

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.13.374-390

УДК 628.1.2.3

Потапенко С.П.,

psp77779827@gmail.com, ORCID: 0009-0000-4221-4048,

Київський національний університет будівництва і архітектури

## ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ПОТОЧНОГО СТАНУ ТА РОЗВИТКУ СИСТЕМ ПИТНОГО ВОДОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

*Пропонуються варіанти розробки та обґрунтування комплексної системи показників поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення в рамках проведення оптимізації систем населеного пункту. Застосовано методи системного аналізу та концептуального моделювання. Представлено логіко-математичну модель процесу формування показників, яка описує перехід від елементарних показників, що характеризують джерела, системи та споживачів, до інтегрованих показників поточного стану та розвитку. Розглянуто ключові групи показників, що включають рівень охоплення послугами, технічний стан інфраструктури, фінансово-економічні показники, соціальні аспекти, а також стійкість функціонування систем. Обґрунтовано необхідність комплексного підходу до формування показників, що охоплюють увесь життєвий цикл систем. Представлено інтегровану таблицю показників поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення з їх формулами розрахунку і призначенням. Результати дослідження пропонується використовувати в рамках схем оптимізації централізованих систем водопостачання та водовідведення для планування заходів з модернізації та розвитку систем, підвищення їх ефективності та забезпечення стійкості.*

*Ключові слова: системи питного водопостачання та водовідведення; показники поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення; модель; показник; стійкість; надійність; формула.*

**Постановка проблеми.** Системи питного водопостачання та водовідведення є невід'ємною складовою інфраструктури будь-якого населеного пункту, що забезпечує базові потреби населення та функціонування господарського комплексу. Ефективне управління цими системами, оцінка їх поточного стану та планування розвитку є критично важливими завданнями, особливо в контексті зростаючих антропогенних навантажень, кліматичних змін та необхідності забезпечення сталого розвитку. Формування адекватної системи показників дозволяє не тільки об'єктивно оцінювати ефективність функціонування систем питного водопостачання та водовідведення, але й

ідентифікувати «вузькі місця», визначати пріоритетні напрямки модернізації та залучати інвестиції.

В Україні останнім часом приділяється значна увага питанням оптимізації та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення, що знаходить своє відображення у нових науково-методичних підходах у вигляді проєктів Порядків розроблення схем оптимізації систем централізованого водопостачання та водовідведення. Ці проєкти нормативно-правових актів підкреслюють важливість використання системи індикаторних показників для оцінки ефективності та планування розвитку.

Однак, незважаючи на наявність окремих методик та переліків показників, існує потреба в узагальненні та систематизації підходів до їх формування, що враховували б комплексність систем питного водопостачання та водовідведення як єдиного технологічного ланцюга - від джерела водопостачання до очищення стічних вод та повернення їх у навколишнє природне середовище. Важливим аспектом є також інтеграція показників стійкості цих систем до різноманітних ризиків, які виникають на різних етапах технології [1, 2].

**Аналіз останніх досліджень.** В даний час в Київському національному університеті будівництва і архітектури та ТОВ «Інститут комунальної інфраструктури» здійснюються наукові дослідження із розробки нових системних науково-методичних підходів у вигляді проєктів Порядків розроблення схем оптимізації систем централізованого водопостачання та водовідведення. За цими напрямками видані наукові публікації (О. Кравченко, С. Потапенко) та ін.

**Мета дослідження:** Метою є розробка та обґрунтування комплексної системи показників поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення, адаптованої до сучасних вимог українського законодавства та міжнародних практик.

Для досягнення поставленої мети було зроблено:

- системний аналіз у вигляді розгляду систем питного водопостачання та водовідведення як складної системи, що включає джерела, мережі транспортування, споруди підготовки та очищення, а також споживачів, які до них приєднані, з метою виявлення взаємозв'язків між елементами та формуванням комплексних показників;

- концептуальне моделювання у вигляді розробки логіко-математичної моделі процесу формування показників поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення, що дозволяє структурувати процес переходу від елементарних даних до агрегованих оцінок;

- класифікація та групування у вигляді систематизації показників за

різними аспектами функціонування систем питного водопостачання та водовідведення (технічні, економічні, екологічні, соціальні, показники стійкості).

Інформаційною базою дослідження слугували нормативно-правові акти України, наукові публікації, а також матеріали дисертаційних досліджень, що стосуються проблематики оцінки та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення [3, 17, 18].

**Основна частина.** Розглянемо системи питного водопостачання та водовідведення як складні системи, що включають джерела, мережі транспортування, споруди підготовки та очищення, а також споживачів, які до них приєднані, з метою виявлення взаємозв'язків між елементами та формуванням комплексних показників.

Виконання комплексної оцінки поточного стану систем з перспективою розвитку - це перший крок на шляху до підвищення стійкості систем питного водопостачання та водовідведення.

Поточний стан систем визначається комплексом показників, які відображають технічні, економічні, соціальні та екологічні аспекти.

Поняття «стійкість систем» визначається як якість, що дозволяє системі витримувати зміни параметрів зовнішнього середовища, відмінні від розрахункових. Система може бути названа «стійкою», якщо вона в змозі впоратися з варіаціями (іноді непередбачуваними) в операційному середовищі з мінімальними: збитками, змінами або втратою функціональності [13, 19]. Тобто, це відношення або кількісний взаємозв'язок між отриманим розрахунковим результатом (вихідним показником) і вхідним показником - фактичним результатом, який враховує витримані зміни.

Стійкість систем тісно пов'язана зі структурою, надійністю та якістю наданих (спожитих) послуг централізованих водопостачання та водовідведення. З позицій системного аналізу необхідний комплексний розгляд джерела питного водопостачання або водовідведення, систем і приєднаних до них споживачів, що визначає номенклатуру показників, які характеризують поточний стан і розвиток систем питного водопостачання та водовідведення населеного пункту [4].

Кожен із зазначених елементів виконує специфічні функції, але водночас є складовою єдиної системи, у межах якої постійно відбувається обмін матеріальними, енергетичними та інформаційними потоками. Ефективність функціонування таких систем визначається не лише якістю роботи окремих компонентів, але й характером взаємозв'язків між ними. Зокрема, зміни у характеристиках одного елемента (наприклад, зниження дебіту водозабору або зростання навантаження на очисні споруди) здатні спричинити суттєві наслідки

для всієї системи, знижуючи її стійкість, енергоефективність чи надійність.

У рамках системного підходу важливим завданням є ідентифікація та кількісна оцінка основних взаємозв'язків між структурними елементами. Для цього застосовуються методи структурного моделювання, функціонально-вартісного аналізу, ієрархічного декомпонування, а також інструменти багатокритеріального оцінювання. На основі такого аналізу можливо формувати інтегральні або комплексні показники, які відображають ефективність, надійність, стійкість чи адаптивність системи в цілому. До прикладу, інтегральний показник стійкості може враховувати коефіцієнт забезпеченості питною водою, енергоємність транспортування, втрати у мережах, ефективність очищення води та рівень задоволеності споживачів.

Застосування системного аналізу дозволяє виявити «вузькі місця» у функціонуванні систем питного водопостачання та водовідведення, обґрунтувати пріоритетні напрями модернізації, забезпечити підвищення їх стійкості до зовнішніх викликів, таких як зміна клімату, зростання навантаження через релокацію, урбанізацію або дефіцит енергоресурсів. Таким чином, системний підхід виступає основою для розробки та формування показників поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення. Цей процес є багатоетапним, що вимагає врахування специфіки функціонування цих систем та цілей управління.

На основі проведеного аналізу пропонується концептуальний підхід, що базується на логіко-математичній моделі та ієрархічній структурі показників.

Метою цієї моделі є опис процесу, який починається з початкового стану системи питного водопостачання та водовідведення і через низку етапів розвитку (трансформацій) призводить до кінцевого бажаного стану.

Приймаємо і формулюємо ланцюг прийнятих понять і зв'язків, які визначають зміст структури предметної області, що розглядається:

$S^0$ ,  $S^1$ ,  $S^I$ ,  $S^P$  - початковий, перший, проміжний і кінцевий показник поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення;

0, 1, I, P - кількісна величина зміни показника у певний рівномірний період часу;

F - зовнішні фактори впливу;

A - критерії вибору показника;

L - обмеження під час вибору показника;

M - параметри показника;

ПРВП - процедура розробки вибору показника;

КБ - комплексний баланс;

ДПНЗ - діаграми причинно-наслідкових зв'язків;

МП - моделі показника;

ВПУО - вибір показника в умовах обмежень;

$X_1, X_2, X_3$  - безліч варіантів показників розвитку, які пов'язані з джерелом та/або системами питного водопостачання або водовідведення, і приєднаними до них споживачами (адміністративні та житлові будинки);

$x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}$  - елементарні показники;

$\Pi^{(i)}$  - показник на  $i$ -ому етапі розвитку.

Логіко-математичне формулювання концептуальної моделі процесу формування показників поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення передбачає, що початковий показник поточного стану та розвитку характеризується вектором стану:

$$S^{(0)} = \{ S^{(0)}_1, \dots, S^{(0)}_z, \dots, S^{(0)}_r \}, \quad (1)$$

де  $S^{(0)}_z$  -  $z$ -тий елементарний показник на початковому етапі.

Проміжний  $i$ -тий стан характеризується вектором:

$$S^{(i)} = \{ S^{(i)}_1, \dots, S^{(i)}_z, \dots, S^{(i)}_r \}, \quad (2)$$

де  $S^{(i)}_1, \dots, S^{(i)}_z, \dots, S^{(i)}_r$  - показники стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення на етапах  $0, 1, \dots, i, \dots, p$ .

Під час впровадження заходів з розвитку планується отримати кінцевий  $p$ -ий показник:

$$S^{(p)} = \{ S^{(p)}_1, \dots, S^{(p)}_z, \dots, S^{(p)}_r \}, \quad (3)$$

Зміни стану показника в процесі його розвитку на етапах  $0, 1, \dots, i, \dots, p$  характеризується матрицею стану:

$$S = \begin{pmatrix} S^{(0)}_1 & \dots & S^{(0)}_z & \dots & S^{(0)}_r \\ S^{(1)}_1 & \dots & S^{(1)}_z & \dots & S^{(1)}_r \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S^{(i)}_1 & \dots & S^{(i)}_z & \dots & S^{(i)}_r \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S^{(p)}_1 & \dots & S^{(p)}_z & \dots & S^{(p)}_r \end{pmatrix} \quad (4)$$

Зміна стану показника на кожному  $i$ -тому етапі:

$$\Pi^{(i)}, \quad (5)$$

Перехід показника із поточного стану в процесі розвитку до кінцевого стану характеризується формулою:

$$\Pi = \{\Pi^{(1)}, \dots, \Pi^{(i)}, \dots, \Pi^{(p)}\}, \quad (6)$$

Показники поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення охоплюють як єдиний комплекс: джерела питного водопостачання або водовідведення, системи і приєднаних до них споживачів.

Підставою формування актуалізованих показників  $\Pi_a^{(i)}$  являються елементарні показники  $x_{1j}$ ,  $x_{2j}$ ,  $x_{3j}$  із множини:

$$X = X_1 \cup X_2 \cup X_3, \quad (7)$$

де  $x_{1j} \in X_1$  - елементарний  $j$ -ий показник з множини елементарних показників джерела питного водопостачання або водовідведення  $X_1$ ,

$x_{2j} \in X_2$  - елементарний  $j$ -ий показник з множини елементарних показників систем питного водопостачання або водовідведення  $X_2$ ,

$x_{3j} \in X_3$  - елементарний  $j$ -ий показник з множини елементарних показників приєднаних до систем питного водопостачання або водовідведення споживачів  $X_3$ .

У відповідності до розглянутого логіко-математичного формулювання концептуальної моделі процес формування показників поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення починається з нульового показника, продовжується  $p$  циклами трансформації його розвитку. На початковому етапі формується множина елементарних показників  $X$ . Кожен  $i$ -ий цикл включає оцінку проміжного стану показника  $S^{(i)}$ , формування показника  $\Pi^{(i)}$  на підставі множини елементарних показників  $X = X_1 \cup X_2 \cup X_3$  з використанням процедур розробки вибору показника ПРВП і його досягнення до кінцевого значення  $S^{(i+1)}$ , а також з використанням комплексних балансів КБ, діаграм причинно-наслідкових зв'язків ДПНЗ, моделей показника МП.

З метою визначення факторів впливу та обмежень необхідно врахувати: зовнішні фактори впливу  $F$ , критерії вибору показника  $A$ , обмеження під час вибору показника  $L$  та параметри показника  $M$  [5, 6, 16].

Процес формування показників поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення є циклічним і базується на переході від одного стану системи до іншого через розробку та впровадження конкретних показників розвитку на кожному етапі.

Для забезпечення ефективного управління системами питного водопостачання та водовідведення необхідно здійснювати оцінку їх функціонування на основі цілісної системи показників, що охоплює різні аспекти їхньої діяльності. Така систематизація дозволяє здійснювати порівняльний аналіз, ідентифікувати проблемні зони, приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо підвищення ефективності та стійкості функціонування систем.

Показники доцільно групувати за п'ятьма основними напрямками: технічними, економічними, екологічними, соціальними, а також показниками стійкості.

Так, технічні показники відображають рівень технічного стану, надійність та ефективність роботи інфраструктурних елементів системи.

Економічні показники характеризують фінансову ефективність, витрати та рентабельність діяльності підприємств водопровідно-каналізаційного господарства.

Екологічні показники відображають рівень впливу систем на навколишнє природне середовище та ефективність заходів з його мінімізації.

Соціальні показники пов'язані із задоволенням потреб населення, доступністю послуг та якістю обслуговування.

Показники стійкості функціонування системи дають змогу оцінити здатність систем витримувати зовнішні та внутрішні навантаження без втрати функціональності.

Таке групування дозволяє сформувати багатовимірну модель оцінки ефективності та стійкості функціонування систем питного водопостачання та водовідведення, яка може слугувати основою для прийняття стратегічних управлінських рішень, розробки схем оптимізації та інвестиційних програм, підвищення екологічної безпеки та соціальної орієнтованості водопровідно-каналізаційного господарства [7, 8, 9].

У таблиці 1 показано інтеграцію показників поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення.

Таблиця 1

Інтегрована таблиця показників поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення

Показник	Формула	Примітка
1	2	3
Рівень охоплення послугами централізованого водопостачання	$\delta_{\text{охопл}} = \frac{N_{\text{посл}}}{N} \cdot 100\%$ де: $N_{\text{посл}}$ - кількість споживачів, яким надаються послуги з централізованого водопостачання, тис. осіб; $N$ - загальна кількість споживачів у населеному пункті (об'єднаній територіальній громаді), тис. спож.	Охоплення населення централізованим водопостачанням

1	2	3
Питоме питне водоспоживання	$q = \frac{Q_{р\text{спож}}}{365 N_{\text{посл}}},$ де: $Q_{р\text{спож}}$ - об'єм питної води, реалізованої споживачам, тис. м <sup>3</sup> /рік; 365 - кількість днів у році; $N_{\text{посл}}$ - кількість споживачів, яким надаються послуги з централізованого водопостачання, тис. спож.	Середнє споживання на одного споживача
Кількість відхилень якості питної води від чинних нормативних вимог за мікробіологічними показниками	$\delta_{\text{відх м/б}} = \frac{P_{\text{відх}}}{P_{\text{заг}}},$ де: $P_{\text{відх}}$ - кількість проб з відхиленнями від нормативів за мікробіологічними показниками; $P_{\text{заг}}$ - загальна кількість проб за рік.	Проби питної води, що не відповідають вимогам ДСанПІН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» за мікробіологічними показниками
Питомий час припинення надання послуг з централізованого водопостачання	$A_{\text{в}} = \frac{\sum(N_{\text{відкл і}} \cdot t_{\text{відкл і}})}{N_{\text{посл}}},$ де: $N_{\text{відкл і}}$ - кількість споживачів, яким було припинено надання послуг з централізованого водопостачання внаслідок і-тої аварії, тис. спож.; $t_{\text{відкл і}}$ - час, протягом якого послуги з централізованого водопостачання не надавалися, при аварійній ситуації, год.; $N_{\text{посл}}$ - кількість споживачів, яким надаються послуги з централізованого водопостачання, тис. спож.	Середній час відключення питної води на одного споживача
Середній термін експлуатації систем централізованого водопостачання	$t_{\text{експл}} = \frac{\sum T_i \cdot ПВ_i}{\sum ПВ_i},$ де: $T_i$ - термін експлуатації, різниця між звітним роком та роком введення в експлуатацію і-го елемента систем централізованого водопостачання, рік; $ПВ_i$ - початкова вартість і-го елемента, тис. грн.	Довготривалість використання систем централізованого водопостачання
Відсоток зносу систем централізованого водопостачання	$t_{\text{зн}} = \frac{\sum Зн_i}{\sum ПВ_i} \cdot 100\%,$ де: $\sum Зн_i$ - сума зносу, нарахована на і-тий елемент за весь період експлуатації, тис. грн.; $\sum ПВ_i$ - початкова вартість і-го елемента, тис. грн.	Свідчить про технічний стан мереж централізованого водопостачання
Питома залишкова вартість систем централізованого водопостачання	$Z_{\text{в}} = \frac{ЗВ_{\text{заг}}}{N_{\text{посл}}},$ де: $ЗВ_{\text{заг}}$ - загальна залишкова вартість систем централізованого водопостачання на початок звітного року, тис. грн.; $N_{\text{посл}}$ - кількість споживачів, яким надаються послуги з централізованого водопостачання, тис. спож.	Середня залишкова вартість систем централізованого водопостачання на одного споживача

1	2	3
Лінійний показник аварійності централізованого водопостачання	$A_{л} = \frac{A_{мер}}{L},$ де: Амер - кількість аварій на розподільних мережах централізованого водопостачання за рік; L - загальна протяжність розподільних мереж централізованого водопостачання, км.	Кількість аварій на кілометр мережі централізованого водопостачання
Рівень подачі питної води	$\delta_{под} = \frac{Q_{под}}{Q_{заб}} \cdot 100\%,$ де: Qпод - загальний об'єм питної води, поданої до розподільної системи централізованого водопостачання, тис. м <sup>3</sup> /рік; Qзаб - об'єм забраної питної води, тис. м <sup>3</sup> /рік. При використанні у системі централізованого водопостачання підземної води без «розриву струменя» Q под = Q заб та δпод = 100%.	Ефективність використання забраної води
Лінійний показник втрат питної води	$Вт = \frac{(Q_{под} - Q_{р})}{L},$ де: Qпод - загальний об'єм питної води, поданої до розподільної системи централізованого водопостачання, тис. м <sup>3</sup> /рік; Qр - загальний об'єм реалізованої питної води, тис. м <sup>3</sup> /рік; L - загальна протяжність розподільних мереж централізованого водопостачання, км.	Втрати на одиницю довжини мережі
Рівень обліку питної води	$\delta_{под} = \frac{Q_{ліч}}{Q_{р}} \cdot 100\%,$ де: Qліч - об'єм питної води, реалізованої за показниками лічильника, тис. м <sup>3</sup> /рік; Qр - загальний об'єм реалізованої питної води, тис. м <sup>3</sup> /рік.	Ефективність реалізації питної води
Рівень оплати послуг централізованого водопостачання	$\delta_{спл} = \frac{P_{спл\ спож}}{P_{спож}} \cdot 100\%,$ де: Pспл спож - загальна оплата послуг з централізованого водопостачання споживачами, тис. грн./рік; Pспож - загальна вартість виставлених споживачам рахунків, тис. грн./рік.	Частка оплати спожитих послуг з централізованого водопостачання
Питоме централізоване водовідведення	$q = \frac{Q_{р\ спож}}{365 N_{посл}},$ де: Qр спож - об'єм зібраних стічних вод від споживачів, тис.м <sup>3</sup> /рік; 365 - кількість днів у році; Nпосл - кількість осіб, яким надаються послуги з централізованого водовідведення, тис. осіб.	Оцінка обсягу стічних вод, що утворюються на одного мешканця

1	2	3
Рівень охоплення послугами централізованого водовідведення	$\delta_{\text{охопл}} = \frac{N_{\text{посл}}}{N} \cdot 100\%$ <p>де: <math>N_{\text{посл}}</math> - кількість осіб, яким надаються послуги з централізованого водовідведення, тис. осіб;  <math>N</math> - загальна кількість населення у населеному пункті (об'єднаній територіальній громаді), тис. осіб.</p>	Частка населення, що користується централізованим водовідведенням
Питомий час перебоїв надання послуг централізованого водовідведення	$A_{\text{в}} = \frac{\sum(N_{\text{відкл}i} \cdot t_{\text{відкл}i})}{N_{\text{посл}}}$ <p>де: <math>N_{\text{відкл}i}</math> - кількість осіб, яким було припинено надання послуг з централізованого водовідведення внаслідок <math>i</math>-тої аварії, тис. осіб;  <math>t_{\text{відкл}i}</math> - час, протягом якого послуги з централізованого водовідведення не надавалися, при аварійній ситуації, год;  <math>N_{\text{посл}}</math> - кількість осіб, яким надаються послуги з централізованого водовідведення, тис. осіб.</p>	Середній час припинення відкачування стоків на одного споживача
Середній термін експлуатації системи централізованого водовідведення	$t_{\text{експл}} = \frac{\sum T_i \cdot \text{ПВ}_i}{\sum \text{ПВ}_i}$ <p>де: <math>T_i</math> - термін експлуатації, різниця між звітним роком та роком введення в експлуатацію <math>i</math>-го елемента системи централізованого водовідведення, рік;  <math>\text{ПВ}_i</math> - початкова вартість <math>i</math>-го елемента, тис. грн.</p>	Довготривалість використання систем централізованого водовідведення
Відсоток зносу системи централізованого водовідведення	$t_{\text{зн}} = \frac{\sum \text{Зн}_i}{\sum \text{ПВ}_i} \cdot 100\%$ <p>де: <math>\text{Зн}_i</math> - сума зносу, нарахована на <math>i</math>-тий елемент за весь період експлуатації, тис. грн.;  <math>\text{ПВ}_i</math> - початкова вартість <math>i</math>-го елемента, тис. грн.</p>	Свідчить про технічний стан мереж централізованого водовідведення
Питома залишкова вартість системи централізованого водовідведення	$Z_{\text{в}} = \frac{\text{ЗВ}_{\text{заг}}}{N_{\text{посл}}}$ <p>де: <math>\text{ЗВ}_{\text{заг}}</math> - загальна залишкова вартість системи централізованого водовідведення на початок звітного року, тис. грн.;  <math>N_{\text{посл}}</math> - кількість споживачів, яким надаються послуги з централізованого водовідведення, тис. осіб.</p>	Середня залишкова вартість систем централізованого водовідведення на одного споживача
Лінійний показник аварійності централізованого водовідведення	$A_{\text{л}} = \frac{A_{\text{мер}}}{L}$ <p>де: <math>A_{\text{мер}}</math> - кількість аварій на розподільних мережах централізованого водовідведення за рік;  <math>L</math> - загальна протяжність розподільних мереж централізованого водовідведення, км.</p>	Кількість аварій на кілометр мережі централізованого водовідведення
Рівень обліку стоків	$\delta_{\text{под}} = \frac{Q_{\text{ліч}}}{Q_{\text{р}}} \cdot 100\%$ <p>де: <math>Q_{\text{ліч}}</math> - об'єм стоків за лічильниками, тис. м<sup>3</sup>/рік;  <math>Q_{\text{р}}</math> - загальний об'єм стоків, тис. м<sup>3</sup>/рік.</p>	Ефективність відкачування стоків

1	2	3
Рівень оплати послуг централізованого водовідведення	$\delta_{\text{спл}} = \frac{P_{\text{спл спож}}}{P_{\text{спож}}} \cdot 100\%$ де: $P_{\text{спл спож}}$ - загальна оплата послуг споживачами, тис. грн./рік; $P_{\text{спож}}$ - загальна вартість виставлених споживачам рахунків, тис. грн./рік.	Частка оплати спожитих послуг з централізованого водовідведення
Коефіцієнт повторного використання очищених стоків	$K_{\text{повт}} = \frac{Q_{\text{повт}}}{Q_{\text{оч}}} \cdot 100\%$ де: $Q_{\text{повт}}$ - об'єм повторно очищених стоків, тис. м <sup>3</sup> /рік; $Q_{\text{оч}}$ - очікуваний об'єм стоків, тис. м <sup>3</sup> /рік.	Оцінка обсягів очищеної води, використаної повторно
Частка державного фінансування	$F_{\text{держ}} = \frac{C_{\text{держ}}}{C_{\text{заг}}} \cdot 100\%$ де: $C_{\text{держ}}$ - фінансування за рахунок коштів Державного бюджету заходів з оптимізації систем питного водопостачання та водовідведення, тис. грн./рік; $C_{\text{заг}}$ - загальне фінансування заходів з оптимізації систем питного водопостачання та водовідведення, тис. грн./рік.	Показує роль держави у фінансуванні інфраструктури

Представлені у таблиці 1 показники поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення можна використовувати як основу для аналізу стійкості систем питного водопостачання та водовідведення, а також для порівняння різних населених пунктів або періодів часу в рамках схеми оптимізації [10, 11, 12].

Одним із ключових аспектів є баланс між витратами на модернізацію та експлуатацію обладнання та досягненням сталого водокористування. Формування системи показників є інструментом для прийняття обґрунтованих управлінських рішень, оцінки ефективності запланованих заходів та контролю досягнення стратегічних цілей. Наприклад, високий лінійний показник втрат питної води сигналізує про необхідність модернізації мереж, а зменшення втрат води у водопровідних мережах через впровадження систем диспетчеризації, контролю тиску та заміну зношених труб призводить не лише до зниження витрат води, а й зменшує обсяг стічних вод, що потребують очистки, тим самим знижуючи навантаження на каналізаційні очисні споруди.

Крім того, енергоефективність насосного обладнання прямо впливає як на собівартість подачі води, так і на обсяги шкідливих викидів в атмосферу внаслідок споживання електроенергії. Застосування частотного регулювання, автоматизованих систем управління та модернізація насосних агрегатів сприяють одночасному покращенню показників питного водопостачання та водовідведення.

Важливим є також вплив якості поданої води на склад стічних вод: зміна технологій водопідготовки може зменшити використання хімічних реагентів, що у свою чергу вплине на процеси біологічного очищення на станціях водовідведення. Отже, навіть точкові технологічні рішення в одному сегменті системи можуть мати суттєві наслідки в іншому.

Загалом, забезпечення стійкості та ефективності функціонування систем питного водопостачання та водовідведення вимагає розробки схем оптимізації, як інтегрованих стратегій управління, що базуються на аналізі взаємозалежностей ключових показників, прогнозуванні довгострокових результатів від впровадження окремих заходів та використанні інструментів цифрового моделювання для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Довготривале планування розвитку питного водопостачання та водовідведення передбачає нерозривний взаємозв'язок між діагностикою поточного стану системи, прогнозними показниками її розвитку та визначенням оптимального комплексу заходів, спрямованих на підвищення ефективності, надійності та стійкості [14, 15].

Взаємозв'язок між показниками і заходами є двостороннім: з одного боку, саме діагностичні показники ініціюють потребу у вжитті певних заходів, з іншого - реалізація заходів безпосередньо впливає на зміну значень відповідних показників. Цей взаємозв'язок є основою для побудови адаптивної, ефективної та стійкої системи управління в сфері питного водопостачання та водовідведення.

Запропонований підхід, що базується на аналізі чинної нормативної бази, наукових розробках, концептуальному та математичному моделюванні, дозволяє систематизувати процес збору, обробки та інтерпретації даних [20].

Для систематизації впливу різних груп чинників на рівень основних показників функціонування систем питного водопостачання та водовідведення доцільно застосовувати метод діаграми причинно-наслідкових зв'язків (діаграму Ісікави). Це дозволяє виявити ключові напрями оптимізації, спрямовані на підвищення надійності, якості послуг та ефективності управління.

Нижче подано узагальнену діаграму Ісікави, де основною проблемою виступає низький рівень ефективності функціонування систем питного водопостачання та водовідведення, а гілки діаграми репрезентують головні групи факторів, що на неї впливають. Тобто, накреслений взаємозв'язок системи показників питного водопостачання та водовідведення із заходами їх оптимізації.



Рис 1. Взаємозв'язок системи показників питного водопостачання та водовідведення із заходами їх оптимізації

**Висновки.** Розроблено структуру системи показників, що охоплює ключові аспекти функціонування систем питного водопостачання та водовідведення, та інтегровано конкретні формули їх розрахунку.

Обґрунтовано логіко-математичну модель формування показників, яка відображає ієрархічний перехід від елементарних даних до інтегральних оцінок.

Представлено інтегровану таблицю показників з формулами розрахунків, що є практичним інструментом для оцінки поточного стану та розвитку систем питного водопостачання та водовідведення.

Органам місцевого самоврядування, підприємствам питного водопостачання та водовідведення рекомендується впроваджувати запропоновану систему показників та формул для регулярного моніторингу та підготовки схем оптимізації.

### Список джерел

1. Розвиток систем водопостачання та водовідведення населених пунктів: монографія / О.М. Андрєєв, М.М. Корнєєв, І.В. Ковальчук та ін. – К.: КНУБА, 2018. – 384 с.
2. Оцінка та управління водними ресурсами: навчальний посібник / За ред. В.М. Хорєва. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – 324 с.
3. Sustainability assessment of urban water systems: A review / A. Matos, J.P. Antunes, L. Santos // Journal of Cleaner Production. – 2019. – Vol. 218. – P. 586-599. – Режим

доступу:

[https://www.researchgate.net/publication/265089188\\_Sustainability\\_assessment\\_of\\_urban\\_water\\_systems\\_a\\_case\\_study](https://www.researchgate.net/publication/265089188_Sustainability_assessment_of_urban_water_systems_a_case_study) (дата звернення 15.05.2025).

4. Water-energy-food nexus: Current status and future directions / F. Liu, S. Chen, X. Wang et al. // *Science of the Total Environment*. – 2018. – Vol. 613-614. – P. 1013-1024. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/291352610\\_Quantifying\\_the\\_Water-Energy-Food\\_Nexus\\_Current\\_Status\\_and\\_Trends](https://www.researchgate.net/publication/291352610_Quantifying_the_Water-Energy-Food_Nexus_Current_Status_and_Trends) (дата звернення 15.05.2025).

5. О. Кравченко, С. Потапенко, Т. Куба, Т. Аргатенко. Вимоги до гідравлічного моделювання мереж водопостачання у воєнний час та для управління ризиками ХБРЯ-забруднень, Науково-технічний збірник КНУБА № 45 (2023) Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, С. 32-38.

6. Resilience of Urban Water Systems to Climate Extremes / J. Hall, R.J. Dawson, R.E. Nicholls // *Journal of Hydrology*, 2018, Vol. 564, P. 612-629. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.026>.

7. Smart Technologies for Water Quality Monitoring / V. Tsakaloudi, A. Ntougias, N. Graham // *Science of the Total Environment*, 2020, Vol. 721, 137744. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137744>.

8. The Role of Artificial Intelligence in Water Resource Management: A Review / A. Jain, V.K. Kushwaha, A. Vijayakumar // *Journal of Cleaner Production*, 2021, Vol. 289, 125791. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125791>.

9. Decentralized Water Reuse Systems: Planning, Design, and Implementation / M.B. Hamoda // IWA Publishing, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2166/9781780408544>.

10. Sustainable Sanitation and Water Management / P. Lens, G. Zeeman, G. Lettinga // IWA Publishing, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2166/9781780401873>.

11. Big Data Analytics for Water Resource Management / D. Ahmed, I.N. Bajwa, A.Y. Jaszczur // Elsevier, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2019-0-01639-6>.

12. Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition / World Health Organization (WHO), (2011). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950> (дата звернення 15.05.2025).

13. Підвищення енергоефективності систем водопостачання / В.М. Ніколайчук, О.В. Шилюк // Вісник НУВГП, (2017), Вип. 1(77). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/xmlui/handle/123456789/10128> (дата звернення 15.05.2025).

14. Сталый розвиток водного господарства: принципи та управління / Ю.Ю. Дмитрук // Екологія і ресурси, (2016), Вип. 12. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://er.nau.edu.ua/index.php/er/article/view/11833> (дата звернення 15.05.2025).

15. Water Policy in Ukraine: Current Challenges and Future Directions / OECD, (2016). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.oecd.org/environment/water-policy-in-ukraine-9789264252654-en.htm> (дата звернення 15.05.2025).

16. Математичне моделювання систем і процесів: навчальний посібник / П.М.

Павленко, С.Ф. Філоненко, О.М. Чередніков, В.В. Трейтяк – К.: НАУ, 2017. – 392 с.

17. Основи теорії систем і системного аналізу / О. М. Горбань, В. Є. Бахрушин. – Запоріжжя: ГУ «ЗІДМУ», 2011. – 204 с.

18. Системний аналіз та теорія прийняття рішень: навчальний посібник в 3-х частинах. Частина 1: Системологія / Ю.Б. Бродський. – Електронні дані. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2022. – 92 с.

19. Василенко С.Л., Волков В.М. Надійність і сталість систем водопостачання як складової національної та екологічної безпеки, Науково-технічний збірник КНУБА № 28 (2017) Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, С. 53-59. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG\\_2017\\_28\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2017_28_10) (дата звернення 15.05.2025).

20. С. Потапенко, О. Кравченко. Аналіз світового досвіду та науково-методичні підходи до оптимізації систем питного водопостачання та водовідведення, Науково-технічний збірник КНУБА № 49 (2025) Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, С. 25-37. – Режим доступу: <http://wateruse.org.ua/article/view/325283> DOI: <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.49.25-37> (дата звернення 15.05.2025).

**Potapenko Svitlana,**

Kyiv National University of Construction and Architecture

## **FORMATION OF INDICATORS OF THE CURRENT STATE AND DEVELOPMENT OF DRINKING WATER SUPPLY AND SEWERAGE SYSTEMS**

The article proposes options for the development and justification of a comprehensive system of indicators for assessing the current state and development of drinking water supply and sewerage systems within the framework of optimizing settlement-level systems. Methods of systems analysis and conceptual modeling are applied. A logical-mathematical model for the indicator formation process is presented, describing the transition from elementary indicators that characterize sources, systems, and consumers to integrated indicators of current state and development. Key groups of indicators are considered, including service coverage, technical condition of infrastructure, financial and economic indicators, social aspects, and system resilience. The necessity of a comprehensive approach to indicator formation covering the entire life cycle of the systems is substantiated. An integrated table of indicators for the current state and development of drinking water supply and sewerage systems is presented, including calculation formulas and purposes. The research results are recommended for use in the optimization schemes of centralized water supply and sewerage systems for planning modernization and development measures, improving efficiency, and ensuring system resilience.

Key words: drinking water supply and sewerage systems; indicators of the current state and development of drinking water supply and sewerage systems; model; indicator; resilience; reliability; formula.

## REFERENCES

1. Rozvytok system vodopostachannia ta vodovidvedennia naselenykh punktiv: monohrafiia / O.M. Andrieiev, M.M. Kornieiev, I.V. Kovalchuk ta in. – K.: KNUBA, 2018. – 384 s. {in Ukrainian}
2. Otsinka ta upravlinnia vodnymi resursamy: navchalnyi posibnyk / Za red. V.M. Khorieiva. – Kharkiv: KhNUMH im. O.M. Beketova, 2017. – 324 s.
3. Sustainability assessment of urban water systems: A review / A. Matos, J.P. Antunes, L. Santos // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – Vol. 218. – s. 586-599. – Rezhym dostupu: [https://www.researchgate.net/publication/265089188\\_Sustainability\\_assessment\\_of\\_urban\\_water\\_systems\\_a\\_case\\_study](https://www.researchgate.net/publication/265089188_Sustainability_assessment_of_urban_water_systems_a_case_study) (data zvernennia 15.05.2025).
4. Water-energy-food nexus: Current status and future directions / F. Liu, S. Chen, X. Wang et al. // *Science of the Total Environment*. – 2018. – Vol. 613-614. – s. 1013-1024. – Rezhym dostupu: [https://www.researchgate.net/publication/291352610\\_Quantifying\\_the\\_Water-Energy-Food\\_Nexus\\_Current\\_Status\\_and\\_Trends](https://www.researchgate.net/publication/291352610_Quantifying_the_Water-Energy-Food_Nexus_Current_Status_and_Trends) (data zvernennia 15.05.2025).
5. O. Kravchenko, S. Potapenko, T. Kuba, T. Arhatenko. Vymohy do hidravlichnoho modeliuвання merezh vodopostachannia u voiennyi chas ta dlia upravlinnia ryzykamy KhBRIa-zabrudnen, Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk KNUBA № 45 (2023) Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliky, S. 32-38. – Rezhym dostupu: <http://wateruse.org.ua/article/view/292321>. DOI: <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.45.32-38>.
6. Resilience of Urban Water Systems to Climate Extremes / J. Hall, R.J. Dawson, R.E. Nicholls // *Journal of Hydrology*, 2018, Vol. 564, S. 612-629. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.026>.
7. Smart Technologies for Water Quality Monitoring / V. Tsakaloudi, A. Ntougias, N. Graham // *Science of the Total Environment*, 2020, Vol. 721, 137744. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137744>.
8. The Role of Artificial Intelligence in Water Resource Management: A Review / A. Jain, V.K. Kushwaha, A. Vijayakumar // *Journal of Cleaner Production*, 2021, Vol. 289, 125791. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125791>.
9. Decentralized Water Reuse Systems: Planning, Design, and Implementation / M.B. Hamoda // IWA Publishing, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2166/9781780408544>.
10. Sustainable Sanitation and Water Management / P. Lens, G. Zeeman,

- G. Lettinga // IWA Publishing, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2166/9781780401873>.
11. Big Data Analytics for Water Resource Management / D. Ahmed, I.N. Bajwa, A.Y. Jaszczur // Elsevier, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2019-0-01639-6>.
  12. Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition / World Health Organization (WHO), (2011). [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950> (data zvernennia 15.05.2025).
  13. Pidvyshchennia enerhoefektyvnosti system vodopostachannia / V.M. Nikolaichuk, O.V. Shyliuk // Visnyk NUVHP, (2017), Vyp. 1(77). [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://ep3.nuwm.edu.ua/xmlui/handle/123456789/10128> (data zvernennia 15.05.2025).
  14. Stalyi rozvytok vodnoho hospodarstva: pryntsyipy ta upravlinnia / Yu.Iu. Dmytruk // Ekolohiia i resursy, (2016), Vyp. 12. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://er.nau.edu.ua/index.php/er/article/view/11833> (data zvernennia 15.05.2025).
  15. Water Policy in Ukraine: Current Challenges and Future Directions / OECD, (2016). [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://www.oecd.org/environment/water-policy-in-ukraine-9789264252654-en.htm> (data zvernennia 15.05.2025).
  16. Matematychni modeliuvannia system i protsesiv: navchalnyi posibnyk / P.M. Pavlenko, S.F. Filonenko, O.M. Cherednikov, V.V. Treitak – K.: NAU, 2017. – 392 s.
  17. Osnovy teorii system i systemnoho analizu / O. M. Horban, V. Ye. Bakhrushyn. – Zaporizhzhia: HU «ZIDMU», 2011. – 204 s.
  18. Systemnyi analiz ta teoriia pryiniattia rishen: navchalnyi posibnyk v 3-kh chas-tynakh. Chastyna 1: Systemolohiia / Yu.B. Brodskiy. – Elektronni dani. – Zhytomyr: Derzhavnyi universytet «Zhytomyrska politekhnika», 2022. – 92 s.
  19. Vasylenko S.L., Volkov V.M. Nadiinist i stalist system vodopostachannia yak skladovoi natsionalnoi ta ekolohichnoi bezpeky, Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk KNUBA № 28 (2017) Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliky, S. 53-59. – Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG\\_2017\\_28\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2017_28_10) (data zvernennia 15.05.2025).
  20. S. Potapenko, O. Kravchenko. Analiz svitovoho dosvidu ta naukovometodychni pidkhody do optymizatsii system pytnoho vodopostachannia ta vodovidvedennia, Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk KNUBA № 49 (2025) Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliky, S. 25-37. – Rezhym dostupu: <http://wateruse.org.ua/article/view/325283> DOI: <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.49.25-37> (data zvernennia 15.05.2025).