

УДК 504.064.2:628.3 (477.42)  
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2025.3\(501\).31](https://doi.org/10.15589/znp2025.3(501).31)

## ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF BIOENGINEERING SYSTEMS FOR WASTEWATER TREATMENT IN THE CITY OF ZHYTOMYR

### ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА БІОІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У МІСТІ ЖИТОМИРІ

**Danilo V. Chistilin<sup>1</sup>**  
danacistilin08@gmail.com  
ORCID: 0009-0009-9149-8089

**Liudmyla I. Demchuk<sup>1</sup>**  
ke\_dlm@ztu.edu.ua  
ORCID: 0000-0001-5698-7113

**Nataliia M. Rusetska<sup>2</sup>**  
rusya050@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-5568-4708

**Д. В. Чістілін<sup>1</sup>,**  
здобувач вищої освіти

**Л. І. Демчук<sup>1</sup>,**  
канд. пед. наук, доцент

**Н. М. Русецька<sup>2</sup>,**  
викладач природничих наук

<sup>1</sup> *Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr*

<sup>2</sup> *Zhytomyr Agricultural College, Zhytomyr*

<sup>1</sup> *Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир*

<sup>2</sup> *Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир*

**Abstract.** This article analyzes existing approaches to biological wastewater treatment, their effectiveness, and potential impact on the environment. Various types of bioreactors, biofilters, bio-ponds, and other innovative solutions that can be adapted to the conditions of Zhytomyr are considered. The effectiveness of removing organic pollutants, nitrogen, phosphorus, heavy metals, and other priority pollutants using bioengineering methods is assessed. The potential risks associated with the operation of bioengineering systems, such as the formation of excess sludge, as well as their environmental benefits (reduction of energy consumption, reduction of chemical load, improvement of water quality) were analyzed. The possibility of implementing and optimizing bioengineering systems, taking into account the specifics of Zhytomyr, including the qualitative and quantitative composition of wastewater, was investigated. Based on the assessment, recommendations were developed for the selection and implementation of the most environmentally safe and economically feasible bioengineering solutions to improve the quality of wastewater treatment in Zhytomyr, contributing to the sustainable development of the city and the conservation of its water resources. The article is relevant for specialists in the field of ecology, bioengineering, and public utilities who make decisions on the implementation of new wastewater treatment technologies.

The *objective* is to determine the environmental feasibility of bioengineering systems for wastewater treatment in Zhytomyr by conducting a comprehensive environmental assessment followed by the development of scientifically sound recommendations for municipal utilities.

*Methodology.* Bioengineering solutions for wastewater treatment in cities are a promising direction in modern water treatment, as they offer environmentally safe and often cost-effective alternatives to traditional physical and chemical methods. Research in this field is multifaceted and requires the use of a variety of techniques. Research into bioengineering solutions for wastewater treatment typically includes laboratory, pilot, and full-scale experiments, as well as systems analysis and modeling.

The *results* of the work can serve as a basis for making informed decisions on the implementation of environmentally sustainable and effective wastewater treatment technologies, which will contribute to improving the quality of the environment and sustainable development of the region.

The *scientific novelty* lies in the development of an integrated environmental assessment model that will allow comparing the life cycle and impact on biodiversity of various bioengineering solutions for wastewater treatment in Zhytomyr, offering informed recommendations for the sustainable development of urban infrastructure.

The *practical significance* is not just scientific research, but a critically important tool for making informed decisions on modernizing water treatment infrastructure, ensuring environmental safety, economic efficiency, and sustainable development of the city.

**Key words:** environmental assessment; pollution; environment; pollutants; environmental risks; wastewater sludge; bioengineering systems; treatment; optimization; minimization.

**Анотація.** В даній статті проаналізовано існуючі підходи до біологічної очистки стічних вод, їх ефективність та потенційний вплив на навколишнє природне середовище. Розглянуто різні типи біореакторів, біофільтрів, ставків-біоплато та інших інноваційних рішень, які можуть бути адаптовані для умов Житомира. Проведено оцінку ефективності видалення органічних забруднень, азоту, фосфору, важких металів та інших пріоритетних забруднювачів з використанням біоінженерних методів. Проаналізовано потенційні ризики, пов'язані з експлуатацією біоінженерних систем наприклад, утворення надлишкового мулу, а також їхні екологічні переваги (зниження енергоспоживання, зменшення хімічного навантаження, покращення якості водних об'єктів). Досліджено можливість впровадження та оптимізації біоінженерних систем з урахуванням специфіки Житомира, включаючи якісний та кількісний склад стічних вод. На основі проведеної оцінки розроблено рекомендації щодо вибору та впровадження найбільш екологічно безпечних та економічно доцільних біоінженерних рішень для покращення якості очищення стічних вод у Житомирі, сприяючи сталому розвитку міста та збереженню його водних ресурсів. Стаття є актуальною для фахівців у галузі екології, біоінженерії, комунального господарства, які приймають рішення щодо впровадження нових технологій очищення стічних вод.

**Мета** – визначення екологічної доцільності біоінженерних систем для очищення стічних вод у м. Житомирі шляхом проведення всебічної екологічної оцінки з подальшою розробкою науково обґрунтованих рекомендацій для комунальних підприємств.

**Методика.** Біоінженерні рішення для очищення стічних вод у містах є перспективним напрямком у сучасному водоочищенні, оскільки вони пропонують екологічно безпечні та часто економічно вигідні альтернативи традиційним фізико-хімічним методам. Дослідження в цій галузі є багатограними і вимагають застосування різноманітних методик. Дослідження біоінженерних рішень для очищення стічних вод, як правило, включають лабораторні, пілотні та повномасштабні експерименти, а також системний аналіз та моделювання.

**Результати** роботи можуть слугувати основою для прийняття обґрунтованих рішень щодо впровадження екологічно сталих та ефективних технологій очищення стічних вод, що сприятиме покращенню якості довкілля та сталому розвитку регіону.

**Наукова новизна** полягає у розробці моделі інтегрованої екологічної оцінки, яка дозволить порівняти життєвий цикл та вплив на біорізноманіття різних біоінженерних рішень для очищення стічних вод у м. Житомирі, пропонуючи обґрунтовані рекомендації для сталого розвитку міської інфраструктури.

**Практична значимість** є не просто науковим дослідженням, а критично важливим інструментом для прийняття обґрунтованих рішень щодо модернізації інфраструктури водоочищення, забезпечення екологічної безпеки, економічної ефективності та сталого розвитку міста.

**Ключові слова:** екологічна оцінка; забруднення; довкілля; забруднюючі речовини; екологічні ризики; осади стічних вод; біоінженерні системи; очищення; оптимізація; мінімізація.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Зростаюча урбанізація та промисловий розвиток міста Житомира призводять до збільшення обсягів утворення стічних вод, що містять різноманітні забруднюючі речовини (органічні сполуки, важкі метали, азот, фосфор, мікробіологічні забруднення тощо). Недостатня або неефективна очистка цих вод становить серйозну загрозу для екологічного стану річок Тетерів та Кам'янка, їх приток, ґрунтових вод, а також здоров'я населення міста та навколишніх територій. Традиційні методи очистки стічних вод часто є енергоємними, вимагають значних експлуатаційних витрат та можуть мати власні екологічні ризики (наприклад, утворення надлишкових осадів).

Біологічні та біоінженерні системи очищення стічних вод, що ґрунтуються на використанні природних процесів та мікроорганізмів, стають все більш привабливою альтернативою завдяки їхній потенційній ефективності, екологічній безпеці та, в деяких випадках, меншим експлуатаційним витратам. У контексті Житомира, з його прагненням до сталого розвитку та європейських екологічних стандартів, оцінка доцільності та ефективності впровадження таких систем

є критично важливою. Нами було проаналізовано поточний стан очистки стічних вод у Житомирі; критеріальний аналіз та обґрунтування вибору найбільш придатних біоінженерних систем для умов Житомира, враховуючи специфіку стічних вод, доступні ресурси (земельні ділянки, кліматичні умови) та техніко-економічні показники. Прогнозовано ефективність видалення основних забруднюючих речовин кожною з обраних систем. Було запропоновано науково обґрунтовані рекомендації для місцевих органів влади, комунальних підприємств та інвесторів щодо впровадження та оптимізації біоінженерних систем очищення стічних вод у Житомирі з метою покращення екологічної ситуації та сталого розвитку міста.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблема забруднення водних ресурсів є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності, особливо в умовах швидкого зростання міст та промисловості. Стічні води містять широкий спектр забруднюючих речовин: органічні сполуки, важкі метали, нафтопродукти, мікроорганізми, фармацевтичні препарати тощо. Традиційні методи очищення

часто є енергоємними, вимагають значних площ та не завжди ефективні для видалення всіх типів забруднень. У цьому контексті біоінженерні рішення набувають все більшої актуальності як екологічно безпечні, економічно вигідні та високоефективні альтернативи.

Аналіз літературних джерел з теоретико-методичної розробки проблеми біоінженерних рішень для очищення стічних вод свідчить про інтенсивні дослідження та активний розвиток цього напрямку. Основні аспекти, що висвітлюються в наукових публікаціях, можна класифікувати наступним чином:

- Мікробіологічні основи біоочищення (значна частина досліджень присвячена вивченню різноманіття мікроорганізмів (бактерій, грибів, водоростей), здатних до деградації органічних забруднювачів та іммобілізації неорганічних сполук).

- Біореактори та інженерні системи (літературні джерела детально описують різні типи біореакторів, що використовуються для очищення стічних вод: активний мул, біоплівкові реактори (рухоме завантаження, нерухоме завантаження), мембранні біореактори (МБР), анаеробні реактори (UASB, EGSB) та інші). Досліджуються оптимальні режими роботи, аераційні системи, гідродинамічні умови та методи контролю за процесом очищення. Активно розвиваються гібридні системи, що поєднують різні біологічні та фізико-хімічні методи.

- Природні та напівприродні системи очищення (зростає інтерес до використання природних екосистем та їх імітацій для очищення стічних вод). До таких систем належать біоплато (штучні болота), фільтраційні поля, ґрунтова фільтрація. Переваги цих систем полягають у низьких експлуатаційних витратах, енергонезалежності та додаткових екологічних перевагах (створення біорізноманіття).

- Видалення специфічних забруднювачів (окремі дослідження сфокусовані на видаленні специфічних, важко розкладних забруднювачів, таких як фармацевтичні препарати, пестициди, мікропластик, важкі метали). Для цього розробляються спеціалізовані біоінженерні підходи, наприклад, застосування фотобіореакторів з мікроводоростями для видалення поживних речовин та фармацевтиків, або використання рослин для фітореMediaції важких металів.

- Економічна доцільність та сталий розвиток (багато робіт аналізують економічну ефективність біоінженерних рішень у порівнянні з традиційними методами). Підкреслюється потенціал для відновлення ресурсів (наприклад, біогазу з анаеробного зброджування, поживних речовин для добрив) та сприяння циркулярній економіці.

- ФітореMediaція (використання рослин для очищення стічних вод, зокрема для видалення важких металів та деяких органічних забруднювачів. Рослини можуть накопичувати забруднювачі у своїх тканинах (фітоекстракція), розкласти їх (фітодеградація)

або іммобілізувати у ґрунті). Цей метод може бути інтегрований у міське озеленення.

- Гранульований активний мул (формування щільних гранул мікроорганізмів в реакторі дозволяє підвищити концентрацію біомаси, покращити седиментаційні властивості мулу та збільшити швидкість очищення). Це зменшує обсяг необхідних резервуарів та покращує стабільність процесу.

- Використання мікроводоростей (фотобіореактори з мікроводоростями є перспективним біоінженерним рішенням для видалення поживних речовин (азоту та фосфору) зі стічних вод). Мікроводорості активно споживають ці елементи для свого росту, а отримана біомаса може бути використана для виробництва біопалива або добрив.

Системи та об'єкти очищення стічних вод, засновані на природному явищі самоочищення, на кшталт біоплато або Constructed Wetlands (CW), здобули широке розповсюдження в багатьох країнах світу, включаючи й Україну [18]. Проте потенціал використання фітореMediaції все ще недостатньо задіяний і потребує додаткових досліджень для його вдосконалення. Моделювання процесів поглинання та знешкодження токсичних речовин є темою низки наукових робіт.

Значна частина стічних вод у Житомирській області потребує більш ефективного очищення. Зокрема, у статті «Аналіз стану водних ресурсів Житомирської області та їх вплив на організм людини» [1] зазначається, що лише 93,9% стічних вод, що надходять на очисні споруди, відповідають нормам очищення. Це вказує на потенційну проблему забруднення поверхневих вод. Захворювання, що виникають у людей безпосередньо внаслідок вживання небезпечної питної води, яка містить компоненти з токсичною дією, включаючи канцерогени та мутагени, досягають близько 80% [4]. Згідно з дослідженнями [2, 3], вплив водних ресурсів на здоров'я людини визначається декількома факторами: якістю підземних і поверхневих вод, а також якістю води, що постачається централізовано. У науковому дослідженні [5] акцентовано, що тривале вживання питної води, забрудненої хімічними речовинами, сприяє розвитку патологічних змін в організмі. Варто зазначити думку про те, що вживання води з шкідливими речовинами здатне викликати фізіологічні зміни та призводити до патологічних наслідків для здоров'я людини [3].

Здоров'я громадян України прямо пропорційне регулярному мікробіологічному контролю якості води. Забруднення водою фекаліями та побутовими стічними водами створює серйозну загрозу, адже сприяє поширенню різноманітних інфекційних захворювань. Бактеріальне забруднення води визначається за допомогою індикаторних організмів. Зокрема, використовують кишкову паличку (*E. coli*) та ентерококи. Вони є основними показниками забруднення питної води, а не загальної кількості коліформних

бактерій. Не зважаючи на те, що більшість штамів *E. coli* та *Enterococci* викликають лише незначні захворювання, їх виявлення вказує на ймовірність присутності інших, більш небезпечних патогенів, які становлять реальну загрозу для здоров'я українців [6].

Зокрема, науковці стверджують, що основними джерелами забруднення є підприємства водопостачання та водовідведення, харчової, хімічної, машинобудівної та будівельної промисловості, що скидають у водойми значну кількість органічних і неорганічних забруднюючих речовин. Одним із ключових забруднювачів є водоканали України, які здійснюють водозбір, очистку та транспортування води. Водночас воно є джерелом скидання недостатньо очищених стічних вод, що містять органічні речовини, азотні та фосфорні сполуки, а також важкі метали. Діяльність ТЕЦ також спричиняє негативний вплив, оскільки її стоки можуть містити залишки вуглецю, феноли та інші токсичні сполуки [20].

### ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Ефективно провести екологічну оцінку, важливо сфокусуватися на аспектах, які ще не були належним чином досліджені або вирішені, особливо в контексті міста Житомира. Чи існують специфічні, гранульовані екологічні дослідження для водойм, безпосередньо залучених у місця скидання стічних вод у Житомирі? Це може включати конкретні оцінки біорізноманіття (макробезхребетні, риби, флора), комплексні фізико-хімічні параметри (окрім стандартних БПК/ХПК) та аналіз донних відкладень, які, можливо, не були ретельно задокументовані чи оновлені останнім часом. Чи існують у Житомирі специфічні проблеми, пов'язані з промисловими, сільськогосподарськими або міськими стоками, що створюють унікальні екологічні виклики, які зазвичай не враховуються у стандартних оцінках очищення стічних вод? Наскільки добре біоінженерні системи інтегровані в загальний план містобудування Житомира та управління водними ресурсами? Чи є розбіжності, які можуть призвести до непередбачених екологічних проблем? Зосереджуючись на цих невідомих частин проблеми, наша екологічна оцінка зможе надати нові, цінні відомості, спеціально адаптовані для Житомира, а не просто повторювати загальновідомі факти.

### МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначення екологічної доцільності та обґрунтування застосування біоінженерних систем для очищення стічних вод у місті Житомирі шляхом проведення всебічної екологічної оцінки з подальшою розробкою науково обґрунтованих рекомендацій для місцевих органів влади та комунальних підприємств щодо їхнього впровадження з метою досягнення екологічної безпеки та ефективного управління водними ресурсами.

### МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методи дослідження – це сукупність прийомів, способів та процедур, які використовуються для досягнення поставленої мети та завдань. Їх вибір залежить від предмету дослідження та його специфіки. Основні групи методів, які були використані:

1. Теоретичні методи (вивчення наявної наукової літератури, нормативно-правових актів, звітів, даних моніторингу щодо біоінженерних систем очищення стічних вод, екологічного стану водойм Житомира, методик екологічної оцінки. Синтез отриманої інформації для формування цілісного уявлення; зіставлення різних типів біоінженерних систем, їхньої ефективності, впливу на довкілля в різних умовах, а також порівняння поточного екологічного стану водойм Житомира з нормативними показниками та історичними даними; розгляд біоінженерних систем як складових складних екосистем, що взаємодіють з водними об'єктами, ґрунтами, біотою та атмосферним повітрям. Оцінка взаємозв'язків і взаємовпливів; розробка (або використання існуючих) моделей для прогнозування довгострокових екологічних змін у водоймах під впливом біоінженерних систем).

2. Емпіричні методи (проведення моніторингу відбору проб води, проб донних відкладень; оцінка стану біотів за видовим складом, чисельністю, біомасою, індексами сапробності та іншими біологічними індикаторами якості води; рівень води, швидкість течії (як допоміжні)).

3. Математичні та статистичні методи (аналіз отриманих кількісних даних (середні значення, стандартні відхилення, кореляції, регресійний аналіз; розрахунок екологічних індексів (наприклад, індекси біотичної якості, індекси забруднення води) для інтегральної оцінки стану водних екосистем; візуалізація та аналіз просторових даних (розташування скидів, біоінженерних систем, точок моніторингу, зон забруднення) для кращого розуміння екологічних процесів.).

4. Специфічні методи екологічної оцінки (методика комплексного екологічного оцінювання: Застосування спеціалізованих методик оцінки екологічного стану водних об'єктів, затверджених на національному або міжнародному рівні; визначення потенційних екологічних ризиків, пов'язаних з функціонуванням біоінженерних систем та скидами очищених стічних вод; SWOT-аналіз це оцінка сильних та слабких сторін, можливостей та загроз, пов'язаних із впровадженням та функціонуванням біоінженерних систем у Житомирі).

### ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Забезпеченість міста водою, а також роль Тетерева як водного шляху у середньовіччі визначили масштаб самого міста, його розвиток і роль в регіоні.

Власне, й топографія Житомира, його територіальний розвиток теж красномовно свідчать про першорядність фактору водозабезпечення. Якщо проаналізувати найдавнішу з відомих нам карту Житомира 1781 року, то переконуєшся в тому, що саме оті струмки і річечки – притоки Тетерева чи Кам'янки – формували забудову міста і були своєрідними природними «архітекторами».

Справді, наприкінці 18 сторіччя міська забудова шикувалася вздовж в'їзних доріг: з Вересів, Черняхова, Вільська, Барашівки, Троянова, Сінгурів, Станишівки, Левкова. Сьогодні це, відповідно, вулиці Київська, Щорса, Перемоги, Короленка, Якіра, Черняхівського, Велика Бердичівська, Корольова. Але перші важливі нетранспортні вулиці (тобто, власне міські житлові вулиці, а не міські дороги) виникли саме вздовж або біля водоймищ.

До речі, одна з таких вулиць, дуже старих і колись центральних – Басейна, виникла якраз вздовж річки Рудавки, а назву отримала від своєї важливої «професії». Як вже, напевне, здогадався читач, йдеться про пожежну спеціалізацію вулиці, адже назва походить від слова «басейн» – штучного водоймища із запасом води для гасіння пожеж. Щоправда в такий спосіб перемагати вогню стихію було дуже важко. У 1781 році, наприклад, під час пожежі вигоріла майже вся дерев'яна частина старого міста. Водоймища і річки не тільки ставали вірними помічниками людини під час пожеж, а й, звичайно, були у пригоді кожного дня. Тому до них тягнулися житлові будинки, лазні, винниці і винокурні, всілякі майстерні і промисли. Так, вздовж річки Коденки (тепер протікає в трубах) в середні віки почала формуватися забудова Гончарної слободи (тепер вулиці Лесі Українки, Домбровського, Старогончарна, Олени Пчілки). По обидва боки безіменного струмка, що починався на місці нинішнього дитячого універмагу і впадав у Кам'янку, сформувалася забудова двох значних сучасних вулиць: Малої Бердичівської і Пушкінської.

Хлугове озеро на місці нинішнього Житнього ринку «притягувало» місто в свій бік, а саме зникло в результаті штучного осушення тільки на початку 20 ст. Дорога вздовж Кам'янки і вбрід через Тетерів вела до хутора Бровари (пивоварне виробництво), а далі на Сінгури (тепер цей хутір «представляють» кілька стареньких хатинок побіля Підвісного мосту). Річка Путятинка визначила появу на карті Житомира важливого передмістя – Смолянки, Крошенка – Крошні, Вошивиця – Смоківки, Довжик – Довжика, Лісова – Рудні, тобто великих сучасних районів Житомира. Річки Житомира були важливим і безкоштовним джерелом енергії, місцем будівництва млинів, яких нараховувалося на Тетереві та Кам'янці до десятка. Про цю давню професію річок нагадує назва вулиці – Млинова (до революції їх навіть було дві – Перша та Друга).

Власне місто розвивалося у системі координат доріг та річок, які «диктували» йому свої умови і задавали напрямки та темпи росту. По суті, конфігурація Житомира повторює конфігурацію системи шляхів і річок. Місто розтягнуте вздовж основних шляхів і основних річок – Тетерева, Кам'янки та Крошенки. З іншого боку, Тетерів як потужний водний кордон стримує вже багато століть намагання міста «перестрибнути» його в південному напрямку, перейти на протилежний берег. Отака сила річок! Така їх непересічна роль в житті нашого древнього міста. Звичайно, про це можна і, напевне, потрібно було б розповісти більш докладно, але ані обсяг цього скромного видання, ані його тема не дають нам можливості це зробити. Отож, далі говоритимемо власне про водозабезпечення Житомира.

Під терміном «міські стічні води» [7] розуміють суміш різних категорій стічних вод (господарсько-побутових, виробничих, атмосферних), яка надходить для очистки на міські каналізаційні очисні станції. Міські стійні води мають види, які ми зараз розглянемо:

Господарсько-побутові стічні води [8] утворюються при використанні водопровідної води у побуті і відводяться від санітарних приладів житлових будинків, банно-пральних комбінатів, підприємств громадського харчування, установ (шкіл, лікарень тощо). Вони містять фізіологічні виділення людей, а також господарські відходи: залишки продуктів харчування, пісок, мило і пральні засоби, тканину, папір тощо. Господарсько-побутові стічні води можна розглядати як розбавлену суміш сечі і фекалій, кухонних (стоки від приготування їжі і миття посуду) і банно-пральних стоків (стоки від гігієнічних процедур і прання білизни).

Господарсько-побутові стічні води [9] завжди містять велику кількість мікроорганізмів, які містяться у шлунку і на тілі людини, а також змиваються з одягу, овочів, фруктів, м'яса тощо. Серед цих мікроорганізмів можуть бути і патогенні. Особливістю господарсько-побутових стічних вод є відносна постійність їх складу, що зумовлюється подібністю фізіології людини і її господарської діяльності.

Виробничі стічні води [10] надзвичайно різноманітні за кількістю і складом, які, у свою чергу, залежать від виду виробництва, сировини і технології, що застосовується.

Атмосферні стічні води [11] утворюються на території об'єкту, що каналізується, при випаданні дощу, танення снігу і при митті вулиць. У сучасних містах атмосферні стічні води вміщують крім піску і сміття, що змиваються із бруківок, також і органічні речовини, тому за своїм складом вони часто можуть бути віднесені до слабко забруднених побутових стічних вод.

В залежності від системи каналізації господарсько-побутові і виробничі, або господарсько-побутові,

виробничі і атмосферні стічні води надходять у міську каналізаційну мережу, утворюючи міські стічні води. У складі міських стічних вод приблизно 40–60 % – це виробничі стічні води. В кожному населеному пункті розміщуються підприємства різноманітних галузей промисловості, в результаті чого не існує міських стічних вод, абсолютно однакових за складом.

Вибір схеми мереж проводиться за тими ж правилами, що і елементи каналізації. Трасування вуличних каналізаційних мереж може бути здійснене за трьома основними схемами:

Схема з пониженого боку кварталу (рис. 1) застосовують при вираженому рельєфі з поділенням відміток рівня землі до однієї або двох граней кварталу;

Через квартальна схема (рис. 2) передбачає, що вуличні мережі прокладені всередині кварталів – від

вище розташованих до нижче розташованих, що дозволяє скоротити довжину каналізаційних мереж і вартість її будівництва;

Охоплююча схема (рис. 3) застосовується при плоскому рельєфі, великих розмірах кварталів та відсутності забудови всередині.

Господарська діяльність людини зумовила пошкодження і вичерпування природних джерел ресурсів, що призводить до деформації сформованих протягом багатьох мільйонів років природного кругообігу речовин та енергетичних потоків на планеті. Внаслідок цього почалося прогресуюче руйнування біосфери землі, що може набути характеру незворотних процесів і навколишнє середовище може стати непридатним для існування.

Україна через високий рівень концентрації промислового виробництва та сільського господарства,

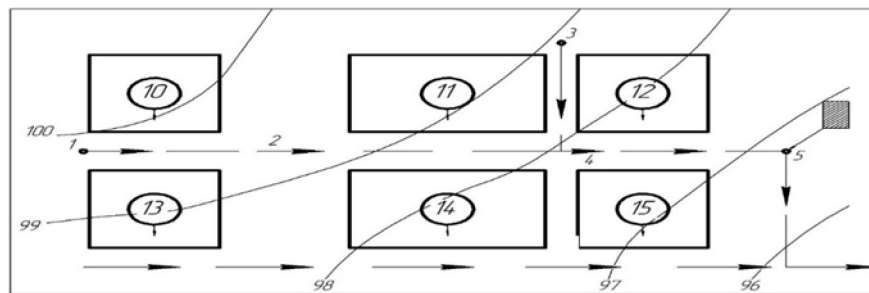


Рис. 1. Понижений бік кварталу

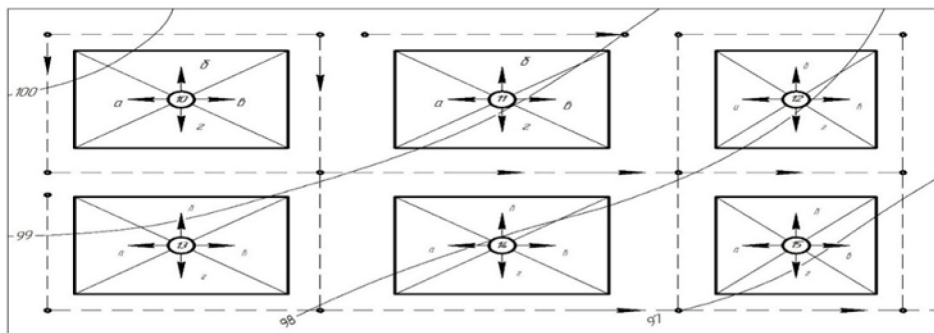


Рис. 2. Черезквартальна схема

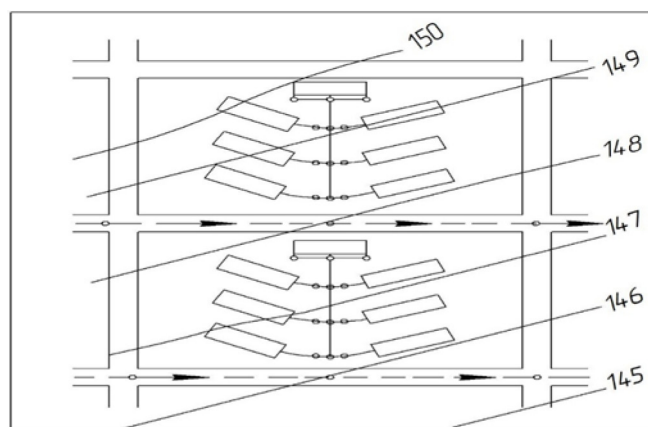


Рис. 3. Охоплююча схема плоского рельєфу

внаслідок хижацького використання природних ресурсів протягом десятиріччя перетворилася в одну з найнебезпечніших в екологічному відношенні країн. Нинішня екологічна ситуація в Україні характеризується як глибока еколого-економічна криза.

Україні притаманні такі екологічні проблеми: кислотні дощі, транспортне забруднення, руйнування озонового шару, глобальне потепління, накопичення відходів (особливо токсичних та радіаційних), зниження біологічної різноманітності.

Основними забруднювачами водних джерел є підприємства та організації металургії; енергетиками, вугільної промисловості, лісохімічного та агропромислового комплексів, і безумовно комунальне господарство, частка якого складає майже половину забруднених стоків країни.

За даними експостережень з 59 дослідних водних об'єктів немає жодного водотоку або водойми, які б відповідали означенню як «чисті».

До технічних рішень скорочень споживання води і відібраних стоків у промисловому виробництві незалежно від її каналізування слід віднести:

- безводні або маловихідні технології;
- безстічні системи використання води;
- заміна прямоточних систем водопостачання на зворотні;
- повторне використання відпрацьованих стоків;
- переробка концентрованих стічних вод з метою вилучення з них цінних компонентів;
- використання очисних промислових і комунально-промислових стічних вод для технічного використання.

При ефективності використання води можна отримати окремі результати, які частково окуплять ті вкладення, які були використані на це:

- використання очисних стічних вод для зрошення земель;
- отримання з стічних вод газів.

Питання про економічне використання води зараз є найважливішим для багатьох країн світу. Основний законодавчий акт, що регламентує екологічні та природоохоронні права – Закон «Про охорону навколишнього середовища», Земельний кодекс України – Закон «Про природно – заповідний фонд України».

Комплекс еколого-орієнтованих засобів щодо захисту навколишнього середовища охоплює заходи, спрямовані на охорону і раціональне використання природних ресурсів.

Для захисту найбільш цінних елементів території навколишнього середовища вживаються заходи, спрямовані на заборону в їх межах, не властивої для них, містобудівної діяльності (крім будівництва об'єктів, що пов'язані з функціональною експлуатацією цих територій). Це стосується природних заповідників, заказників, природних національних парків, водоохоронних зон, зелених зон міст, зон санітарної охорони курортів.

## ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Розрахунок споруд очисної станції ведуть в послідовності, яка відповідає руху води по спорудах: решітки, пісковики, первинні відстійники, змішувачі, контактні резервуари, хлораторна, мул ущільнювачі, метантенки, мулові майданчики. При розрахунку окремих споруд викреслюють їх розрахункові схеми.

Сітка водовідведення повинна забезпечувати швидші і по можливості самопливний відвід всіх стічних вод, які поступають в сітку.

В залежності від рельєфу і способу сплавлення стічних вод вибираємо схему, систему і трасування каналізаційної сітки водовідведення. Під системою розуміють спосіб усунення стічних вод. Системами є загальносплавна і роздільна. Загальносплавна система, в якій усі три категорії стічних вод сплавляють на одній загальній системі труб і каналів. Канали виводять зібрані стоки за межі міської території на очисні споруди.

Роздільна система – система, в якій атмосферні опади відводяться окремою системою труб і каналів, а побутові і виробничі води іншою системою трубопроводів. Схемою каналізації називають техніко-економічне обґрунтування проекту прийнятої системи каналізації з урахуванням рельєфу місцевості, місця розташування водоймища, ґрунтових умов, глибини залягання підземних вод, особливостей планування обслуговуваного об'єкта, а також прийнятого числа мереж, місцевих умов та перспектив розвитку.

Схема є централізована і децентралізована. При централізованій схемі каналізування стічні води всіх басейнів каналізування йдуть на одному чи декількох колекторах на єдині для всього міста очисні споруди, які розташовують нижче міста за течією річки. При децентралізованій схемі каналізаційної сітки влаштовують районні каналізації з самопливними очисними спорудами. Таку схему застосовують при каналізуванні великих міст з сильно пересіченим рельєфом місцевості, а також коли є можливість використання стічних вод для влаштування полів зрошення.

В складі очисних споруд передбачається решітки – дробилки. Швидкість проходження води через решітки приймають в межах 0,8–1,2 м/с.

Решітки приймають розраховуючи на максимальне надходження стічної води.

$$Q_{\max} = 3151,008 \text{ м}^3/\text{добу} = 0,875 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Приймаємо решітку – дробилку типу РД – 600 з швидкістю проходу води  $V = 1 \text{ м/с}$ .

Сумарна площа прохідного перерізу щілин в барабані – 0,455 м.

У відповідності приймаємо кількість решіток – дробилок  $n = 3$ , з них 2 працюючі і одна резервна.

Перевіримо швидкість руху стічної води а щілинах решіток:

$$V = Q/2S,$$

$Q$  – максимальні надходження води;  $S$  – сумарна площа прохідного перерізу щілин в барабані;

Решітки-дробилки призначенні для затримання великих плаваючих відходів і подрібнень. Подрібнені відходи направляють у стічну воду перед решітками, а також перекачують у метантенки.

Нами було проведено підрахунок площі, числа жителів, модуля стоку по районах міста, а саме: підрахунок площі колектора I:  $F_{k1} = 100$  га, другого  $F_{k2} = 66$  га.

При цьому площа першого колектора району буде рівною:

$$F_1 = F_{k1} + F_k.$$

Площа другого району  $F_2 = 86$  га. Загальна площа:

$$F = F_1 + F_2.$$

Число жителів першого і другого районів визначаємо наступним чином:

$$N_1 = F_1 \cdot P_1;$$

$$N_2 = F_2 \cdot P_2.$$

При густині населення  $P_1 = 424$  чол/га і  $P_2 = 274$  чол/га загальна кількість населення визначається за формулою

$$N_{\text{заг}} = N_1 + N_2.$$

Модуль стоку по районах міста визначається по формулі:

$$q_o = (Pqh)/86\,400,$$

$qh$  – норма водовідведення л/добу

З урахуванням прерспектив в розвитку каналізації норма водовідведення приймається з коефіцієнтом 1,15. З врахуванням цього коефіцієнта модулі стоку по районах визначаються по формулі:

$$q_{o1} = (P_1 q_{H1})/86\,400.$$

Каналізаційна сітка поділяється на розрахункові ділянки. Під розрахунковою ділянкою розуміють відрізок сітки, який лежить між двома точками (колодязями), в яких розрахункові витрати для кожної розрахункової ділянки сітки визначають, як суму попутної, транзитної, бокової і зосередженої витрат.

Попутні витрати:

$$q_n = F q_o.$$

Бокові витрати:

$$q_b = F \cdot q_o.$$

Середні витрати:

$$q_{\text{сер}} = q_n + q_b + q_{\text{мп}},$$

де:  $q_{\text{мп}}$  – транзитні витрати (середні витрати розташовані вище даної ділянки);

Максимальні витрати :

$$q_{\text{max}} = K_{\text{об}} \cdot q_{\text{ср}},$$

де:  $K_{\text{об}}$  – загальний коефіцієнт нерівномірності взятий по таблиці.

Розрахункові витрати:

$$q_{\text{роз}} = q_{\text{max}} + q_{\text{зос}},$$

де:  $q_{\text{зос}}$  – зосереджені витрати промислових підприємств.

1. Визначаємо середні витрати 1-го і 2-го районів:

$$q_{\text{ср1}} = (N_1 \cdot q_{H1})/86\,400;$$

$$q_{\text{ср2}} = (N_2 \cdot q_{H2})/86\,400.$$

2. Загальна середня витрата:

$$q_{\text{ср}} = q_{\text{ср1}} + q_{\text{ср2}}.$$

3. Максимальні витрати:

$$q_{\text{max}} = K_{\text{об}} \cdot q_{\text{ср}}.$$

4. Розрахункова витрата стічних вод:

$$q_{\text{роз}} = q_{\text{max}} + \sum q_{\text{мп}}.$$

5. Нев'язка складає (наприклад):

$$\Delta = 497,112 - 496,939 = 0,173 \text{ л/с} < 0,5 \text{ л/с},$$

що допустимо.

Горизонтальні пісколовки з круговим рухом води розраховують у відповідності з діючими нормативами та затримання піску з максимальною гідравлічною крупністю частинок 18,7–24,2 мм.

Спочатку визначаємо площу живого перерізу одного відділення:

$$\omega = Q_{\text{max}}/(v \cdot n),$$

де,  $Q_{\text{max}}$  – максимальна витрата стічних вод;  $v$  – середня швидкість руху води, приймаємо 0,3 м/с;  $n$  – кількість відділень,  $n = 2$ .

Приймаємо дві пісколовки  $d = 6000$  мм і шириною кільцевого жолоба 1500 мм, а ширина підвідного і відвідного лотків 900 мм.

Кількість затриманого піску визначаємо за формулою:

$$П = 0,02 \cdot N_p.$$

Де: 0,02 – кількість затриманого піску в пісколовках на 1 чол/добу, при вологості 60 %:

Визначаємо площу піскових майданчиків:

$$F = П/h,$$

де  $h$  – навантаження на мулову ділянку, згідно СНІП = 3.

Приймаємо 4 майданчика, кожен площею 133 м<sup>2</sup>, розмірами 14 · 9,5 м.

Розрахунок первинних відстійників, крім вторинних, після біологічної очистки необхідно проводити по кількості випавших завислих речовин з врахуванням необхідного ефекту освітлення.

Визначити необхідний ефект освітлення можна за наступною формулою:

$$\Xi = \frac{C_{\text{сум}}^{\text{з.р.}} - C_{\text{доп}}}{C_{\text{сум}}^{\text{з.р.}}} \cdot 100\%;$$

Згідно СНіП 2.04.03-85 визначаю гідралічну крупність частинок затриманих у відстійнику:

$$U_0 = \frac{1000 \cdot H_{\text{set}} \cdot K_{\text{set}}}{t_{\text{set}} \left( \frac{K_{\text{set}} \cdot H_{\text{set}}}{h_1} \right)^{h_2}};$$

де  $H_{\text{set}}$  – глибина проточної частини у відстійнику в м, вона знаходиться в межах від 1,4 до 4 м;  $K_{\text{set}}$  – коефіцієнт використання об'єму проточної частини відстійника згідно таблиці дорівнює 0,5;  $t_{\text{set}}$  – тривалість відстоювання в секундах відповідно заданому ефекту очистки і отримана в лабораторному циліндрі в шарі Н1; для міських стічних вод дану величину допускається приймати по таблиці – 1,152;  $h_1$  – лабораторний шар в циліндрі = 500 мм;  $h_2$  – показник степеня, який залежить від агломерації шару в процесі осадження.

Визначаємо швидкість руху води у відстійнику:

$$v = \frac{Q_{\text{min}} / 200}{5 \cdot H_{\text{set}} \cdot B};$$

$B$  = від  $2H_{\text{set}}$  до  $5H_{\text{set}}$ .

Визначаємо довжину горизонтального відстійника:

$$L = \frac{VH_{\text{set}}}{K_{\text{set}}(U_0 - \omega)};$$

Приймаємо два відділи горизонтального відстійника 1-8 м і довжиною 23 м.

## ВИСНОВКИ

Проведена екологічна оцінка підтверджує високу доцільність та перспективність впровадження біоінженерних систем для очищення стічних вод у місті Житомирі. Сучасна система водовідведення міста, попри її функціональність, стикається з низкою викликів, серед яких значне енергоспоживання, утворення великих обсягів осаду та періодичне перевищення нормативів скиду забруднюючих речовин. Це створює суттєве екологічне навантаження на річку Тетерів та її притоки, негативно впливаючи на стан водних екосистем і здоров'я населення.

Біоінженерні технології, такі як біоспори, штучні водно-болотні угіддя та фільтраційні споруди з рослинним наповненням, демонструють значні переваги порівняно з традиційними методами. Вони є енергоефективними, мінімізують утворення осадів,

здатні ефективно видаляти широкий спектр забруднювачів (органічні речовини, азот, фосфор) і при цьому гармонійно інтегруються в міський ландшафт, підвищуючи його естетичну та рекреаційну цінність. Завдяки природним процесам самоочищення, біоінженерні системи сприяють відновленню біорізноманіття та створенню нових екосистемних послуг.

Біоінженерні технології, зокрема використання аеротенків, біофільтрів, метантенків, мулових майданчиків та природоорієнтованих споруд, довели свою ефективність у зменшенні забруднення вод органічними сполуками, біогенними елементами та патогенами. Вони базуються на використанні природних процесів розкладу забруднень за допомогою мікроорганізмів і біоценозів, що дозволяє досягати високого ступеня очищення з мінімальним впливом на довкілля.

Проведені розрахунки та обґрунтування схем очисних споруд показали, що інтеграція біоінженерних елементів у міську каналізаційну інфраструктуру є технічно доцільною та екологічно виправданою. Впровадження таких рішень дозволяє не лише забезпечити нормативну якість очищених стоків, але й знизити експлуатаційні витрати, скоротити обсяги утворення осадів і сприяти утилізації органічної частини відходів.

З урахуванням глобальних викликів, пов'язаних зі змінами клімату, нестачею води та погіршенням стану довкілля, біоінженерні рішення для очищення стічних вод мають стратегічне значення для сталого розвитку міст. Їх широке впровадження сприятиме збереженню водних ресурсів, поліпшенню якості життя населення та формуванню екологічно безпечного міського середовища.

Комплексна екологічна оцінка, що охоплює технічні, економічні та соціально-екологічні критерії, показала, що впровадження біоінженерних рішень у Житомирі дозволить не лише покращити якість очищення стічних вод, але й зменшити експлуатаційні витрати, знизити вплив на клімат (завдяки меншому споживанню енергії) та створити більш здорові й комфортні умови для мешканців міста. Розміщення таких систем може бути реалізоване як у вигляді додаткових ступенів доочищення на існуючих об'єктах, так і як автономні локальні рішення для віддалених районів чи нових забудов.

Таким чином, перехід до біоінженерних систем є не просто модернізацією інфраструктури, а стратегічним кроком до екологічної безпеки та сталого розвитку Житомира, забезпечуючи чистіші водні ресурси для теперішніх і майбутніх поколінь.

## REFERENCES

- [1] Lunova, O. V., Herasymchuk, O. L., & Hahukina, A. M. (2022). Analiz stanu vodnykh resursiv Zhytomyrskoi oblasti ta yikh vplyv na orhanizm liudyny [Analysis of the state of water resources in Zhytomyr region and their impact on the human body]. *Ekologichni nauky*, (6(45)), 31–34.
- [2] Lolotska, O. V., Kondratiuk, V. A., & Kucher, S. V. (2019). Yakist pytnoi vody yak odna z determinant hromadskoho zdorovia v zakhidnomu rehioni Ukrainy [Drinking water quality as one of the determinants of public health in the western region of Ukraine]. *Visnyk sotsialnoi hihiieny ta orhanizatsii okhorony zdorovia Ukrainy*, (1(79)), 12–18.

- [3] Andrusyshyna, I. M. (2015). Vplyv mineralnogo skladu pytnoi vody na stan zdorovia naselennia (ohliad literatury) [Influence of mineral composition of drinking water on population health (literature review)]. *Voda i vodochisni tekhnologii. Naukovo-tekhichni visti*, (1(16)), 22–31.
- [4] Cherneha, A. M., & Ishchenko, V. A. (2016). Doslidzhennia skladu pytnoi vody z dzherel detsentralizovanoho vodopostachannia [Research of drinking water composition from decentralized water supply sources]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnogo instytutu*, (4), 32–35.
- [5] Mykhailenko, V. L. (2015). Yakist pytnoi vody – faktor, shcho determinuie stan zdorovia liudyny (na prykladi Odeskoi oblasti) [Drinking water quality as a factor determining human health (on the example of Odesa region)]. *Dosiahnennia biolohii ta medytsyny*, (2(26)), 67–70.
- [6] Bordiuh, N. S. (2010). Otsinka stanu yakosti pytnoi vody detsentralizovanoho vodopostachannia za epidemiolohichnymy pokaznykamy [Assessment of the quality of drinking water from decentralized water supply according to epidemiological indicators]. Retrieved from <http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nd/2010-1/10bnsqei.pdf>
- [7] DSTU 8691:2016. Stichni vody. Nastanovy shchodo vstanovlennia tekhnolohichnykh normatyviv vidvedennia doshchovykh stichnykh vod u vodni ob'ekty [Wastewater. Guidelines for establishing technological standards for discharging storm wastewater into water bodies]. (2016). Retrieved from [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=67545](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=67545)
- [8] Demchuk, L., Patseva, I., Nonik, L., & Voynalovych, I. (2025). Logistics processes of destruction waste. *Journal Environmental Problems*, 10(1), 13–19.
- [9] Demchuk, L. I., Alpatova, O. M., & Kurbet, T. V. (2025). Ekolohichna otsinka vprovadzhennia lokal'noi systemy ochystky stichnykh vod TOV “Korostyshivs'ka paperovalna fabryka” [Ecological assessment of implementing a local wastewater treatment system at LLC “Korostyshiv Paper Mill”]. *Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noho universytetu korablebuduvannia imeni admiral Makarova. Seriya: Tekhnolohiia zakhystu navkolyshn'oho seredovyshcha*, (1), 184–190.
- [10] Airapetian, T. S. (2014). Konspekt lektsii z dystsyplin “Ochystka pobutovykh stichnykh vod” ta “Sporudy ta obladnannia vodovidvedennia” [Lecture notes on the disciplines “Treatment of domestic wastewater” and “Structures and equipment for wastewater disposal”]. *Kharkiv National University of Urban Economy named after O. M. Beketov*. 68 p.
- [11] Barsukova, O. A. (2024). Metodichni vkazivky do praktychnykh zaniat z dystsypliny “Resursozbezpechennia ta biotekhnolohii v APK” za temoiu “Otsinka stichnykh vod i zabrudniuiuchykh rechovykh z terytorii pidpriemstva” [Methodical guidelines for practical classes on the discipline “Resource Saving and Biotechnology in Agriculture” on the topic “Assessment of wastewater and pollutants from the enterprise’s territory”]. 24 p.
- [12] Ablieieva, I. Yu. (2020). Ekolohiia miskykh system: konspekt lektsii [Ecology of urban systems: lecture notes]. *Sumy State University*. 119 p.
- [13] Vodozapechenist Zhytomyrskoi oblasti [Water supply of Zhytomyr region]. (2019). Retrieved from [https://eprdep.zht.gov.ua/rd\\_VR\\_4-1-2.htm](https://eprdep.zht.gov.ua/rd_VR_4-1-2.htm)
- [14] Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnogo pryrodnoho seredovyshcha Zhytomyrskoi oblasti u 2021 rotsi [Regional report on the state of the environment in Zhytomyr region in 2021]. (2021). Retrieved from <https://cutt.ly/PM0QB7>
- [15] Valerko, R. A., Herasymchuk, L. O., Prykhodko, A. P., & Sobolieva, V. H. (2021). Suspilna dumka shchodo yakosti pytnoi vody ta ryzyku dlia zdorovia naselennia [Public opinion on drinking water quality and health risk for the population]. *Ekolohichni nauky*, (4(37)), 28–32.
- [16] Demchuk, L. I., Davydova, I. V., Voynalovych, I. M., & Korbut, M. B. (2024). Otsinka ochyshchennia stichnykh vod myiok (na prykladi merezhi AZK “OKKO”) [Assessment of wastewater treatment from car washes (on the example of the OKKO gas station network)]. *Ekolohichna bezpeka ta tekhnolohii zakhystu dovkillia*, (6), 104–112.
- [17] Mahmedov, V. H., Zakharchenko, M. A., Yakovleva, L. I., Ishchenko, V. P., & Vyshemirska, V. D. (n.d.). Sporuda dlia biolohichnoi ochystky stichnykh vod [Structure for biological wastewater treatment] (Patent No. 7705 Ukraine, C02F 3/00).
- [18] Honcharenko, H. V., & Cherednichenko, V. I. (2015). Stan vodnykh resursiv Ukrainy: analiz i perspektyvy: monohrafiia [State of water resources in Ukraine: analysis and prospects: monograph]. *Osvita Ukrainy*. 332 p.
- [19] Kireitseva, H., Tsyhanenko-Dziubenko, I., Zamula, I., & Demchuk, L. (2024). Analiz stanu ta monitoryng poverkhnevnykh vodnykh ob'ektiv Chernihivskoi oblasti [Analysis of the state and monitoring of surface water bodies in Chernihiv region]. *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho. Ekolohiia*, (1(144)), 84–91.
- [20] Ilinskiy, O. V. (2022). Otsinka efektyvnosti metodiv fitoremediatsii ochyshchennia poverkhnevnykh stichnykh vod za dopomohoyu modelnoi ustanovky [Assessment of the effectiveness of phytoremediation methods for surface wastewater treatment using a model installation]. In *Problemy ta perspektyvy rozvytku suchasnoi nauky: zbirnyk tez dopovidei Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh naukovtsiv, aspirantiv i zdobuvachiv vyshchoi osvity*. NUVHP. 399 c
- [21] Shved, O., Bereziuk, K., & Stadnytska, N. (2016). Perspektyva fitoremediatsii bioinzhenernykh stavkiv dlia intensyfikatsii ochyshchennia pobutovykh stokiv [Prospects of phytoremediation of bioengineered ponds for intensification of domestic wastewater treatment]. In *Biotehnolohiia: dosvid, tradytsii ta innovatsii: zbirnyk naukovykh prats*. NUKHT. 645 p.
- [22] Kozhushka, L. F., & Naan, V. A. (2018). Vodnyi menedzhment v Ukraini: problemy ta innovatsii rozvytku: monohrafiia [Water management in Ukraine: problems and development innovations: monograph]. Rivne. 638 p.
- [23] Constructed wetlands. (n.d.). US EPA. Retrieved from <https://www.epa.gov/wetlands/constructed-wetlands>
- [24] Constructed wetlands for wastewater treatment. (2014). *Wetlands*, (6), 5–18.
- [25] Rybalova, O. V., Timakov, I. R., & Perehuda, O. V. (n.d.). Ochyshchennia stichnykh vod z vykorystanniam metodiv fitoremediatsii [Wastewater treatment using phytoremediation methods]. *The XIII International Scientific and Practical Conference “Information and its impact on social processes”*, Florence, Italy, April 03–05. p. 292–296.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Луньова, О. В., Герасимчук, О. Л., & Кагукіна, А. М. (2022). Аналіз стану водних ресурсів Житомирської області та їх вплив на організм людини. *Екологічні науки*, (6(45)), 31–34.
- [2] Лолоцька, О. В., Кондратюк, В. А., & Кучер, С. В. (2019). Якість питної води як одна з детермінант громадського здоров'я в західному регіоні України. *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України*, (1(79)), 12–18.
- [3] Андрусишина, І. М. (2015). Вплив мінерального складу питної води на стан здоров'я населення (огляд літератури). *Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті*, (1(16)), 22–31.
- [4] Чернега, А. М., & Іщенко, В. А. (2016). Дослідження складу питної води з джерел децентралізованого водопостачання. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, (4), 32–35.
- [5] Михайленко, В. Л. (2015). Якість питної води – фактор, що детермінує стан здоров'я людини (на прикладі Одеської області). *Досягнення біології та медицини*, (2(26)), 67–70.
- [6] Бордюк, Н. С. (2010). Оцінка стану якості питної води децентралізованого водопостачання за епідеміологічними показниками. Отримано з <http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nd/2010-1/10bnsqei.pdf>
- [7] ДСТУ 8691:2016. Стічні води. Настанови щодо встановлення технологічних нормативів відведення дощових стічних вод у водні об'єкти. (2016). Отримано з [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=67545](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=67545)
- [8] Demchuk, L., Patseva, I., Nonik, L., & Voynalovych, I. (2025). Logistics processes of destruction waste. *Journal Environmental Problems*, 10(1), 13–19.
- [9] Демчук, Л. І., Алпатова, О. М., & Курбет, Т. В. (2025). Екологічна оцінка впровадження локальної системи очистки стічних вод ТОВ «Коростишівська паперова фабрика». *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. Серія: Технологія захисту навколишнього середовища*, (1), 184–190.
- [10] Айрапетян, Т. С. (2014). Конспект лекцій з дисциплін «Очистка побутових стічних вод» та «Споруди та обладнання водовідведення». Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. 68 с.
- [11] Барсукова, О. А. (2024). Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Ресурсозбереження та біотехнології в АПК» за темою «Оцінка стічних вод і забруднюючих речовин з території підприємства». 24 с.
- [12] Аблесєва, І. Ю. (2020). Екологія міських систем: конспект лекцій. Сумський державний університет. 119 с.
- [13] Водозабезпеченість Житомирської області. (2019). Отримано з [https://eprdep.zht.gov.ua/rd\\_VR\\_4-1-2.htm](https://eprdep.zht.gov.ua/rd_VR_4-1-2.htm)
- [14] Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Житомирської області у 2021 році. (2021). Отримано з <https://cutt.ly/PM0QBi7>
- [15] Валерко, Р. А., Герасимчук, Л. О., Приходько, А. П., & Соболева, В. Г. (2021). Суспільна думка щодо якості питної води та ризику для здоров'я населення. *Екологічні науки*, (4(37)), 28–32.
- [16] Демчук, Л. І., Давидова, І. В., Войналович, І. М., & Корбут, М. Б. (2024). Оцінка очищення стічних вод мийок (на прикладі мережі АЗК «ОККО»). *Екологічна безпека та технології захисту довкілля*, (6), 104–112.
- [17] Магмедов, В. Г., Захарченко, М. А., Яковлева, Л. І., Іщенко, В. П., & Вишемірська, В. Д. (б.д.). Споруда для біологічної очистки стічних вод. Патент № 7705 Україна, C02F 3/00.
- [18] Гончаренко, Г. В., & Чередніченко, В. І. (2015). Стан водних ресурсів України: аналіз і перспективи: монографія. *Освіта України*. 332 с.
- [19] Кірейцева, Г., Циганенко-Дзюбенко, І., Замула, І., & Демчук, Л. (2024). Аналіз стану та моніторинг поверхневих водних об'єктів Чернігівської області. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Екологія*, (1(144)), 84–91.
- [20] Ільїнський, О. В. (2022). Оцінка ефективності методів фітореMediaції очищення поверхневих стічних вод за допомогою модельної установки. *Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти*. НУВГП. Рівне. НУВГП. 399 с.
- [21] Швед, О., Березюк, К., & Стадницька, Н. (2016). Перспектива фітореMediaції біоінженерних ставків для інтенсифікації очищення побутових стоків. *Біотехнологія: досвід, традиції та інновації: збірник наукових праць*. НУХТ. 645 с.
- [22] Кожушка, Л. Ф., & Наан, В. А. (2018). Водний менеджмент в Україні: проблеми та інновації розвитку: монографія. *Constructed wetlands*. (б.д.). US EPA. Отримано з <https://www.epa.gov/wetlands/constructed-wetlands>
- [23] Constructed wetlands. (n.d.). US EPA. Retrieved from <https://www.epa.gov/wetlands/constructed-wetlands>
- [24] Constructed wetlands for wastewater treatment. (2014). *Wetlands*, (6), 5–18.
- [25] Рибалова, О. В., Тімаков, І. Р., & Перегуда, О. В. (б.д.). Очищення стічних вод з використанням методів фітореMediaції. *The XIII International Scientific and Practical Conference «Information and its impact on social processes»*, April 03 – 05, Florence, Italy. p.292–296.

© Чистілін Д. В., Демчук Л. І., Русецька Н. М.  
 Дата надходження статті до редакції: 02.08.2025  
 Дата затвердження статті до друку: 15.08.2025  
 Опубліковано: 24.11.2025

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0