

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, старшого дослідника,
директора Інституту водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України

Яцюка Михайла Васильовича

на дисертаційну роботу **Потапенко Світлани Павлівни**
на тему: **«Підвищення стійкості систем питного водопостачання та
водовідведення»**

подану на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань
19 – «Архітектура та будівництво», за спеціальністю 192 – «Будівництво та
цивільна інженерія»

Відгук складено на основі вивчення дисертаційної роботи, опублікованих
здобувачкою результатів наукових досліджень, матеріалів апробації та
документів, що підтверджують практичне використання результатів роботи.

Актуальність теми дисертації.

Дисертаційна робота Потапенко Світлани Павлівни присвячена вирішенню
актуального науково-практичного завдання – підвищенню стійкості систем
питного водопостачання та водовідведення в умовах воєнних, техногенних,
енергетичних, екологічних та інших кризових впливів. Питання безперервного і
безпечного водозабезпечення сьогодні необхідно розглядати не лише в межах
надійності окремих споруд і мереж, а як складову водної та екологічної безпеки
територій, оскільки функціонування систем залежить від кількісного і якісного
стану водних ресурсів, гідрологічного режиму водних об'єктів, антропогенного
навантаження на джерела, стабільності енергопостачання та спроможності
інфраструктури відновлюватися після надзвичайних подій.

Особливої актуальності робота набуває для України, де воєнні
пошкодження гідротехнічних споруд, водозаборів, насосних станцій і мереж
поєднуються з тривалими тенденціями зміни водності, погіршенням якості
поверхневих вод, сезонними коливаннями гідробіологічних показників та
зростанням конкуренції за водні ресурси. За таких умов стійкість водопровідно-
каналізаційного господарства повинна охоплювати весь ланцюг «водне джерело
– водопідготовка – транспортування – споживач – водовідведення – водний
об'єкт-приймач», а не обмежуватися оцінюванням окремого технологічного
вузла.

Позитивним є обґрунтований у дисертації перехід від переважно реактивної
моделі ліквідації наслідків аварій до превентивного ризик-орієнтованого
управління. Запропонований підхід поєднує оцінювання стану інфраструктури,
аналіз ризиків, математичне та гідравлічне моделювання, геопросторові
інструменти, адаптивні технологічні рішення й інвестиційне планування. Така
постановка завдання відповідає сучасному розумінню резильєнтності систем
життєзабезпечення та створює передумови для узгодження інженерних рішень із
завданнями охорони і раціонального використання водних ресурсів.

Дисертаційна робота виконувалася у зв'язку з державними та університетськими науковими дослідженнями, зокрема держбюджетними темами Київського національного університету будівництва і архітектури за номерами державної реєстрації 0122U200351 та 0122U200386. Практичні результати використані при розробленні нормативно-методичних підходів до схем оптимізації та Стратегії підвищення стійкості систем питного водопостачання та водовідведення міста Дніпра на період до 2030 року.

Таким чином, тема дисертації є актуальною, має виражене наукове і практичне значення та відповідає предметній області спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Мета роботи полягає у розробленні науково обґрунтованих методів і моделей підвищення стійкості систем питного водопостачання та водовідведення, які забезпечують перехід до превентивного ризик-орієнтованого управління. Сформульовані завдання охоплюють аналіз сучасних загроз і вразливостей, формування системи індикаторів, побудову інтегрального індексу стійкості $R(S)$, розроблення матриці ризиків, сценарне та гідравлічне моделювання, обґрунтування адаптивних інженерно-технологічних рішень і визначення інвестиційних пріоритетів.

Для вирішення поставлених завдань авторкою застосовано системний аналіз, декомпозицію та узагальнення, логіко-математичне і багатокритеріальне моделювання, ризик-орієнтоване планування, метод аналізу ієрархій, гідравлічне моделювання, геопросторовий аналіз, нормативно-аналітичні методи, стратегічне планування та бенчмаркінг. Поєднання цих методів є методично виправданим для складних систем, де технічні показники тісно пов'язані з якістю води, ресурсними обмеженнями, зовнішніми загрозами та управлінськими рішеннями.

Достовірність основних положень забезпечується опрацюванням значного масиву нормативних і наукових джерел, формалізацією критеріїв та обмежень, сценарним і гідравлічним моделюванням, застосуванням QGIS та EPANET, техніко-економічним оцінюванням, а також практичною апробацією запропонованих підходів на матеріалах систем водопостачання та водовідведення міста Дніпра. Висновки дисертації логічно впливають із результатів відповідних розділів і в цілому відповідають поставленій меті.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- розроблено логіко-математичну модель оцінки та інтегральний індекс стійкості $R(S)$ систем питного водопостачання та водовідведення для кількісного порівняння альтернативних сценаріїв функціонування і розвитку інфраструктури;

– сформовано комплексну систему індикаторних показників стійкості, що охоплює технічний стан, ресурсозбереження, енергоефективність, технологічну захищеність, екологічну безпеку та готовність до роботи в умовах надзвичайних ситуацій;

– науково обґрунтовано оновлений методологічний підхід до розроблення схем оптимізації систем централізованого водопостачання та водовідведення як інструменту стратегічного управління розвитком критичної інфраструктури;

– сформовано трифакторну матрицю ризиків, яка поєднує ймовірність виникнення небезпечної події, вразливість системи та масштаб можливих наслідків і використовується для ранжування загроз та пріоритизації заходів;

– обґрунтовано адаптивні технологічні рішення для роботи систем у кризових умовах, у тому числі резервування енергопостачання, децентралізовані та мобільні рішення водопідготовки, гідравлічне зонування і застосування сорбційних бар'єрів;

– подальшого розвитку набув практичний інструментарій ризик-орієнтованого планування, який поєднує технічні, безпекові, екологічні та інвестиційні критерії, сценарне моделювання і техніко-економічне оцінювання заходів.

Отримані результати мають системний характер. Важливо, що запропонована методологія створює можливість розглядати стійкість не лише як властивість мережі чи споруди, а як результат узгодженої взаємодії водного ресурсу, технології водопідготовки, інфраструктури, системи управління та фінансового забезпечення.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота Потапенко Світлани Павлівни є завершеним науковим дослідженням, у якому послідовно розглянуто теоретичні, методичні, інженерно-технологічні та економічні аспекти підвищення стійкості систем питного водопостачання та водовідведення.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан забезпечення стійкості систем, світовий та вітчизняний досвід управління, нормативно-правову базу, науково-методичні підходи і основні системні проблеми галузі. Для тематики роботи суттєвим є врахування не тільки технічних відмов, але й забруднення джерел, ХБРЯ-ризиків, ресурсних та енергетичних обмежень.

У другому розділі наведено характеристику систем питного водопостачання та водовідведення, визначено перспективи їх розвитку в Україні, сформовано науково-методичну базу дослідження та концептуальну модель розроблення схем оптимізації. Представлена модель поєднує інформаційний, ризиковий, модельний, оптимізаційний та стратегічний блоки.

У третьому розділі сформовано систему індикаторних показників, розроблено підхід до формування альтернативних сценаріїв, представлено методологію аналізу та управління ризиками, а також використання

гідравлічного і геопросторового моделювання. Позитивної оцінки заслуговує орієнтація на технічну верифікацію рішень, а не лише на експертне обґрунтування, та включення до сценаріїв порушень енергопостачання, пошкоджень мереж і забруднення водних джерел.

Четвертий розділ присвячено математичному моделюванню та багатокритеріальній оцінці стійкості. Авторкою формалізовано задачу прийняття рішень, побудовано логіко-математичну модель, систематизовано причинно-наслідкові зв'язки за допомогою діаграми Ісікави та розроблено алгоритм сценарного моделювання кризових ситуацій. Це забезпечує перехід від якісного опису вразливості до кількісного зіставлення альтернативних сценаріїв.

П'ятий розділ зосереджено на техніко-економічному обґрунтуванні та математичному моделюванні інвестиційних пріоритетів модернізації. Використання вартості життєвого циклу, CAPEX, OPEX, адаптованих показників NPV_{res} і BCR_{res} та оцінювання інвестиційної зрілості проєктів підсилює прикладний характер роботи й пов'язує інженерну стійкість із реальними можливостями фінансування заходів.

У загальних висновках сформульовано основні наукові результати дисертації. Додатки містять документи про практичне використання, матеріали аналізу ризиків для систем міста Дніпра, матрицю ризиків, Стратегію підвищення стійкості та план її реалізації. Це підтверджує завершеність роботи і практичну спрямованість отриманих результатів.

Розгляд дисертації та поданих матеріалів не дає підстав для висновку про порушення принципів академічної доброчесності. Використані положення інших авторів мають відповідні посилання, а особистий внесок здобувачки у спільних публікаціях конкретизовано.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою з використанням науково-технічного стилю. Застосована термінологія відповідає предметній області водопостачання, водовідведення, водної та екологічної безпеки, математичного моделювання і стратегічного планування. Структура викладення є логічною, матеріал розміщено послідовно від аналізу проблеми та формування методології до моделювання, вибору інженерних рішень і техніко-економічного обґрунтування.

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

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено відомості про особистий внесок

здобувачки та апробацію результатів. Оформлення роботи в цілому забезпечує належне сприйняття текстового, розрахункового і графічного матеріалу.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні результати дисертації висвітлено у 15 наукових працях, у тому числі у 10 статтях у наукових фахових та іноземних виданнях, серед яких дві статті у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами, вісім статей у фахових виданнях категорії «Б», одна публікація у виробничо-практичному виданні та чотири тези доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях.

Тематика публікацій охоплює енергетичну сталість і децентралізовані технології, ризики для якості питної води, безпечність реагентного господарства, планування децентралізованого водопостачання, гідравлічне моделювання, проблеми функціонування систем, показники поточного стану та розвитку і моделі підвищення стійкості. Особистий внесок здобувачки у працях, виконаних у співавторстві, визначено.

Таким чином, наукові результати, викладені в дисертаційній роботі, достатньо повно висвітлені у публікаціях здобувачки та апробовані на наукових заходах.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У системі індикаторних показників і при формуванні інтегрального індексу $R(S)$ доцільно чіткіше виділити окремий блок, що характеризує стійкість водного джерела. Для систем із поверхневим водозабором технічна готовність споруд не гарантує стійкого водозабезпечення за умов зниження водності, зміни рівнів, погіршення гідрологічного режиму або тривалого погіршення якості води. На захисті бажано уточнити, які показники авторка вважає доцільними для кількісної оцінки гідрологічної та екологічної стійкості джерела і як вони повинні бути інтегровані у загальний $R(S)$.

2. У дисертації розглянуто широкий спектр кризових сценаріїв, однак вплив довготривалих кліматичних змін на водні ресурси доцільно було б формалізувати детальніше. Для перспективного планування важливими є сценарії маловоддя, тривалих посух, підвищених температур, зміни сезонного стоку, паводкових явищ та зростання частоти екстремальних гідрологічних подій. Доцільно пояснити, яким чином кліматичні та гідрологічні сценарії можуть бути включені до запропонованої багатокритеріальної моделі та планового горизонту схем оптимізації.

3. Значну увагу в роботі приділено забрудненню джерел та адаптивним технологіям водопідготовки, проте для поверхневих водосховищ бажано ширше враховувати сезонну мінливість гідробіологічних показників, зокрема розвиток фітопланктону, утворення біоколоїдів, зміну вмісту природної органічної речовини та пов'язані з цим ускладнення процесів очищення. Потребує уточнення, яким чином результати моніторингу якості вихідної води можуть

виступати тригерами для зміни технологічного режиму, активації сорбційних бар'єрів або переходу на резервні схеми водопідготовки.

4. Запропонована методологія переважно орієнтована на муніципальні системи і межі територіальної громади. Разом із тим стійкість водозабезпечення часто визначається процесами басейнового рівня та конкуренцією між питним водопостачанням, сільським господарством, зрошенням, промисловістю й екологічними потребами водних об'єктів. У подальшому доцільно розвинути методику в напрямі врахування взаємозв'язку «вода – енергія – продовольство» та узгодження міських схем оптимізації з басейновими планами управління водними ресурсами.

5. У частині водовідведення основний акцент зроблено на працездатності інфраструктури, тоді як екологічні наслідки аварійних або недостатньо очищених скидів до водних об'єктів розглянуто менш детально. Для оцінювання стійкості системи доцільно враховувати не тільки час відновлення каналізаційних споруд, але й імовірний екологічний збиток, чутливість водного об'єкта-приймача, його гідрологічний стан та здатність до відновлення після аварійного навантаження. Це дозволило б повніше поєднати інженерну і екологічну складові стійкості.

6. Практична апробація методики на матеріалах міста Дніпра є вагомою перевагою роботи, однак для визначення меж її універсальності бажаною є подальша верифікація на системах з іншими типами джерел і водогосподарськими умовами: малими та середніми водосховищами, озерними системами, підземними водами, територіями з вираженим дефіцитом водних ресурсів та системами, тісно пов'язаними зі зрошувальною інфраструктурою. Така апробація дала б змогу уточнити ваги критеріїв і порогові значення показників для різних природно-господарських умов.

Висловлені зауваження мають переважно дискусійний та рекомендаційний характер, не є визначальними і не зменшують загальної наукової новизни та практичної значимості результатів дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота Потапенко Світлани Павлівни «Підвищення стійкості систем питного водопостачання та водовідведення» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому отримано нові теоретичні та практичні результати щодо оцінювання, планування і підвищення стійкості критичної водної інфраструктури в умовах множинних загроз.

Робота відзначається системним характером, належним рівнем наукової аргументації, логічною структурою та практичною спрямованістю. Запропоновані методи і моделі створюють основу для переходу від реагування на окремі аварії до ризик-орієнтованого управління, а практична реалізація результатів на рівні міста Дніпра підтверджує можливість їх використання при плануванні розвитку систем питного водопостачання та водовідведення.

Дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю, обґрунтованістю результатів і повнотою їх оприлюднення 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 року № 44 (зі змінами), а також Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40 (зі змінами), а Потапенко Світлана Павлівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 19 – «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія».

Офіційний опонент:

директор Інституту водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України,
доктор технічних наук, старший дослідник

Михайло ЯЦЮК

Підпис М. В. Яцюка засвідчую:

*Зобов'язав відділу дисертацій
УВАН, на підписати
М. В. Яцюка*

