

РЕЦЕНЗІЯ

**на кваліфікаційну наукову працю Потапенко Світлани Павлівни на
тему: «Підвищення стійкості систем питного водопостачання та**

водовідведення»,

**яку подано на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 19 – Архітектура та будівництво
за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія**

Актуальність теми дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Потапенко Світлани Павлівни присвячена розв'язанню актуального науково-практичного завдання – підвищенню стійкості систем питного водопостачання та водовідведення в умовах воєнних, техногенних, екологічних і енергетичних загроз. Сучасні системи водопостачання та водовідведення належать до критичної інфраструктури, від безперервності роботи якої безпосередньо залежать санітарно-епідемічне благополуччя населення, екологічна безпека територій, функціонування закладів охорони здоров'я, промисловості та міського господарства. Руїнування об'єктів, тривалі перерви в електропостачанні, дефіцит реагентів, забруднення джерел, кібератаки та каскадні відмови вимагають переходу від ліквідації наслідків аварій до превентивного ризик-орієнтованого управління.

Особливої ваги набуває запропоноване авторкою поєднання інженерно-технологічних, гідравлічних, геоінформаційних, безпекових та економічних інструментів у межах єдиної методології розроблення схем оптимізації. Такий підхід узгоджується із сучасним розумінням резильєнтності водної інфраструктури, положеннями законодавства України про критичну інфраструктуру, завданнями відновлення територіальних громад та європейськими підходами до ризик-орієнтованого управління якістю питної води й енергоефективності. Отже, актуальність теми дисертації є належно обґрунтованою, а її спрямування відповідає потребам науки, галузі та практики муніципального управління.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами

Дисертаційну роботу виконано відповідно до державних програм «Розробка науково-методичних рекомендацій із забезпечення належної якості очищення стічних вод і захисту водних ресурсів. Прикладні дослідження і розробки» та «Забезпечення споживачів якісною питною водою в умовах сучасних викликів. Прикладні дослідження і розробки». Вона тісно пов'язана з планами держбюджетної тематики Київського національного університету будівництва і архітектури, що виконувалася на замовлення Міністерства освіти і науки України (номери державної реєстрації 0122U200351, 0122U200386). Зміст дисертації відповідає напрямкам зазначених досліджень, а одержані результати мають безпосереднє значення для підвищення безпеки та ефективності функціонування водопровідно-каналізаційного господарства.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Мета роботи полягає у науковому обґрунтуванні та розробленні методів і моделей підвищення стійкості систем питного водопостачання та водовідведення шляхом упровадження уніфікованих алгоритмів оптимізації, управління ризиками та адаптивних технологічних рішень. Сформульовані завдання послідовно охоплюють аналіз загроз, логіко-математичну формалізацію проблеми, розроблення інтегрального індексу стійкості $R(S)$, формування системи індикаторів і матриці ризиків, обґрунтування адаптивних технологічних рішень, систематизацію причинно-наслідкових зв'язків та верифікацію запропонованих моделей.

Об'єктом дослідження визначено процес функціонування та планування розвитку систем питного водопостачання та водовідведення під впливом кризових і деструктивних факторів, предметом – методологічні засади, математичні моделі та інженерно-технологічні рішення щодо підвищення їх стійкості через інструменти схем оптимізації. Для розв'язання поставлених

завдань застосовано системний аналіз, декомпозицію й узагальнення, логіко-математичне моделювання, математичну оптимізацію, ризик-орієнтоване планування, метод аналізу ієрархій Сааті, гідравлічне моделювання, геопросторовий аналіз, нормативно-аналітичні методи, стратегічне планування та бенчмаркінг.

Достовірність основних положень забезпечується комплексним використанням взаємодоповнювальних методів, аналізом значного масиву нормативних і наукових джерел, формалізацією критеріїв та обмежень, сценарним і гідравлічним моделюванням, техніко-економічною оцінкою, а також практичною апробацією на матеріалах систем централізованого водопостачання та водовідведення міста Дніпра. Висновки логічно впливають із результатів відповідних розділів та загалом відповідають меті й завданням дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у формуванні комплексної методології оцінювання та підвищення стійкості систем питного водопостачання та водовідведення, орієнтованої на функціонування критичної інфраструктури в умовах множинних загроз. До найбільш вагомих результатів слід віднести:

1) розроблення математичної моделі та інтегрального індексу стійкості $R(S)$, який дає змогу кількісно порівнювати базовий і альтернативні сценарії розвитку системи з урахуванням її здатності зберігати критичні функції, адаптуватися до деструктивних впливів і відновлюватися;

2) формування комплексної ієрархічної системи індикаторів, що охоплює технічний стан, ресурсозбереження, енергоефективність, технологічну захищеність, екологічну безпеку та готовність до надзвичайних ситуацій;

3) обґрунтування оновленого підходу до схем оптимізації систем централізованого водопостачання та водовідведення як до ітераційного інструменту стратегічного управління, що поєднує інформаційно-

аналітичний блок, ідентифікацію ризиків, варіантне моделювання, оптимізацію та планування реалізації;

4) формалізацію багатокритеріальної задачі підвищення стійкості та застосування методу аналізу ієрархій для визначення ваг критеріїв і пріоритизації інженерних заходів;

5) розроблення шестивекторної діаграми Ісікави для систематизації технічних, фінансово-економічних, нормативно-правових, соціальних, зовнішніх та управлінських чинників зниження стійкості;

6) розвиток практичного інструментарію ризик-орієнтованого планування, зокрема матриці ризиків, алгоритмів сценарного моделювання, техніко-економічної оцінки та формування адаптивних пакетів заходів.

Сукупність зазначених результатів має ознаки системності: авторка не обмежується окремим технологічним або гідравлічним рішенням, а формує послідовний механізм переходу від діагностики стану і загроз до вибору, фінансування та контролю реалізації заходів.

Практичне значення результатів дослідження

Практичне значення роботи полягає у можливості безпосереднього застосування запропонованих моделей та алгоритмів органами місцевого самоврядування, підприємствами питного водопостачання та водовідведення, проєктними організаціями й органами виконавчої влади під час розроблення схем оптимізації, планів стійкості, програм відновлення та інвестиційних проєктів.

Результати дослідження використано при розробленні Стратегії підвищення стійкості систем централізованого водопостачання та водовідведення міста Дніпра на період до 2030 року та плану її реалізації. Запропоновані рішення охоплюють цифрове гідравлічне моделювання, резервування енергопостачання, використання енергоефективних насосів для роботи в умовах блекауту, поетапну відмову від небезпечного газоподібного хлору, застосування мобільних і локальних установок очищення води,

сорбційних бар'єрів та альтернативних схем забезпечення споживачів. Наявні лист підтримки й акт практичного використання результатів КП «Дніпроводоканал» підтверджують прикладну спрямованість дослідження.

Окремо слід позитивно відзначити включення до роботи інструментів оцінки вартості життєвого циклу, адаптованих показників чистого дисконтованого доходу і модифікованого коефіцієнту вигоди з урахуванням резильєнтності, матриці диверсифікації джерел фінансування та стрес-тестування інвестиційних пакетів. Це підвищує придатність результатів для підготовки проєктів до фінансування міжнародними фінансовими організаціями.

Оцінка змісту та завершеності дисертаційної роботи

Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг становить 226 сторінок, з яких 148 сторінок основного тексту. Список використаних джерел містить 197 найменувань. Робота включає 32 формули, 26 таблиць, 19 рисунків та три додатки.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан забезпечення стійкості систем питного водопостачання та водовідведення, світовий досвід застосування планів безпечного водопостачання, наслідки воєнних і техногенних впливів, проблеми нормативного та інвестиційного забезпечення. Обґрунтовано потребу в переході від статичних схем розвитку до ризик-орієнтованого сценарного планування, що враховує гідравлічну, енергетичну, реагентну, санітарну, хімічну, біологічну, радіаційну та ядерну безпеку.

У другому розділі наведено характеристику та концептуальні засади підвищення стійкості. Авторкою систематизовано технологічні рішення для об'єктів водопостачання і водовідведення, розглянуто централізовані, децентралізовані та мобільні підходи, сформовано авторську концептуальну модель розроблення схем оптимізації. Важливим результатом є подання

процесу як п'яти взаємопов'язаних блоків – від формування інформаційної бази та оцінки ризиків до вибору оптимального сценарію і стратегічного планування.

У третьому розділі розроблено системні підходи до формування схем оптимізації. Запропоновано ієрархічну систему показників поточного стану й розвитку, логіко-математичну модель їх формування, алгоритм сценарного моделювання та розрахунок інтегрального індексу $R(S)$. Розглянуто матрицю ризиків, адаптивні технологічні рішення для протидії блекаутам, руйнуванням і забрудненню джерел, а також використання геоінформаційних систем та гідравлічного моделювання для технічної верифікації альтернатив.

У четвертому розділі здійснено математичну формалізацію багатокритеріальної задачі підвищення стійкості, визначено простір керованих рішень, зовнішніх збурень і обмежень, побудовано діаграму Ісікави та застосовано метод аналізу ієрархій. На прикладі розрахунків показано можливість підвищення інтегрального показника стійкості (з 0,61 до 0,79) унаслідок реалізації комплексу превентивних заходів. Розроблено орієнтовний план дій підприємства в умовах надзвичайних ситуацій і воєнних загроз.

У п'ятому розділі наведено техніко-економічне обґрунтування та інструменти реалізації запропонованих рішень. Сформовано модель консолідації фінансових потоків, інвестиційні пакети за напрямками безпеки, енергоавтономності та модернізації мереж, виконано аналіз чутливості до зростання капітальних витрат, вартості електроенергії та затримки фінансування. Запропоновано критерії інвестиційної зрілості проєктів та механізм використання для пріоритизації заходів модифікованого коефіцієнта вигоди – витрат з урахуванням резильєнтності.

Загальні висновки відображають основні результати дослідження, узгоджені з поставленими завданнями та підтверджують завершеність дисертаційної роботи. Додатки містять список публікацій, документи про

практичне використання та розгорнуті матеріали апробації результатів для міста Дніпра, що посилює доказову базу роботи.

Повнота викладення основних результатів у наукових публікаціях та апробація

Основні результати дисертації опубліковано у 15 наукових працях, серед яких 10 статей у наукових фахових виданнях України та іноземних журналах, у тому числі дві статті у виданнях, що індексуються базами Scopus/Web of Science, вісім статей у фахових виданнях категорії «Б», одна стаття у виробничо-практичному журналі та чотири тези доповідей.

Положення роботи представлено на міжнародних науково-практичних конференціях у 2022, 2024 та 2025 роках, а також на фаховому семінарі для підприємств і органів місцевого самоврядування.

Тематика публікацій охоплює енергетичну сталість, децентралізоване водопостачання, ризики застосування газоподібного хлору, гідравлічне моделювання, показники стану й розвитку систем та моделі підвищення їх стійкості.

Опубліковані праці достатньо повно відображають основний зміст і результати дисертації. Особистий внесок здобувачки у спільних публікаціях конкретизовано.

Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами аналізу представленої дисертаційної роботи її структура, посилання на використані джерела, наведення результатів спільних досліджень та визначення особистого внеску здобувачки відповідають загальним вимогам академічної доброчесності. Ознак привласнення чужих результатів або подання опублікованих даних без належного посилання під час рецензування не виявлено. Остаточне підтвердження текстових запозичень здійснюється відповідно до встановленої в закладі процедури перевірки дисертації.

Дискусійні положення та зауваження

Високо оцінюючи науковий рівень і практичну спрямованість роботи, необхідно висловити такі зауваження та питання дискусійного характеру:

1. Структурно – логічну схему розвитку вітчизняних наукових підходів до забезпечення надійності та стійкості систем питного водопостачання та водовідведення (стор. 34) варто було б розширити, включивши наукові праці більшого кола вітчизняних вчених, роботи яких представлені в огляді літературних джерел.

2. У схемі інтегрованої архітектури муніципальної системи питного водопостачання та водовідведення (стор. 57) ризик від блекауту доцільно було передбачити не тільки для каналізаційних, але й для водопровідних насосних станцій, що створює загрозу повного припинення подачі води споживачам.

3. Інтегральний індекс стійкості $R(S)$ формується шляхом згортання різнорідних критеріїв із застосуванням вагових коефіцієнтів. Для підвищення відтворюваності методики доцільно докладніше регламентувати правила нормування первинних показників, оброблення пропущених даних і встановлення порогів між рівнями стійкості, особливо у випадках, коли показники мають різну розмірність та різний характер впливу.

4. Ваги критеріїв визначено методом аналізу ієрархій. У роботі варто було б повніше навести склад і кількість експертів, критерії їх добору, агрегування індивідуальних оцінок, значення індексу або відношення узгодженості матриць парних порівнянь та результати аналізу чутливості інтегрального індексу стійкості $R(S)$ до зміни ваг. Це дало б змогу чіткіше оцінити стійкість отриманого ранжування альтернатив.

5. Практична апробація виконана переважно на матеріалах систем водопостачання та водовідведення міста Дніпра. Доцільним є уточнення меж перенесення отриманих числових параметрів та ваг на малі й середні громади, системи з підземними джерелами водопостачання, а також об'єкти з

іншою структурою водовідведення. У подальших дослідженнях бажано провести міжмуніципальну валідацію методики.

6. У дисертації наведено оцінки підвищення інтегрального індексу стійкості $R(S)$ з 0,61 до 0,79 та можливого зменшення операційних витрат на 15–20 %. Для практичного використання цих результатів доцільно чіткіше відокремити фактичні дані, розрахункові припущення і прогнознi оцінки, а також навести діапазони невизначеності для ключових техніко-економічних параметрів.

7. Заявлена методологія охоплює водопостачання та водовідведення як єдиний технологічний комплекс, однак окремі алгоритми, показники та приклади детальніше опрацьовані для систем водопостачання. Доцільно ширше розкрити специфічні критерії стійкості каналізаційних насосних станцій, самотливих і напірних мереж, очисних споруд та ризики неконтрольованих скидів у разі каскадних відмов.

Наведені зауваження мають переважно уточнювальний і дискусійний характер, не знижують наукової цінності одержаних результатів та можуть бути враховані під час подальшого розвитку запропонованої методології.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Потапенко Світлани Павлівни «Підвищення стійкості систем питного водопостачання та водовідведення» є завершеною самостійною кваліфікаційною науковою працею, у якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності розв'язують актуальне науково-практичне завдання підвищення стійкості критичної водної інфраструктури на основі ризик-орієнтованого планування, математичного та гідравлічного моделювання, багатокритеріального оцінювання й техніко-економічного обґрунтування.

За актуальністю, науковою новизною, теоретичним і практичним значенням, обґрунтованістю висновків, повнотою оприлюднення результатів та рівнем виконання дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку

присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами), а її авторка, Потапенко Світлана Павлівна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 19 – Архітектура та будівництво за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

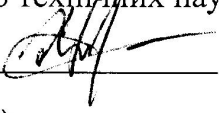
Рецензентка,

професорка кафедри водопостачання та водовідведення

Київського національного університету

будівництва і архітектури,

доктор технічних наук, професор

 Тетяна ХОМУТЕЦЬКА

« ____ » _____ 2026 р.