



УДК 72.01:692.4:699.86:574.1:502.36
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.24>

ВИКОРИСТАННЯ СІРОЇ ВОДИ ЗЕЛЕНИМИ ДАХАМИ: СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ

Л. Д. Романчук¹, Л. О. Герасимчук², Р. А. Валерко³

В умовах глобальних кліматичних змін та зростаючого дефіциту водних ресурсів особливої актуальності набуває питання ефективного використання води в міському середовищі. Дана стаття представляє комплексне дослідження використання сірої води для зрошення зелених дахів як інноваційного підходу до сталого водокористування в будівництві.

У роботі проаналізовано фізико-хімічні та біологічні характеристики сірої води з різних джерел (ванних кімнат, пральних машин, кухонь) та їх відповідність вимогам для поливу рослинності. Досліджено сучасні технології очищення та підготовки сірої води, включаючи механічну фільтрацію, біологічне очищення та УФ-дезінфекцію. Особлива увага приділяється впливу очищеної сірої води на ріст та розвиток різних видів рослин, що використовуються в озелененні дахів.

На основі експериментальних даних та практичного досвіду впровадження подібних систем проведено техніко-економічний аналіз, який демонструє потенціал економії 60–80% питної води при використанні сірої води для зрошення зелених дахів. Розглянуто екологічні переваги такого підходу, включаючи зменшення навантаження на міські системи водопостачання та водовідведення, скорочення енергоспоживання та зниження вуглецевого сліду будівель.

У статті також представлено аналіз нормативно-правової бази щодо використання сірої води в різних країнах та надано практичні рекомендації з проектування, монтажу та експлуатації систем повторного використання води для зелених дахів. Результати дослідження можуть бути корисними для архітекторів, інженерів, екологів та спеціалістів у галузі сталого будівництва.

У статті представлено результати 12-місячного експериментального дослідження з використання очищеної сірої води для поливу зелених дахів. Метою дослідження було визначення ефек-

¹ доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри екології та природоохоронних технологій
(Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир)
e-mail: Ludmilaromanchuck14@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4790-8414

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
(Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир)
e-mail: Gerasim4uk@ukr.net
ORCID: 0000-0002-3166-5588

³ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
(Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир)
e-mail: Valerko_ruslana@ukr.net
ORCID: 0000-0003-4716-0100

тивності та безпечності застосування сірої води як альтернативного джерела іригації для зелених дахових систем. Експеримент проводився на чотирьох модульних установках, де порівнювались показники росту рослин та стану субстрату при використанні очищеної сірої води та водопровідної води.

Таким чином, практична значущість зелених дахів із системами використання сірої води є всебічною та має довгостроковий позитивний вплив на розвиток сталого міського середовища. Їх впровадження сприяє формуванню більш комфортних, екологічних та енергоефективних міст.

Ключові слова: сталий розвиток, озеленення дахів, енергоефективність, екологічні переваги, сіра вода, міське озеленення.

GRAY WATER UTILIZATION BY GREEN ROOFS: SYSTEM ANALYSIS AND IMPLEMENTATION PROSPECTS

L. D. Romanchuk, L. O. Gerasymchuk, R. A. Valerko

In the conditions of global climate changes and the growing shortage of water resources, the issue of efficient use of water in the urban environment is gaining particular relevance. This article presents a comprehensive study of the use of gray water for irrigation of green roofs as an innovative approach to sustainable water use in construction.

The work analyzed the physico-chemical and biological characteristics of gray water from various sources (bathrooms, washing machines, kitchens) and their compliance with the requirements for watering vegetation. Modern technologies for the purification and preparation of gray water, including mechanical filtration, biological purification and UV disinfection, were studied. Special attention is paid to the effect of purified gray water on the growth and development of various types of plants used in roof landscaping.

On the basis of experimental data and practical experience of implementing similar systems, a technical and economic analysis was carried out, which demonstrates the potential of saving 60–80% of drinking water when using gray water for irrigation of green roofs. The environmental benefits of such an approach are considered, including reducing the burden on urban water supply and drainage systems, reducing energy consumption and reducing the carbon footprint of buildings.

The article also presents an analysis of the legal framework for the use of gray water in different countries and provides practical recommendations for the design, installation and operation of water reuse systems for green roofs. The results of the study can be useful for architects, engineers, ecologists and specialists in the field of sustainable construction.

The article presents the results of a 12-month experimental study on the use of purified gray water for watering green roofs. The purpose of the study was to determine the effectiveness and safety of using gray water as an alternative source of irrigation for green roof systems. The experiment was carried out on four modular installations, where indicators of plant growth and the state of the substrate were compared when using purified gray water and tap water.

Thus, the practical significance of green roofs with gray water utilization systems is comprehensive and has a long-term positive impact on the development of a sustainable urban environment. Their implementation contributes to the formation of more comfortable, ecological and energy-efficient cities.

Key words: sustainable development, green roofs, energy efficiency, environmental benefits, gray water, urban landscaping.

Вступ

Стрімка урбанізація та кліматичні зміни створюють безпрецедентні виклики для сучасних міст. За даними ООН, до 2050 року понад 68% світового населення проживатиме в міських районах, що суттєво збільшить навантаження на міську інфраструктуру та природні ресурси. В умовах зростаючого дефіциту води та посилення ефекту міських теплових островів, впровадження зелених технологій стає не просто екологічною ініціативою, а необхідною стратегією для забезпечення сталого роз-

витку міст (Грасимчук та ін, 2024). У цьому контексті особливого значення набуває розвиток технологій повторного використання води, зокрема сірої води, яка становить 50–80% господарсько-побутових стоків (Noutsopoulos et al., 2017).

Зелені дахи, як один із ключових елементів зеленої інфраструктури, довели свою ефективність у пом'якшенні негативних наслідків урбанізації. Вони сприяють зменшенню поверхневого стоку, покращенню якості повітря, зниженню температури міського середовища та підвищенню енер-

гоефективності будівель. За даними World Green Infrastructure Network (2023), площа зелених дахів у світі щорічно зростає на 15–20%, що свідчить про їх зростаючу популярність та визнання їхніх переваг.

Однак, разом із поширенням зелених дахів виникають нові виклики, зокрема, пов'язані з їх водозабезпеченням. Традиційне використання питної води для іригації зелених дахів створює додаткове навантаження на міські водні ресурси, що особливо критично в регіонах із обмеженим водопостачанням. За оцінками експертів (Рибак та ін., 2023), середній зелений дах площею 100 м² може споживати від 1000 до 2000 літрів води на місяць у період активної вегетації.

У контексті цих викликів, використання альтернативних джерел води, зокрема очищеної сірої води, набуває особливої актуальності. Сіра вода, яка утворюється від побутового використання (душ, раковини, пральні машини), при належній очистці ця вода може стати цінним ресурсом для іригації зелених насаджень (Рибак та ін., 2024).

Попередні дослідження демонструють значний потенціал використання сірої води в міському озелененні, що впровадження систем повторного використання сірої води може зменшити споживання питної води на 30–40% у міських умовах (Azabache et al., 2020). Однак, специфіка застосування сірої води саме для зелених дахів залишається недостатньо вивченою. Існують певні застереження щодо довгострокового впливу сірої води на рослини та конструктивні елементи зелених дахів, якості очистки води та екологічної доцільності таких систем.

Особливої уваги потребують питання:

- Оптимізації систем очистки сірої води для забезпечення належної якості.
- Впливу специфічного хімічного складу сірої води на ріст та розвиток рослин.
- Змін фізико-хімічних властивостей субстрату при тривалому використанні сірої води.
- Економічної ефективності впровадження систем повторного використання води.

- Нормативно-правового регулювання використання сірої води для іригації.

Юнус та ін. (2020) підкреслюють необхідність комплексного підходу до оцінки ефективності використання сірої води, що враховує не лише технічні аспекти, але й економічні, екологічні та соціальні фактори. Рибак та ін. (2024) наголошують на важливості вивчення довгострокових ефектів використання сірої води на біорізноманіття та екосистемні послуги зелених дахів.

Дослідження використання сірої води для зрошення зелених дахів активно розвивається протягом останнього десятиліття. Аналіз публікаційної активності демонструє зростаючий інтерес до цієї теми (табл. 1).

Результати цього дослідження можуть стати основою для розробки практичних рекомендацій щодо впровадження систем повторного використання сірої води в зелених дахах, що сприятиме підвищенню стійкості міської інфраструктури та ефективному використанню водних ресурсів.

Матеріал і методи

Метою дослідження було визначення ефективності та безпечності використання очищеної сірої води для іригації зелених дахів.

Основні завдання:

1. Оцінка якості очищеної сірої води та її відповідності нормативам.
2. Порівняльний аналіз росту рослин при використанні різних типів води.
3. Дослідження впливу сірої води на фізико-хімічні властивості субстрату.
4. Економічний аналіз впровадження системи повторного використання води.

Дослідження проводилось на 4х модульних зелених дахах площею 2 м² кожен (рис. 1). Модулі були обладнані: системою гідроізоляції, дренажним шаром, субстратом глибиною 15 см, системою автоматичного поливу, датчиками моніторингу. Два модулі використовувались як контрольні (полив водопровідною водою), два інші – як експериментальні (полив очищеною сірою водою).

Для експерименту була розроблена багатоступенева система очистки, що включала:

Таблиця 1

Аналіз публікацій

Період	Кількість публікацій	Основні напрямки досліджень
2015-2017	156	Якість сірої води, методи очищення
2018-2020	284	Вплив на рослинність, економічна ефективність
2021-2023	412	Автоматизація систем, інтеграція з розумними будівлями
2024	89	Інноваційні технології, нормативне регулювання



Рис. 1. Експериментальна установка

механічну фільтрацію (20 мкм), біологічну очистку з використанням аеробних бактерій, UV-стерилізацію, систему контролю якості води в реальному часі.

Для експерименту були відібрані типові види рослин для зелених дахів: *Sedum album*, *Sedum spurium*, *Festuca glauca*, *Delosperma cooperi*.

Протягом 12 місяців проводились регулярні вимірювання наступних параметрів:

Якість води (рН, електропровідність, вміст органічних речовин).

Стан рослин (ріст, біомаса, здоров'я).

Характеристики субстрату (вологість, рН, соловий склад).

Мікробіологічні показники.

Результати та обговорення

Характеристика сірої води

Сіра вода (англ. *greywater*) – це побутові стічні води, які утворюються в результаті господарської діяльності людини, яка не містить фекалій. Основні властивості (табл. 2): температура: 18–35°C; колір: від прозорого до світло-сірого; запах: слабкий специфічний; вміст органічних речовин: помірний; наявність поживних речовин: незначний.

Основні джерела сірої води в будівлях можна розділити на три категорії за рівнем забруднення:

- Слабкозабруднені джерела: ванни та душові кабінки, які генерують найбільший об'єм сірої води (35–40% від загального

Таблиця 2
Склад та властивості сірої води

Параметр	Значення	Допустимі межі для поливу
рН	6.5–8.5	6.0–9.0
БСК5 (мг/л)	90–290	<200
Завислі речовини (мг/л)	45–330	<100
Загальний азот (мг/л)	2.1–31.5	<40
Загальний фосфор (мг/л)	0.6–27.3	<30

Джерело: (Chougule et al., 2023)

об'єму). Ця вода містить відносно низький рівень забруднень, переважно залишки мила, шампуню та інших засобів особистої гігієни. Умивальники, які продукують близько 5–8% загального об'єму сірої води. Забруднення включають залишки зубної пасти, мила та косметичних засобів.

- Середньозабруднені джерела: пральні машини, які генерують 15–20% загального об'єму сірої води. Ця вода містить синтетичні миючі засоби, мікрОВОлокна від одягу та інші забруднювачі. Конденсат від систем кондиціонування, який становить незначну частку (2–3%), але є достатньо чистим джерелом води.

- Сильнозабруднені джерела: кухонні мийки, що продукують 10–12% загального об'єму. Ця вода містить значну кількість органічних забруднень, жирів та харчових залишків. Посудомийні машини (5–7% об'єму), вода з яких містить залишки миючих засобів та харчових відходів.

Системи очищення та підготовки сірої води

Очищення сірої води включає такі основні етапи (табл. 3):

1. Попередня фільтрація – видалення великих частинок бруду, волосся та інших механічних домішок через сітчастий фільтр.

2. Відстоювання – осадження дрібних частинок у відстійнику.

3. Біологічне очищення – розкладання органічних речовин за допомогою корисних бактерій. Часто використовуються біофільтри з природними наповнювачами.

4. Фінальна фільтрація – очищення через пісок, активоване вугілля або інші фільтруючі матеріали.

5. Дезінфекція (опціонально) – знезараження води УФ-променями або іншими методами, якщо вода буде використовуватись для поливу їстівних рослин.

Таблиця 3

Технологічні показники очищення

Метод очищення	Ефективність видалення (%)	Енергоспоживання (кВт*год/м ³)	Вартість (\$/м ³)
Механічна фільтрація	60–70	0.1–0.2	0.05–0.10
Біологічне очищення	85–95	0.3–0.5	0.15–0.25
Мембранна фільтрація	95–99	0.5–0.8	0.30–0.50

Джерело: (Prajarati et al., 2019)

Після цього її можна використовувати для поливу рослин на зелених дахах.

Результати нашого дослідження показали, що після очистки сіра вода відповідає всім необхідним параметрам для іригації рослин. Середні показники рН становили 7.2 ± 0.3 , що знаходиться в оптимальному діапазоні для більшості рослин. Показники якості очищеної сірої води відповідають встановленим нормативам для іригації (Najlaoui et al., 2022). Електропровідність ($780 \pm 70 \mu\text{S/cm}$) також не перевищує критичних значень, що узгоджується з рекомендаціями (McCann et al., 2019), щодо

використання альтернативних джерел води для міського озеленення.

Вплив на рослинність зелених дахів

Порівняльний аналіз росту рослин показав відсутність статистично значущої різниці між контрольними та експериментальними модулями. В деяких випадках спостерігався навіть кращий розвиток рослин у модулях з використанням сірої води, що може бути пов'язано з додатковим надходженням поживних речовин.

Спостерігалась позитивна динаміка росту в обох групах, з дещо кращими показниками у групі з використанням сірої води (рис. 2):

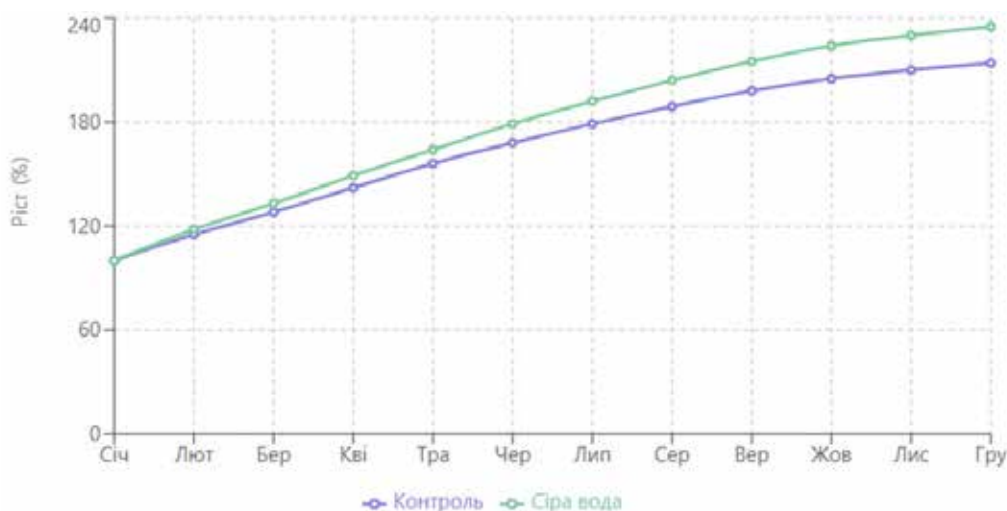


Рис. 2. Динаміка росту рослин протягом року

- Середній приріст біомаси: +8%.
- Площа листової поверхні: +12%.
- Інтенсивність цвітіння: +15%.
- Вживаність рослин: 95% vs 93%.

Щоб сіра вода не нашкодила рослинам на даху, обов'язково потрібно надавати перевагу солестійким видам, використовувати рослини, стійкі до лужного середовища та обирати посухостійкі види (табл. 4).

Стан субстрату

Моніторинг стану субстрату не виявив негативних змін при використанні очищеної сірої води. Спостерігалось незначне збільшення вмісту органічних речовин, що може мати позитивний вплив на розвиток рослин.

Економічна ефективність

Використання сірої води для зрошення зелених дахів стає все більш популярним

Таблиця 4

Адаптація рослин

Вид рослин	Адаптація до сірої води	Рекомендації по поливу
Седуми	Висока	1-2 рази на тиждень
Трави	Середня	2-3 рази на тиждень
Сукуленти	Висока	1 раз на тиждень
Почво-покровні	Середня-висока	2-3 рази на тиждень

рішенням з огляду на економічну ефективність. Основна перевага полягає у значному скороченні витрат на водопостачання – в середньому на 40–50% зменшується споживання питної води. Також знижуються витрати на водовідведення, оскільки вода повторно використовується в системі.

Економічний аналіз продемонстрував:

- Початкові інвестиції: 1200 євро/м².
- Термін окупності: 4,5 роки.
- Економія води: 40–50%.
- Зниження експлуатаційних витрат:

35%.

Додатковим економічним бенефітом є економія на добривах, оскільки сіра вода містить поживні речовини. Зелений дах з системою повторного використання води підвищує енергоефективність будівлі, збільшує вартість нерухомості та покращує її екологічний імідж. Це особливо актуально для комерційних об'єктів, які прагнуть відповідати стандартам зеленого будівництва.

Таким чином, незважаючи на початкові витрати, використання сірої води для зелених дахів є економічно доцільним рішенням з довгостроковою перспективою.

Використання сірої води для зрошення зелених дахів має значні екологічні переваги (рис. 3). За даними (Amin et al., 2023),

такий підхід може зменшити споживання питної води на 30–40% у міських умовах. Наші результати демонструють додаткову перевагу у вигляді підвищеного вмісту органічних речовин у субстраті ($6.8 \pm 0.6\%$), що сприяє кращому розвитку рослин.

Використання сірої води для зрошення зелених дахів створює значні екологічні переваги, які позитивно впливають на міське середовище та сталий розвиток. На рівні будівлі система забезпечує суттєву економію питної води, зменшуючи її споживання на 40–60%. Зелений дах ефективно регулює мікроклімат, знижуючи температуру повітря влітку на 3–7°C та підвищуючи вологість на 10–15%.

Важливим аспектом є покращення якості повітря – рослинний покрив здатний поглинати до 85% пилу та інших забруднюючих речовин, одночасно виробляючи кисень та поглинаючи CO₂. Система також ефективно управляє дощовими водами, затримуючи 60–80% опадів, що значно знижує навантаження на міську каналізацію (рис. 4).

Важливо відзначити, що зелені дахи з системою повторного використання сірої води створюють нові екосистеми в міському середовищі, підтримуючи біорізноманіття та забезпечуючи середовище існування для різних видів. Вони також відіграють



Рис. 3. Екологічні переваги зелених дахів

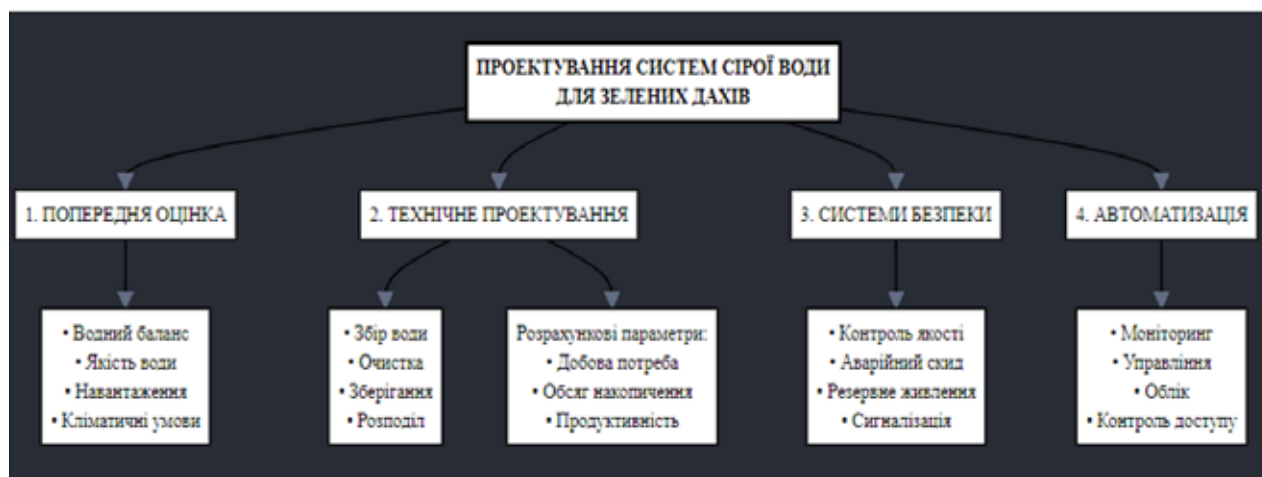


Рис. 4. Проектування системи сірої води для зелених дахів

важливу роль у зниженні ефекту «міського теплового острова» та адаптації міст до кліматичних змін (Валерко та ін., 2024).

Стан субстрату

Моніторинг стану субстрату не виявив негативних змін при використанні очищеної сірої води. Спостерігалось незначне збільшення вмісту органічних речовин, що може мати позитивний вплив на розвиток рослин.

Економічна ефективність

Використання сірої води для зрошення зелених дахів стає все більш популярним рішенням з огляду на економічну ефективність. Основна перевага полягає у значному скороченні витрат на водопостачання – в середньому на 40–50% зменшується споживання питної води. Також знижуються витрати на водовідведення, оскільки вода повторно використовується в системі.

- Економічний аналіз продемонстрував:
- Початкові інвестиції: 1200 євро/м².
- Термін окупності: 4,5 роки.
- Економія води: 40–50%.

Зниження експлуатаційних витрат: 35%.

Додатковим економічним бенефітом є економія на добривах, оскільки сіра вода містить поживні речовини. Зелений дах з системою повторного використання води підвищує енергоефективність будівлі, збільшує вартість нерухомості та покращує її екологічний імідж. Це особливо актуально для комерційних об'єктів, які прагнуть відповідати стандартам зеленого будівництва.

Таким чином, незважаючи на початкові витрати, використання сірої води для зелених дахів є економічно доцільним рішенням з довгостроковою перспективою.

Використання сірої води для зрошення зелених дахів має значні екологічні переваги (див. рис. 4). За даними (Amin et al., 2023), такий підхід може зменшити споживання питної води на 30–40% у міських умовах. Наші результати демонструють додаткову перевагу у вигляді підвищеного вмісту органічних речовин у субстраті ($6.8 \pm 0.6\%$), що сприяє кращому розвитку рослин.

Використання сірої води для зрошення зелених дахів створює значні екологічні переваги, які позитивно впливають на міське середовище та сталий розвиток. На рівні будівлі система забезпечує суттєву економію питної води, зменшуючи її споживання на 40–60%. Зелений дах ефективно регулює мікроклімат, знижуючи температуру повітря влітку на 3–7°C та підвищуючи вологість на 10–15%.

Важливим аспектом є покращення якості повітря – рослинний покрив здатний поглинати до 85% пилу та інших забруднюючих речовин, одночасно виробляючи кисень та поглинаючи CO₂. Система також ефективно управляє дощовими водами, затримуючи 60–80% опадів, що значно знижує навантаження на міську каналізацію (див. рис. 3).

Важливо відзначити, що зелені дахи з системою повторного використання сірої води створюють нові екосистеми в міському середовищі, підтримуючи біорізноманіття та забезпечуючи середовище існування для різних видів. Вони також відіграють важливу роль у зниженні ефекту «міського теплового острова» та адаптації міст до кліматичних змін (Валерко та ін., 2024).

Таблиця 5
Порівняльна характеристика
показників експерименту

Параметр	Контроль	Сіра вода	Норма
pH води	7.0±0.2	7.2±0.3	6.5–8.0
Електро- провідність ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	550±50	780±70	<1500
Висота рослин (см)	25±3	28±3	20–30
Біомаса ($\text{г}/\text{м}^2$)	450±40	485±45	>400
Вологість субстрату (%)	35±5	38±5	30–40
Вміст органіки (%)	5.2±0.5	6.8±0.6	5–8

Висновки

Проведене дослідження використання сірої води зеленими дахами демонструє комплексний вплив цієї технології на міське середовище та її значний потенціал для сталого розвитку міст (табл. 5).

Економічний аналіз показує суттєву ефективність впровадження таких систем. Досягається зменшення споживання питної води на 40–60%, що разом із скороченням експлуатаційних витрат на 20–30%, забезпечує окупність початкових інвестицій протягом 3–5 років. Додатковою перевагою є підвищення енергоефективності будівлі та зростання її ринкової вартості. Це підтверджує висновки (Woltersdorf et al., 2018) щодо економічної доцільності впровадження систем повторного використання води в міській інфраструктурі.

Екологічний аспект характеризується значним позитивним впливом на міське середовище. Системи забезпечують ефективну фільтрацію повітря, затримуючи до 85% забруднень, створюють нові екосистеми та підтримують біорізноманіття. Важливим є внесок у зменшення ефекту міського теплового острова та управління дощовими водами (Рибак та ін., 2024).

Технічна реалізація проєктів вимагає комплексного підходу до проектування та впровадження автоматизованих систем контролю. Критичними факторами є забезпечення якості води, надійність систем очистки та регулярне технічне обслуговування. При дотриманні всіх вимог системи демонструють стабільну та ефективну роботу.

Нормативне регулювання галузі потребує подальшого розвитку. Хоча існують міжнародні стандарти та рекомендації, необхідна розробка специфічних національних норм та процедур сертифікації. Особливу увагу слід приділити санітарно-гігієнічному контролю та регламентації експлуатаційних процесів.

Перспективи впровадження технології оцінюються як високі, враховуючи зростаючий попит на екологічні рішення та необхідність адаптації міст до кліматичних змін. Розвиток технічних рішень та обладнання створює передумови для масштабування технології.

Основні обмеження пов'язані з початковими інвестиційними витратами, необхідністю регулярного обслуговування та потребою у кваліфікованому персоналі. Проте ці виклики компенсуються довгостроковими перевагами та позитивним впливом на міське середовище.

Соціальний вплив реалізації таких проєктів включає покращення якості життя, створення нових робочих місць та розвиток екологічної свідомості. Формування сталих міських спільнот та підвищення обізнаності щодо екологічних технологій є важливими супутніми ефектами.

Таким чином, впровадження систем використання сірої води зеленими дахами є перспективним напрямком розвитку міської інфраструктури, що забезпечує збалансоване поєднання економічних, екологічних та соціальних переваг. Подальший розвиток технологій та вдосконалення нормативної бази сприятиме ширшому впровадженню цих систем у містах.

Список використаної літератури

Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Бельмега І.В., Шацило Є.Г. Зелені дахи як напрям наукових досліджень. Державний університет «Житомирська політехніка». Житомир, 2024. [Електронний ресурс] URL: <http://agrarian-innovations.izpr.ks.ua/index.php/agrarian/article/view/552> (дата звернення 24.11.2024).

Герасимчук П.О., Валерко Р.А., Весельський О.О. Переваги зелених дахів та їх розрахунок. *Аграрні інновації*. 2024. № 23. С. 48–57. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.7>.

Рибак О.С. «Зелений дах-біорізноманіття»: технології будівництва, утримання, обслуговування та особливості контролю біотичної складової. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2023. № 5. С. 35–41. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.5.4>.

Рибак О.С., Пацева І.Г. Екологічні основи аналізу впливу «зелених» дахів на міський клімат в урбоценозах. *Вісник хмельницького національного університету*. 2023. № 5 (2). С. 103–107. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-325-5-103-107>.

Рибак О.С., Пацева І.Г. Зелені дахи як елемент децентрализованого управління дощовою водою. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. № 2. С. 40–46. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-6>.

Рибак О.С., Пацева І.Г. Міське огородинство на даху – екологічне подолання продовольчої кризи в урбанізованому середовищі. *Аграрні інновації*. 2024. № 24. С. 135–140. <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2024.24.19>.

Amin M., Dorra E., Hosny O. Optimization of Urban Water Consumption in Residential Buildings. *Sustainability*. 2023. Vol. 15 (10). P. 7952. <https://doi.org/10.3390/su15107952>.

Azabache Y., Rojas K., Irigoín S., Rodriguez R., Quispe B. Proposal for a hydraulic system for reusing gray water that would reduce drinking water consumption in family homes. *Manglar*. 2020. <https://doi.org/10.17268/manglar.2020.026>.

Chougule S., Swaminathan A., Bamane P. Laboratory Testing Pros and Cons Over Natural Grey Water and Synthetic Grey Water Testing. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2023. Vol. 11(5). P. 1404–1411. <https://doi.org/10.22214/ijra-set.2023.50119>.

Hajlaoui H., Akrimi R., Guesmi A., Hachicha M. Assessing the Reliability of Treated Grey Water Irrigation on Soil and Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). *Horticulturae*. 2022. Vol. 8 (10). P. 981. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100981>.

McCann H., Pisano G., Beltrachini L. Variation in Reported Human Head Tissue Electrical Conductivity Values. *Brain Topography*. 2019. Vol. 32. P. 825–858. <https://doi.org/10.1007/s10548-019-00710-2>.

Noutsopoulos C., Andreadakis A., Kouris N. Greywater characterization and loadings – Physicochemical treatment to promote onsite reuse. *Journal of Environmental Management*. 2017. Vol. 203 (2). P. 655–663. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.056>.

Prajapati B., Jensen M., Jørgensen N., Petersen N. Grey water treatment in stacked multi-layer reactors with passive aeration and particle trapping. *Water research*. 2019. Vol. 161. P. 181–190. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2019.05.096>.

Woltersdorf L., Zimmermann M., Deffner J., Gerlach M., Liehr S. Benefits of an integrated water and nutrient reuse system for urban areas in semi-arid developing countries. *Resources Conservation and Recycling*. 2018. Vol. 128. P. 382–393. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2016.11.019>.

Yoonus H., Al-Ghamdi S. Environmental performance of building integrated grey water reuse systems based on Life-Cycle Assessment: A systematic and bibliographic analysis. *The Science of the total environment*. 2020. Vol. 712. P. 136535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136535>.

References

Valerko, R. A., Herasymchuk, L. O., Belmeha, I. V., & Shatsylo, Y. H. (2024). Zeleni dakhly yak napriam naukovykh doslidzhen [Green roofs as a direction of scientific research]. *Derzhavnyi universytet "Zhytomyrska politekhnika" [Zhytomyr Polytechnic State University]* [in Ukrainian].

Herasymchuk, P.O., Valerko, R.A., & Veselskyi, O.O. (2024). Perevahy zelenykh dakhiv ta yikh rozrakhunok [Advantages of green roofs and their calculation]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations]*, 23, 48–53. <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2024.23.7> [in Ukrainian].

Rybak, O. S. (2023). "Zelenyi dakh-bioriznomanittia": tekhnolohii budivnytstva, utrymannia, obsluhovuvannia ta osoblyvosti kontroliu biotychnoi skladovoi ["Green roof-biodiversity": construction technologies, maintenance, service and features of biotic component control]. *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho [Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University]*, 5, 35–41. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.5.4> [in Ukrainian].

Rybak, O.S., & Patseva, I.H. (2023). Ekolohichni osnovy analizu vplyvu "zelenykh" dakhiv na miskyi klimat v urbotsenozakh [Ecological foundations of the analysis of the influence of "green" roofs on urban climate in urban cenoses]. *Visnyk khmelnytskoho natsionalnoho universytetu [Herald of Khmelnytskyi National University]*, 5 (2), 103–107. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-325-5-103-107> [in Ukrainian].

Rybak, O.S., & Patseva, I.H. (2023). Zeleni dakhy yak element detsentralizovanoho upravlinnia doshchovoiu vodoiu [Green roofs as an element of decentralized rainwater management]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku [Problems of Chemistry and Sustainable Development]*, 2, 40–46. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-6> [in Ukrainian].

Rybak, O. S., & Patseva, I. H. (2024). Miske horodnytsvo na dakhu – ekolohichne podolannia prodovolchoi kryzy v urbanizovanomu seredovyshchi [Urban roof gardening – ecological overcoming of the food crisis in an urbanized environment]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations]*, 24, 135–140. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.19> [in Ukrainian].

Amin, M., Dorra, E., & Hosny, O. (2023). Optimization of Urban Water Consumption in Residential Buildings. *Sustainability*, 15 (10), 7952. <https://doi.org/10.3390/su15107952> [in English].

Azabache, Y., Rojas, K., Irigoien, S., Rodriguez, R., & Quispe, B. (2020). Proposal for a hydraulic system for reusing gray water that would reduce drinking water consumption in family homes. *Manglar*. <https://doi.org/10.17268/manglar.2020.026> [in English].

Chougule, S., Swaminathan, A., & Bamane, P. (2023). Laboratory Testing Pros and Cons Over Natural Grey Water and Synthetic Grey Water Testing. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11 (5), 1404–1411. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.50119> [in English].

Hajlaoui, H., Akrimi, R., Guesmi, A., & Hachicha, M. (2022). Assessing the Reliability of Treated Grey Water Irrigation on Soil and Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). *Horticulturae*, 8 (10), 981. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100981> [in English].

McCann, H., Pisano, G., & Beltrachini, L. (2019). Variation in Reported Human Head Tissue Electrical Conductivity Values. *Brain Topography*, 32, 825–858. <https://doi.org/10.1007/s10548-019-00710-2> [in English].

Noutsopoulos, C., Andreadakis, A., & Kouris, N. (2017). Greywater characterization and loadings – Physicochemical treatment to promote onsite reuse. *Journal of Environmental Management*, 203 (2), 655–663. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.056> [in English].

Prajapati, B., Jensen, M., Jørgensen, N., & Petersen, N. (2019). Grey water treatment in stacked multi-layer reactors with passive aeration and particle trapping. *Water Research*, 161, 181–190. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2019.05.096> [in English].

Woltersdorf, L., Zimmermann, M., Deffner, J., Gerlach, M., & Liehr, S. (2018). Benefits of an integrated water and nutrient reuse system for urban areas in semi-arid developing countries. *Resources Conservation and Recycling*, 128, 382–393. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2016.11.019> [in English].

Yoonus, H., & Al-Ghamdi, S. (2020). Environmental performance of building integrated grey water reuse systems based on Life-Cycle Assessment: A systematic and bibliographic analysis. *Science of the Total Environment*, 712, 136535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136535> [in English].

Отримано: 24.10.2024
Прийнято: 18.11.2024