

## АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ ТА НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Світлана Потапенко<sup>1</sup>, Олександр Кравченко<sup>2</sup>

Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, Повітрофлотський пр., м. Київ, Україна, 03037

<sup>1</sup> psp77779827@gmail.com, orcid.org/0009-0000-4221-4048

<sup>2</sup> докт. техн. наук, kravchenko.ov@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-6289-0641

DOI: 10.32347/2524-0021.2025.49.25-37

**Анотація.** У статті проаналізований досвід країн світу з питань: доступу населення до безпечної питної води та водовідведення, впровадження заходів щодо оптимізації систем питного водопостачання та водовідведення, а також закріплення цих заходів у відповідних законодавчих документах. Зроблений екскурс по країнах щодо впровадження та реалізації планів безпечного водопостачання (ПБВ). Висвітлена тема проблем питного водопостачання та водовідведення в країнах, які постраждали від збройних конфліктів та їх вирішення. Описано відомі методичні підходи в сфері питного водопостачання та водовідведення в Україні. Запропоновано нові системні науково-методичні підходи у вигляді проєктів Порядків розроблення схем оптимізації систем централізованого водопостачання та водовідведення, які передбачають: створення комплексних рішень для забезпечення стійкості систем, їх енергоефективності та безпеки; аналіз ризиків, розроблення альтернативних сценаріїв, визначення фінансових моделей і планів впровадження; індикаторні показники реалізації схем оптимізації; створення умов для залучення інвестицій і фінансування від міжнародних донорів. Зроблено порівняльний аналіз існуючих Методичних рекомендацій з розроблення схем оптимізації роботи систем централізованого водопостачання та водовідведення (далі - Методичні рекомендації) і запропонованих проєктів Порядків. За допомогою системного аналізу на прикладі досвіду країн світу вивчена і проаналізована специфіка структурної перебудови науково-методичних підходів до оптимізації систем питного водопостачання та водовідведення.

**Ключові слова:** системи питного водопостачання та водовідведення, оптимізація систем питного водопостачання та водовідведення, плани безпечного водопостачання (ПБВ), стійкість систем питного водопостачання та водовідведення, модернізація, інфраструктура, науково-методичні підходи, методи.

### ВСТУП

Питне водопостачання та водовідведення є основними елементами соціального та економічного розвитку країни. Забезпечення доступу до якісної питної води та ефективне управління водними ресурсами сприяє покращенню життєвих умов населення, розвитку економіки та соціальних сфер. Згідно з цілями сталого розвитку до 2030 року в Україні заплановано:

- забезпечення доступності та сталого управління водними ресурсами та санітарією;
- забезпечення доступу до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії для всіх;
- створення стійкої інфраструктури;
- забезпечення відкритості, безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст, інших населених пунктів;

– забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва тощо [7].

Всесвітня організація охорони здоров'я (далі – ВООЗ) рекомендує впровадження планів безпечного водопостачання (далі – ПБВ) для зменшення ризиків, пов'язаних із якістю питної води. У країнах Європейського Союзу (далі – ЄС) цей підхід включено до національного законодавства [13].

Слід зазначити, що санітарія включає сукупність практичних заходів, спрямованих на оздоровлення оточення людини, у тому числі передбачає заходи з відведення стічних вод з територій промислових, жилих будівель (квартири, приватного будинку) за допомогою інженерних санітарно-технічних приладів та каналізаційної мережі.

### **ПРАКТИЧНІ І ЗАКОНОДАВЧІ ПРИКЛАДИ СВІТОВОГО ДОСВІДУ**

За даними глобальних звітів ВООЗ у 2023 році розвинені країни Європи, Північної Америки, Австралії мають практично повне покриття безпечною питною водою, модернізовані системи питного водопостачання та водовідведення, використовують енергоефективні технології очищення.

Країни з середнім рівнем доходів (країни Азії, Латинської Америки) мають проблеми із забезпеченням доступу до безпечної питної води населення в сільській місцевості, часткове оновлення інфраструктури, але з нерівномірним розподілом і зростанням інвестицій у міські системи водовідведення.

У країнах з низьким рівнем доходів (країнах Африки на південь від Сахари, частково Південній Азії) значна частина населення покладається на небезпечні джерела води (відкриті водойми, колодязі). В цих країнах відсутні централізовані системи водопостачання та водовідведення і низький рівень фінансування та технічної підтримки сфери питного водопостачання та водовідведення [14, 23].

Глобальний аналіз по країнах світу показує, що у період з 2000 року по 2020 рік доступ населення до безпечної води зріс із 78%

до 90%, а доступ до санітарії - з 54% до 74%. Цій позитивній динаміці сприяє фактичне впровадження затверджених ПБВ і законодавчих документів щодо санітарії в різних країнах світу [23, 24].

Так, майже всі розвинені країни Європи, Північної Америки, Австралії мають затверджені національні або регіональні ПБВ. У країнах Європи ПБВ є обов'язковими для всіх країн - членів. У США ПБВ інтегровані в систему оцінки ризиків для систем питного водопостачання. В Європі діє законодавство щодо очищення міських стічних вод, стандартизація методів очищення стічних вод та поводження з відходами.

У країнах з середнім рівнем доходу прогрес у впровадженні ПБВ спостерігається, але залишається нерівномірним. Наприклад, у Бразилії, Індії, Китаї активно розробляються та впроваджуються ПБВ для міських систем питного водопостачання, проте у сільській місцевості їх реалізація обмежена. В країнах Латинської Америки (наприклад, у Мексиці та Перу) прийнято національні програми з модернізації систем водовідведення. У Південній Азії, зокрема в Індії законодавство у вигляді затверджених програм стимулює будівництво туалетів і модернізацію інфраструктури.

У країнах з низьким рівнем доходу лише 20 - 30% країн мають національні або регіональні ПБВ. Наприклад, у Кенії діють пілотні програми впровадження ПБВ у великих містах. У Малаві та Замбії лише окремі громади впроваджують базові інструменти для безпеки води. Багато країн ще не мають чітких законодавчих рамок. Зусилля зосереджуються на національних стратегіях, які підтримуються міжнародними організаціями, такими як ЮНІСЕФ чи ВООЗ. Затверджені програми з питань санітарії, у тому числі щодо водовідведення, успішно працюють в ряді африканських країн, включаючи Ефіопію та Сьєрра - Леоне [15, 19].

За даними глобальних звітів ВООЗ у 2023 році 93 країни світу включили ПБВ до національної політики та стратегій, 129 країн мали національні стратегії в галузі санітарії, але їх практична реалізація залишається

проблемою, особливо у країнах із низьким доходом [14].

Оптимізація систем питного водопостачання та водовідведення є ключовим напрямом для забезпечення стійкого розвитку у багатьох країнах світу. Загалом, це довгострокове перспективне планування заходів з розвитку та стійкості систем питного водопостачання та водовідведення, що сформовано за результатами комплексного аналізу існуючих і очікуваних об'єктів. Розглянемо узагальнений аналіз методів, які використовуються в різних країнах.

У США значну увагу приділяють модернізації інфраструктури, зокрема, заміні старих трубопроводів для зменшення витоків, а також впровадженню енергоефективного обладнання та моніторингових систем. За оцінками, такі заходи можуть суттєво знизити енергоспоживання та витрати на обслуговування [4].

У США, країнах Європи, таких як Німеччина та Нідерланди, активно використовуються технології інтелектуального управління для виявлення витоків і оптимізації систем питного водопостачання [5, 21].

У Австралії розроблено масштабні програми з повторного використання очищених стоків для промислових і сільськогосподарських потреб, що дозволяє економити прісноводні ресурси [2].

Сінгапур інвестував у систему «NEWater», яка перетворює очищені стоки у воду для промислових та, навіть, побутових потреб, забезпечуючи стійкість систем питного водопостачання в умовах обмежених ресурсів [6].

Країни з низьким рівнем доходу, такі як Індія та Кенія, використовують недорогі децентралізовані системи очищення води, що дозволяє обслуговувати віддалені регіони без значних витрат [8, 15].

У США законодавчі ініціативи, як-от закони про безпечну питну воду і про водну інфраструктуру Америки, сприяють фінансуванню проектів питного водопостачання і водовідведення, зокрема заміни свинцевих труб [11].

Європейський Союз фінансує екологічно стійкі проекти через фонди розвитку, підтримуючи країни Східної Європи у впровадженні сучасних систем водовідведення [1].

Оптимізація систем питного водопостачання та водовідведення є комплексним процесом, що включає технологічні інновації, управлінські рішення та політичну підтримку. Різні країни адаптують ці підходи до своїх умов, забезпечуючи як доступність питної води, так і її ефективне використання. Ці дії сприяють досягненню глобальних цілей сталого розвитку, включаючи забезпечення доступу до чистої води та санітарії.

Досвід різних країн підкреслює важливість розробки ПБВ як основного механізму для управління ризиками в системах питного водопостачання під час криз.

В умовах постійної нестачі води Ізраїль впровадив ПБВ на національному рівні, інтегрувавши інноваційні технології з опріснення морської води та повторного використання стічних вод. Це дозволило забезпечити сталий доступ до води навіть у періоди загострення військових конфліктів [16].

У періоди посух австралійські міста розробили ПБВ, які включають заходи збереження, збирання дощової води та залучення приватних інвестицій у водний сектор.

Для захисту своїх водних ресурсів Південна Корея інтегрувала ПБВ у національну політику, акцентуючи увагу на запобіганні забрудненню річок і збереженні природних водних екосистем [22, 25].

Питне водопостачання в умовах конфліктів вимагає впровадження ПБВ та співпраці з міжнародними партнерами. Досвід країн, які успішно впровадили ПБВ, демонструє, що стратегічне управління може забезпечити стійкість систем питного водопостачання та водовідведення навіть у кризові часи.

У наведених прикладах більшість заходів оптимізації систем питного водопостачання та водовідведення були частиною національних стратегій, ПБВ або державних програм. Нижче описано, як ці країни закріплювали свої заходи у відповідних документах.

У Сінгапурі було прийнято Національну водну стратегію. Документ передбачає чотири основні джерела води для країни: місцеві водні ресурси, імпортовану воду, NEWater (перероблену воду) та опріснену воду. Водна політика впроваджена через Агенцію, яка розробляє регламенти для управління водними ресурсами, включаючи моніторинг втрат води та управління попитом. Заходи, як-от NEWater і зменшення витоків у мережі, інтегровані у ПБВ [6, 24].

В Нідерландах також основним державним документом, що визначає довгострокові цілі водного управління, є Національна водна стратегія. Виконання європейських директив із забезпечення якісного очищення стічних вод впроваджується через Плани управління стічними водами.

У Ізраїлі прийнятий Закон про водні ресурси, який регулює всі аспекти використання води, від її видобутку до повторного використання. Національний водний план встановлює основи управління водними ресурсами, включаючи опріснення та повторне використання стічних вод [5, 20].

В Японії прийняті: Акт про водопостачання, який забезпечує стандарти якості питної води та управління водопровідними системами, і Акт про управління каналізацією, що регламентує експлуатацію та модернізацію систем водовідведення.

В Австралії ПБВ включають збирання дощової води, впровадження інтелектуальних лічильників і повторне використання води [9, 12].

Франція є прикладом країни, яка успішно модернізувала системи питного водопостачання та водовідведення завдяки чітким правовим нормам, технологічним інноваціям і ефективному управлінню.

Так, у Франції значну частину систем питного водопостачання та водовідведення передано в оренду приватним компаніям, наприклад, *Veolia* і *Suez*. Це дозволило залучити значні інвестиції в оновлення інфраструктури. Приватні оператори працюють за контрактами з муніципалітетами, які жорстко регламентують якість послуг, вартість і прозорість управління.

Завдяки використанню інтелектуальних технологій вдалося знизити втрати води в мережах до рівня 20%, що є одним із найнижчих показників у Європі.

У містах країни впроваджено автоматичні системи моніторингу витоків, які дозволяють оперативно виявляти та усувати пошкодження.

Франція суворо дотримується європейських директив щодо якості питної води. В країні впроваджені сучасні технології очищення, такі як ультрафільтрація, зворотний осмос і використання активованого вугілля.

Постійний моніторинг якості здійснюється на різних етапах: від джерела водозабору до крана споживача.

Франція впровадила систему повторного використання очищених стічних вод для технічних і сільськогосподарських потреб.

Завдяки модернізації очисних споруд у країні значно скоротилося забруднення річок і озер, що було проблемою в середині ХХ століття. А сучасні очисні станції використовують біогаз, який отримують у процесі очищення стічних вод. Це дозволяє покривати до 50% енергетичних потреб таких станцій.

Ухвалений у 2006 році Закон про воду та водні середовища визначає основи управління водними ресурсами у Франції. Він передбачає впровадження інновацій у системах питного водопостачання, фінансову прозорість і сталі використання водних ресурсів.

Національний план управління водними ресурсами включає заходи з адаптації до змін клімату, які впливають на питне водопостачання та водовідведення, зокрема збереження водних екосистем і раціональне управління ресурсами. Франція активно виконує вимоги ЄС, включаючи ПБВ, оптимізацію водокористування та моніторинг якості води.

Як результат, країна має стабільно високий рівень задоволеності послугами питного водопостачання та водовідведення серед населення, значне скорочення втрат води та зменшення витрат на обслуговування мереж [10, 17, 18].

Тобто, Франція досягла успіху завдяки поєднанню приватного управління, інноваційних технологій і державного регулювання. Вона стала одним із європейських лідерів у забезпеченні сталого водокористування, демонструючи, що оптимізація систем питного водопостачання та водовідведення може бути ефективною навіть у великих і густонаселених країнах.

Слід звернути увагу на той факт, що проблеми питного водопостачання в регіонах, які постраждали від збройних конфліктів, стають надзвичайно гострими. Бойові дії часто руйнують інфраструктуру, що забезпечує доступ до питної води. Наприклад, у Сирії під час конфлікту у 2016 - 2017 роках спостерігалось різке зменшення доступу до питної води: якщо до війни понад 90% домогосподарств використовували централізоване водопостачання, то у 2016 році цей показник впав до 22%, а в 2017 - до 15,3%.

У Секторі Газа під час ізраїльських військових операцій пошкодження очисних споруд призвело до витоку неочищених стоків, що забруднило довколишні водні ресурси.

В Лівані у 2006 році під час війни руйнування каналізаційних мереж призвело до значних екологічних проблем через скидання мулу в Середземне море.

У Сьєрра-Леоне у 1990-х роках масові переміщення населення вплинули на структуру водоспоживання та спричинили нерівномірний розподіл водних ресурсів.

В Афганістані, де війна триває десятиліттями, поширеною практикою стало використання колодязів, викопаних місцевими громадами, що забезпечує мінімальну доступність води у важкодоступних районах.

Під час конфліктів часто виникає потреба у децентралізованих системах, які залучають місцеві громади або приватних підприємців для забезпечення послуг питного водопостачання.

Науковці зазначають, що заходи щодо забезпечення фінансової стійкості водоканалів під час конфліктів повинні бути впроваджені завчасно. Досвід Кот-д'Івуару показує, що розподіл податків на місцевий рі-

вень (фіскальна децентралізація) може забезпечити стійкість водопостачання навіть у періоди кризи.

В Уганді була впроваджена державна програма залучення приватного сектору до управління водними ресурсами, що дозволило швидко відновити інфраструктуру [3].

Загалом питне водопостачання в умовах конфліктів вимагає комплексного підходу, що включає децентралізацію, співпрацю між різними суб'єктами та забезпечення фінансової підтримки для відновлення довіри споживачів. Досвід країн Близького Сходу, Африки та Азії підкреслює важливість адаптації інфраструктури до умов кризи та залучення міжнародних організацій до відновлення.

Світові приклади показують, що успішна оптимізація систем питного водопостачання та водовідведення можлива лише за умов інтеграції заходів у національні стратегії та правові документи. Це забезпечує координацію між урядовими органами, приватним сектором і громадою.

Ключові досягнення країн у галузі оптимізації систем питного водопостачання та водовідведення базуються на:

- модернізації інфраструктури;
- застосуванні ПБВ;
- повторному використанні водних ресурсів;
- інтеграції інтелектуальних технологій для моніторингу та управління.

Для глобального прогресу потрібна комплексна міжнародна співпраця, активне фінансування та впровадження сучасних технологій. Україні важливо інтегрувати найкращі практики для досягнення Цілей сталого розвитку та забезпечення населення якісною водою.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

В Україні деякі принципи ПБВ адаптовано в низці нормативних документів, що регламентують розроблення схем оптимізації систем централізованого водопостачання та водовідведення. На сьогодні існують Методичні рекомендації, які не враховують сучасний стан справ і носять рекомендаційний

характер для підприємств питного водопостачання та водовідведення.

Крім того, відомі методичні підходи в сфері питного водопостачання та водовідведення, проектного аналізу та теорії прийняття управлінських рішень розвиваються до певної міри відокремлено і не інтегровані між собою як системний науково-методичний підхід, націлений на вирішення аналізованої проблеми.

Відсутня методологія та практичні інструменти отримання повної та достовірної інформації про фактичний стан систем питного водопостачання та водовідведення, а також практика аналізу їх фактичної оптимізації.

Слід зазначити, що системи питного водопостачання та водовідведення населених пунктів України мають свої специфічні особливості, які необхідно врахувати під час розроблення схем оптимізації.

На практиці використовуються методики оцінки техніко-економічної ефективності конкретного інвестиційного проекту.

Водночас відсутні методичні підходи до формування оптимальної сукупності проек-

тів з питного водопостачання та водовідведення для формування відповідної міської програми (плану), аналізу взаємного впливу проектів з погляду техніко-економічних показників, пріоритетності вибору проектів за умов фінансових обмежень.

Пропонуються нові системні науково-методичні підходи у вигляді проектів Порядків розроблення схем оптимізації систем централізованого водопостачання та водовідведення, які передбачають: створення комплексних рішень для забезпечення стійкості систем, їх енергоефективності та безпеки; аналіз ризиків, розроблення альтернативних сценаріїв, визначення фінансових моделей і планів впровадження; індикаторні показники енергоефективності, якості послуг та зменшення втрат води та стоків; створення умов для залучення інвестицій і фінансування від міжнародних донорів.

Так, у табл. 1 зроблено порівняльний аналіз існуючих Методичних рекомендацій і запропонованих в рамках дослідження нових системних науково-методичних підходів у вигляді відповідних проектів Порядків.

**Табл. 1.** Порівняльна таблиця науково - методичних підходів у сферах питного водопостачання та водовідведення

**Table 1.** Comparative table of scientific and methodological approaches in the fields of drinking water supply and wastewater management

Найменування порівняльних критеріїв та розділів	Недоліки/переваги		
	існуючих Методичних рекомендацій	нових системних науково-методичних підходів у вигляді проектів	
		Порядку розроблення схем оптимізації систем централізованого водопостачання	Порядку розроблення схем оптимізації систем централізованого водовідведення
Призначення, статус документа	Застарілі; мають не конкретизований зміст; не враховують сучасний стан справ, технології і можливості; не зареєстровані в Міністерстві	Сучасний; враховує поточні і перспективні реалії сфери питного водопостачання, вимоги відповідних державних стратегій і програм до 2030 та 2050 років; має чіткі, конкретні етапи розроблення, затвердження, впровадження,	Сучасний; враховує поточні і перспективні реалії сфери водовідведення, вимоги відповідних державних стратегій і програм до 2030 та 2050 років; має чіткі, конкретні етапи розроблення, затвердження,

	юстиції України, носять рекомендаційний характер для підприємств питного водопостачання та водовідведення.	реалізації, моніторингу схеми оптимізації; підлягає реєстрації в Міністерстві юстиції України; обов'язкові до виконання для підприємств питного водопостачання.	впровадження, реалізації, моніторингу схеми оптимізації; підлягає реєстрації в Міністерстві юстиції України; обов'язкові до виконання для підприємств питного водопостачання та водовідведення.
Термінологія	Застосовані загальні терміни; потребують доповнень і деталізації; без сучасних понять.	Містить сучасні поняття, що спрощує аналіз і впровадження управлінських рішень у сфері питного водопостачання.	Містить сучасні поняття, що спрощує аналіз і впровадження управлінських рішень у сфері водовідведення.
Процедура розроблення схем оптимізації	Мають загальний опис; без чітких етапів розроблення схеми оптимізації.	Включає деталізовані етапи аналізу, розроблення, обговорення, затвердження схеми оптимізації систем централізованого водопостачання.	Включає деталізовані етапи аналізу, розроблення, обговорення, затвердження схеми оптимізації систем централізованого водовідведення.
Зміст та структура схем оптимізації	Мають узагальнені зміст і структуру, без деталізації.	Має нові конкретні, розширені зміст і структуру, які дозволяють планувати, реалізовувати, здійснювати моніторинг заходів з розвитку систем питного водопостачання.	Має нові конкретні, розширені зміст і структуру, які дозволяють планувати, реалізовувати, здійснювати моніторинг заходів з розвитку систем водовідведення.
Основні цілі	Не містять сучасні цілі розвитку, вимоги існуючих і перспективних стратегій і програм.	Враховує сучасні цілі розвитку, вимоги існуючих і перспективних стратегій і програм щодо забезпечення надійності, енергоефективності, якості послуг в сфері питного водопостачання.	Враховує сучасні цілі розвитку, вимоги існуючих і перспективних стратегій і програм щодо забезпечення надійності, енергоефективності, якості послуг в сфері водовідведення.
Фокус на екологічних аспектах	Не враховують вимоги сучасного екологічного законодавства.	Включає заходи щодо здійснення екологічної оцінки; зроблений акцент на якості питної води, а також мінімізації впливу на навколишнє природне середовище.	Включає заходи щодо здійснення екологічної оцінки; зроблений акцент на якості очищення стічних вод, а також мінімізації впливу на навколишнє природне середовище.

Роль зацікавлених сторін	Відсутність розподілу ролей зацікавлених сторін.	Чітке розмежування функцій Замовника та Розробника схеми оптимізації систем централізованого водопостачання, що сприяє ефективності взаємодії між сторонами.	Чітке розмежування функцій Замовника та Розробника схеми оптимізації систем централізованого водовідведення, що сприяє ефективності взаємодії між сторонами.
Нормативно-правова база та посилення	Ґрунтуються на застарілих нормативно-правових актах.	Ґрунтується на актуальних нормативно-правових актах в сфері питного водопостачання.	Ґрунтується на актуальних нормативно-правових актах в сфері водовідведення.
Рекомендовані технології	Не враховує сучасні технологічні методи та інновації.	Акцент на енергоефективності, новітніх методах і технологіях в сфері питного водопостачання.	Акцент на енергоефективності, новітніх методах і технологіях в сфері водовідведення.
Забезпечення стійкості систем у надзвичайних ситуаціях та у воєнний час	Відсутній.	Розроблені заходи підвищують надійність систем питного водопостачання у кризових ситуаціях.	Розроблені заходи підвищують надійність систем водовідведення у кризових ситуаціях.
Визначення індикаторних показників розвитку систем	Відсутній.	Чіткі показники дозволяють здійснювати моніторинг ефективності реалізації заходів, запланованих схемою оптимізації систем централізованого водопостачання.	Чіткі показники дозволяють здійснювати моніторинг ефективності реалізації заходів, запланованих схемою оптимізації систем централізованого водовідведення.
Визначення оптимального сценарію	Відсутній.	Включення альтернатив забезпечує вибір найбільш доцільного сценарію реалізації схеми оптимізації систем централізованого водопостачання.	Включення альтернатив забезпечує вибір найбільш доцільного сценарію реалізації схеми оптимізації систем централізованого водовідведення.
Формування переліку і пріоритизація заходів	Відсутній.	Чіткий алгоритм пріоритизації заходів, запланованих схемою оптимізації систем централізованого водопостачання, групує ресурси для рівно поступового її виконання.	Чіткий алгоритм пріоритизації заходів, запланованих схемою оптимізації систем централізованого водовідведення, групує ресурси для рівно поступового її виконання.
Оцінка вартості, формування порядку виконання заходів	Відсутній.	Чітке планування вартості та строків забезпечує реалістичність реалізації заходів, запланованих схемою оптимізації	Чітке планування вартості та строків забезпечує реалістичність реалізації заходів, запланованих схемою оптимізації



		систем централізованого водопостачання.	систем централізованого водовідведення.
Формування фінансової моделі	Відсутній.	Інтеграція фінансових моделей підвищує інвестиційну привабливість підприємств питного водопостачання.	Інтеграція фінансових моделей підвищує інвестиційну привабливість підприємств питного водопостачання та водовідведення.
Гідравлічні розрахунки та просторовий аналіз	Відсутній.	Використання моделювання дозволяє точно визначати вузькі місця та оптимізувати системи питного водопостачання.	Використання моделювання дозволяє точно визначати вузькі місця та оптимізувати системи водовідведення.
Аналіз, оцінка та управління ризиками	Відсутній.	Управління ризиками забезпечує стійкість та надійність систем питного водопостачання.	Управління ризиками забезпечує стійкість та надійність систем водовідведення.
Отримання міжнародного фінансування	Відсутній.	Включення таких розділів підвищує можливість залучення іноземних інвестицій до сфери питного водопостачання.	Включення таких розділів підвищує можливість залучення іноземних інвестицій до сфери водовідведення.

В основі запропонованої оптимізації лежать інтегровані підходи до управління водними ресурсами, що враховують технічні, економічні, екологічні та соціальні аспекти. Схеми оптимізації будуть містити такі етапи, як: аналіз поточного стану системи, гідравлічні розрахунки, управління ризиками, створення альтернативних сценаріїв та фінансове моделювання.

Планується впровадити розроблення та реалізацію науково-практичного підходу до оптимізації систем питного водопостачання та водовідведення населених пунктів на основі комплексного розгляду цих систем, аналізу сучасного стану, застосування передових технологій у сферах питного водопостачання та водовідведення, сучасних методів підтримки прийняття управлінських рішень.

Імплементация ПБВ та розроблення схем оптимізації систем водопостачання і водовідведення є важливим кроком для досягнення Цілей сталого розвитку. Запропоновані заходи сприяють підвищенню якості послуг, зменшенню екологічного впливу та

створенню умов для енергетичної модернізації підприємств.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Міжнародний досвід свідчить, що впровадження ПБВ та інтегрованого управління ризиками значно підвищує ефективність і стійкість систем питного водопостачання та водовідведення.

Нормативно-правова база України сфери питного водопостачання та водовідведення, в частині оптимізації відповідних систем потребує адаптації до сучасних вимог і викликів.

В рамках дослідження створено єдиний системний підхід до оптимізації систем, який враховуватиме оцінку ризиків, сценарне планування та фінансове моделювання. Розроблено нові системні науково-методичні підходи у вигляді проєктів Порядків розроблення схем оптимізації систем централізованого водопостачання та водовідведення, реалізація яких на практиці дозволить забезпечити сталий розвиток систем питного водопостачання та водовідведення,

покращити якість життя населення і зменшити вплив кризових факторів.

Планується, що схема оптимізації враховуватиме ПБВ, і включатиме інші частини, такі як: водовідведення, фінмодель тощо.

Фінансування розробки схем оптимізації заплановано заходами Державної цільової економічної програми енергетичної модернізації підприємств водопостачання та водовідведення, що перебувають у державній або комунальній власності, на період до 2030 року, яка затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 листопада 2024 р. № 1133-р.

Розроблені схеми оптимізації дають можливість отримати фінансування міжнародних донорів у вигляді кредитів, грантів тощо на реалізацію запланованих заходів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. **Глобальний** аналіз систем водовідведення та їхньої оптимізації // Global Wastewater Status Report (2022). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://unu.edu/inweh/tools-and-resources/global-wastewater-status> (дата звернення 16.12.2024).
2. **Досвід** реалізації проектів із повторного використання очищених стічних вод // Australian National Water Strategy (2021). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.dcceew.gov.au/water/policy/policy/national-water-agreement> (дата звернення 16.12.2024).
3. **Зелінський С. Е.** Водопостачання та водна безпека у контексті російської агресії // Міжнародний фонд «Відродження» за фінансової підтримки Швеції. Кропивницький. 2022. 44 с. URL: <https://www.irf.ua/wp-content/uploads/2022/05/vodopostachannya-ta-vodna-bezpeka-u-konteksti-rosijskoyi-agresiyi.pdf> (дата звернення 16.12.2024).
4. **Інформація** про енергоефективність і модернізацію систем водопостачання у США. Рекомендації щодо зменшення втрат води та використання інтелектуальних систем обліку // EPA Reports on Drinking Water Infrastructure (2023). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.epa.gov/safewater> (дата звернення 16.12.2024).
5. **Огляд** інфраструктурних проектів, спрямованих на покращення водопостачання та водовідведення у країнах ЄС // European Union Regional Development Program (2022). [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/](https://ec.europa.eu/regional_policy/) (дата звернення 16.12.2024).
6. **Опис** системи «NEWater» у Сінгапурі для повторного використання очищених вод // Singapore Water Sustainability Reports (2022). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.pub.gov.sg/> (дата звернення 16.12.2024).
7. **Про Цілі** сталого розвитку України на період до 2030 року. Указ Президента України від 30.09.2019 р. №722 / База даних «Законодавство України». ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (дата звернення: 16.12.2024).
8. **African Ministers' Council on Water (AMCOW).** The Africa Water Vision for 2025: Equitable and Sustainable Use of Water for Socioeconomic Development. Addis Ababa: UN Water/Africa, 2000. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.amcow-online.org> (дата звернення 16.12.2024).
9. **Bartram, J., Corrales, L., Davison, A. et al.** Water Safety Plan Manual: Step-by-Step Risk Management for Drinking-Water Suppliers. Geneva: WHO, (2009). [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/wsp-manual-step-by-step/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/wsp-manual-step-by-step/en/) (дата звернення 16.12.2024).
10. **European Commission.** Directive (EU) 2020/2184 on the quality of water intended for human consumption // Official Journal of the European Union, (2020). [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj/eng\\_](https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj/eng_) (дата звернення 16.12.2024).
11. **Francis R. A.** The impacts of modern warfare on freshwater ecosystems // Environmental Management, 2011. Вип. 48(5). С. 985-999. URL: <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9746-9>.
12. **Hofste R. W., Kuzma S., Walker S., Sutanudjaja E. H. et. al.** Aqueduct 3.0: Updated Decision-Relevant Global Water Risk Indicators // World Resources Institute, 2019. URL: <https://www.wri.org/publication/aqueduct-30>.
13. **Hutton G., Varughese M.** *The Costs of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene.* World Bank, Washington, DC, (2016). [Електронний ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1596/k8543> (дата звернення 16.12.2024).

14. **Global Water Security and Sanitation Partnership: Annual Report (World Bank)** // Дані про стан доступу до питної води та санітарії у 2022 році, обсяги інвестицій і пріоритети. С. 6-10, 20-25. (2023). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/global-water-security-and-sanitation-partnership-annual-report-2023> (дата звернення 16.12.2024).

15. **Kibaroglu A.** State-of-the-art review of transboundary water governance in the Euphrates-Tigris river basin. // *International Journal of Water Resources Development*, 2019. Вип. 35(1). С. 4-29. URL: <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1408458>.

16. **Progress on Wastewater Treatment - 2021 Update (UN-Water)** // Статистика про очищення стічних вод у глобальному розрізі. С. 15-20, 28-30. (2021). [Електронний ресурс]. Режим доступу: [UN-Water Wastewater Report](https://www.unwater.org/publications/un-water-wastewater-report-2021) (дата звернення 16.12.2024).

17. **UNICEF.** Community-Led Total Sanitation: Field Notes. New York: UNICEF, (2013). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.unicef.org> (дата звернення 16.12.2024).

18. **UNICEF.** Water under fire: For every child, water and sanitation in complex emergencies. New York, NY: United Nations Children's Fund. Retrieved from // веб-сайт. (2019). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.unicef.org/media/51286/file> (дата звернення 16.12.2024).

19. **United Nations.** Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution adopted by the General Assembly, A/RES/70/1, (2015). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://sdgs.un.org/2030agenda> (дата звернення 16.12.2024).

20. **UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-Water (GLAAS).** Report // Інформація про глобальні інвестиційні потреби у водному секторі та прогрес у досягненні Цілі сталого розвитку №6. С. 7-15, 20-23. (2022). [Електронний ресурс]. Режим доступу: [GLAAS Report](https://www.unwater.org/publications/glaas-report) (дата звернення 16.12.2024).

21. **UN World Water Development Report** // Опис планів безпеки води (WSP) у ЄС та впровадження сучасних стандартів якості питної води. С. 10-12, 35-40. (2024). [Електронний ресурс]. Режим доступу: [UN-Water Report](https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report) (дата звернення 16.12.2024).

22. **Weinthal, E., & Sowers, J.** Targeting infrastructure and livelihoods in the West Bank and

Gaza // *International Affairs*, 2019. Вип. 95(2). С. 319-340. URL: <https://doi.org/10.1093/ia/iiz015>.

23. **WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme (JMP) for Water Supply, Sanitation and Hygiene.** Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020: Five years into the SDGs. Geneva, New York: WHO/UNICEF, (2021). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://washdata.org> (дата звернення 16.12.2024).

24. **World Bank.** World development report 2011: Conflict, security, and development. Washington, DC: World Bank. // веб-сайт. (2011). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/966731468161352341/world-development-report-2011-conflict-security-and-development> (дата звернення 16.12.2024).

25. **World Health Organization (WHO).** Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum. Geneva: WHO, (2017). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.who.int/publications-detail/guidelines-for-drinking-water-quality> (дата звернення 16.12.2024).

## REFERENCES

1. **United Nations University (2022).** Global analysis of wastewater systems and their optimization. *Global Wastewater Status Report*. Retrieved from <https://unu.edu/inweh/tools-and-resources/global-wastewater-status> (accessed on 16.12.2024).
2. **The Australian Government (2021).** Experience in implementing projects for the reuse of treated wastewater. *Australian National Water Strategy*. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.dcceew.gov.au/water/policy/policy/national-water-agreement> (accessed on 16.12.2024).
3. **Zelinskyi, S.E. (2022).** *Water supply and water security in the context of Russian aggression*. International Renaissance Foundation with financial support from Sweden, Kropyvnytskyi. Retrieved from <https://www.irf.ua/wp-content/uploads/2022/05/vodopostachannya-ta-vodna-bezpeka-u-konteksti-rosijskoyi-agresiyi.pdf> (accessed on 16.12.2024).
4. **EPA (2023).** Information on energy efficiency and modernization of water supply systems in the USA. Recommendations for reducing water losses and using smart metering systems. *EPA Reports on Drinking Water Infrastructure*. [Electronic resource]. Access mode:

- <https://www.epa.gov/safewater> (accessed on 16.12.2024).
5. **European Commission (2022)**. Overview of infrastructure projects aimed at improving water supply and sanitation in EU countries. *European Union Regional Development Program* [Electronic resource]. Access mode: <https://ec.europa.eu/regional-policy/> (accessed on 16.12.2024).
  6. **Singapore national water agency (2022)**. Description of the «NEWater» system in Singapore for reusing treated water. *Singapore Water Sustainability Reports*. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.pub.gov.sg/> (accessed on 16.12.2024).
  7. **President of Ukraine (2019)**. *On Ukraine's Sustainable Development Goals until 2030*. Presidential Decree No. 722 dated September 30, 2019. Legislation Database of Ukraine. Verkhovna Rada of Ukraine. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (accessed on 16.12.2024).
  8. **AMCOW (African Ministers' Council on Water) (2000)**. *The Africa Water Vision for 2025: Equitable and Sustainable Use of Water for Socio-economic Development*. Addis Ababa: UN Water/Africa, (2000). [Electronic resource]. Access mode: <https://www.amcow-online.org> (accessed on 16.12.2024).
  9. **Bartram, J., Corrales, L., Davison, A., Deere, D., Drury, D., Gordon, B., Howard, G., Rinehold, A., & Stevens, M. (2009)**. *Water Safety Plan Manual: Step-by-Step Risk Management for Drinking-Water Suppliers*. Geneva. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.who.int/water-sanitation-health/publications/wsp-manual-step-by-step/en/> (accessed on 16.12.2024).
  10. **European Commission (2020)**. Directive (EU) 2020/2184 on the quality of water intended for human consumption. *Official Journal of the European Union*. [Electronic resource]. Access mode: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj/eng> (accessed on 16.12.2024).
  11. **Francis, R. A. (2011)**. The impacts of modern warfare on freshwater ecosystems. *Environmental Management*, 48(5), 985-999. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9746-9>.
  12. **Hofste, R., Kuzma, S., Walker, S., Sutanudjaja, E., Bierkens, M., Kuijper, M., Faneca Sanchez, M., Van Beek, R., Wada, Y., Galvis Rodriguez, S., & Reig, P. (2019)**. Aqueduct 3.0: Updated Decision-Relevant Global Water Risk Indicators. *World Resources Institute*. <https://doi.org/10.46830/writn.18.00146>
  13. **Hutton, G., & Varughese, M. (2016)**. *The Costs of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene*. World Bank, Washington, DC. <https://doi.org/10.1596/k8543>
  14. **World Bank (2022)**. *Global Water Security and Sanitation Partnership (GWSP) Annual Report 2022 (English)*. Umbrella Trust Fund Annual Report Washington, D.C. : World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/099102211102224772> (accessed on 16.12.2024).
  15. **Kibaroglu, A.** State-of-the-art review of trans-boundary water governance in the Euphrates-Tigris river basin. *International Journal of Water Resources Development*, 35(1), 4-29. <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1408458>
  16. **UN-Water (2021)**. *Progress on Wastewater Treatment – 2021 Update*. Statistics on global wastewater treatment. 15-20, 28-30. [Electronic resource]. Retrieved from <https://www.unwater.org/publications/progress-wastewater-treatment-2021-update> (accessed on 16.12.2024).
  17. **UNICEF (2013)**. *Community-Led Total Sanitation: Field Notes*. New York: UNICEF. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.unicef.org> (accessed on 16.12.2024).
  18. **UNICEF (2019)**. *Water under fire: For every child, water and sanitation in complex emergencies*. New York, NY: United Nations Children's Fund, [Electronic resource]. Access mode: <https://www.unicef.org/media/51286/file> (accessed on 16.12.2024).
  19. **United Nations (2015)**. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. *Resolution adopted by the General Assembly, A/RES/70/1*, (2015). [Electronic resource]. Access mode: <https://sdgs.un.org/2030agenda> (accessed on 16.12.2024).
  20. **GLAAS (2022)**. *UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-Water*. Information on global investment needs in the water sector and progress in achieving SDG 6, 7-15, 20-23. [Electronic resource]. Access mode: [https://glaas.who.int/glaas/un-water-global-analysis-and-assessment-of-sanitation-and-drinking-water-\(glaas\)-2022-report](https://glaas.who.int/glaas/un-water-global-analysis-and-assessment-of-sanitation-and-drinking-water-(glaas)-2022-report) (accessed on 16.12.2024).
  21. **UN-Water (2024)**. *UN World Water Development Report*. Description of water safety plans (WSP) in the EU and implementation of modern drinking water quality standards. 10-12, 35-40. (2024). [Electronic resource]. Access mode: <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report> (accessed on 16.12.2024).
  22. **Weinthal, E., Sowers, J. (2019)**. Targeting infrastructure and livelihoods in the West Bank and Gaza. *International Affairs*, 95(2), 319-340. <https://doi.org/10.1093/ia/iiz015>.

23. **WHO/UNICEF, (2021).** *WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme (JMP) for Water Supply, Sanitation and Hygiene.* Progress on household drinking water, sanitation, and hygiene 2000-2020: Five years into the SDGs. Geneva, New York: [Electronic resource]. Access mode: <https://washdata.org> (accessed on 16.12.2024).

24. **World Bank, (2011).** *World Bank. World Development Report 2011: Conflict, Security, and Development.* Washington, DC: [Electronic resource]. Access mode: [https://docu-](https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-re-)

[ports/docu-mentdetail/966731468161352341/world-development-report-2011-conflict-security-and-development](https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-re-ports/docu-mentdetail/966731468161352341/world-development-report-2011-conflict-security-and-development) (accessed on 16.12.2024).

25. **World Health Organization (WHO) (2017).** *Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum.* Geneva: WHO, (2017). [Electronic resource]. Access mode: <https://www.who.int/publications-detail/guidelines-for-drinking-water-quality> (accessed on 16.12.2024).

## Research methods and conceptual principles of optimizing drinking water supply and wastewater systems

*Svitlana Potapenko, Oleksandr Kravchenko*

**Abstract.** The article analyzes the global experience in the following areas: population access to safe drinking water and sanitation, the implementation of measures to optimize drinking water supply and wastewater systems, and the integration of these measures into respective legislative documents, considering country-specific characteristics in these sectors. An overview of the implementation and realization of Water Safety Plans (WSP) in various countries is provided. The issues of drinking water supply and wastewater management in countries affected by armed conflicts and their solutions are highlighted. The article also describes known methodological approaches in the field of drinking water supply and wastewater management in Ukraine. Within the framework of the dissertation research, new systematic scientific and methodological approaches are proposed in the form of draft Regulations for developing schemes to optimize centralized water supply and wastewater systems. These drafts include: the creation of comprehensive solutions to ensure the sustainability, energy efficiency, and safety of systems; risk analysis, the development of alternative scenarios, and the determination of financial models and implementation plans; performance indicators for implementing optimization schemes; the establishment of conditions for attracting investments and funding from international donors. A comparative analysis was conducted between the existing Methodological Recommendations for developing optimization schemes for centralized water supply and wastewater systems and the proposed draft Regulations. Using a systematic analysis, the specifics of structural reform in scientific and methodological approaches to optimizing drinking water supply and wastewater systems were studied and analyzed based on global experience.

**Key words:** systems of drinking water supply and wastewater management, optimization of drinking water supply and wastewater systems, Water Safety Plans (WSP), sustainability of drinking water supply and wastewater systems, modernization, infrastructure, scientific and methodological approaches, methods.

*Стаття надійшла до редакції 16.12.2024*