-3-7	Гідроізоляція обмазувальна колодязів	100м2	0.099852	15570.56	-	1555	274	-	33.5000	3.35
75	KP20-23-3	Пробивання отворів в залізобетонних	шт	2.0	219.28	129.65	439	161	259	1.1300	2.26
76	C111-1788	Скоби ходові	шт	12.0	115.88	-	1391	-	-	-	-
77	C113-754	Люк чавунний для колодязів важкий	шт	2.0	4086.19	-	8172	-	-	-	-
78	KB23-13-5	Улаштування круглих збірних	10м3	0.362	83879.96	8744.28	30365	4159	3165	147.2000	53.29
79	K585521-	Кільця КС15.9 залізобетонні серія 3.900.1-	шт	4.0	2443.75	-	9775	-	-	-	-
80	K585521-	Кільця КС15.6 залізобетонні серія 3.900.1-	шт	2.0	1811.83	-	3624	-	-	-	-
81	K585521-	Плити покриття ІПП15-1 залізобетонні	шт	2.0	3700.51	-	7401	-	-	-	-
82	K585521-	Плити днищ ПН15 залізобетонні серія 3.900.	шт	2.0	3978.47	-	7957	-	-	-	-
83	K585521-	Кільця КС7.3 залізобетонні серія 3.900.1-14	шт	2.0	820.67	-	1641	-	-	-	-
84	K585521-	Кільця опорні КО6 залізобетонні серія 3.900.	шт	4.0	391.49	-	1566	-	-	-	-
85	KB8-3-7	Гідроізоляція обмазувальна колодязів	100м2	0.08496	15570.56	-	1323	233	-	33.5000	2.85
86	KP20-23-3	Пробивання отворів в залізобетонних	шт	4.0	219.28	129.65	877	322	519	1.1300	4.52
					80.59	39.01			156	0.4838	1.94
		Разом прямих витрат по розділу № 4					1367338	88259	47318		1104.44
									12908		154.45
		Разом прямих витрат по кошторису					3286619	605169	937694		8488.90
									213501		2344.41
		Разом прямі витрати				грн.	3286619				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	1743756				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		вартість ЕММ				грн.	937694				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		213501			
		заробітна плата робітників				грн.		605169			
		всього заробітна плата				грн.		818670			
		Загальновиробничі витрати				грн.	464023				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах				люд-г					1223.33
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		156884			
		Всього по кошторису				грн.	3750642				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					12056.64
		Кошторисна заробітна плата				грн.		975554			
№ Ч.ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування глав, будинків, будівель, споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.								
			будівельних робіт	устаткування, меблів та інвентарю	інших витрат	загальна вартість					
1	2	3	4	5	6	7					
		Глава 6. Зовнішні мережі і споруди водопостачання, каналізації, теплопостачання та газопостачання									
1	06-001-004	Страницы из Том 4 Кошторис-3	3750.642			3750.642					
		Разом по главі № 6	3750.642			3750.642					
		Разом за главами № 1 - 7	3750.642			3750.642					
		Разом за главами № 1 - 12	3750.642			3750.642					
		Разом	3750.642			3750.642					
		Податок на додану вартість						750.128			750.128
		Всього по зведеному кошторисному розрахунку	3750.642					750.128			4500.770