

UDK 628.3:712.3

Marina Kravchenko, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor of the Department of Environmental Protection and Labor Protection Technologies
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0428-6440> **e-mail:** marina-diek@ukr.net

Tetiana Tkachenko, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Environmental Protection and Labor Protection Technologies
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2105-5951> **e-mail:** tkachenkoknuba@gmail.com

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

CALCULATION OF THE ECOLOGICAL AND ECONOMIC EFFECT OF COLLECTING RAINWATER WITH «GREEN» ROOFS

Abstract. *The problem of the availability of fresh water on the planet is substantiated and the main concepts of sustainable rainwater management, such as: "SuDS", "BMP", "LID", "GI", as well as the concept of "green" structures, are analyzed. The classification and characteristics of the main types of «green» roofs, as well as their main ecological advantages, are presented. The global market for green roofs is shown growing from USD 1.4 billion in 2020 to a CAGR of 17% from 2020 to 2027, to reach USD 4.2 billion by 2027, and is projected to the extensive type will account for more than half of the total market share. The problem of high costs for installation and maintenance of environmentally friendly solutions for the roof is highlighted, therefore the aim of the work is to calculate the ecological and economic effect of collecting rainwater obtained from «green» roofs, in contrast to traditional roofs, and to conduct an economic analysis of social and cost benefits. what green roofs generate over their life cycle using the Net Present Value (NPV) method. The ecological and economic effect of collecting rainwater with «green» roofs was calculated for four cities of Ukraine: Kyiv, Kharkiv, Dnipro and Lviv. According to the results of calculations, the ecological effect of EE ranges from 394,000 m³ in the city of Dnipro and 450,000 m³ in Kharkiv to 567,000 m³ in Kyiv and 647,000 m³ in Lviv. The difference in the obtained calculations depends primarily on the selected area of «green» roofs, which was the lowest in the city of Dnipro (1.47 million m²) and the highest in the city of Kyiv (2.50 million m²), the values of which were chosen conditionally, as well as from the indicator of the average annual amount of precipitation, which is the highest in the city of Lviv (740 mm). The average value of the ecological effect of EE in relation to water retention in the analyzed cities was calculated, which was 515,000 m³. By multiplying EE and water price, the average E_CE for these 4 cities was determined to be \$380,500. It was concluded that the price of water is a decisive dependent variable in the calculation of E_CE. The calculation of the economic analysis of the profitability of investments in «green» roofs corresponding to 1 m² of intensive and extensive «green» roofs, which was carried out on the basis of the net present value method (NPV). It is shown that investment costs for «green» roofs include the following stages: design of «green» roofs; installation of the «green» roof system; installation of waterproofing; production of substrate for roofs and its installation; selection and planting of plants on the roof; installation of the irrigation system. It is substantiated that both intensive and extensive «green» roofs have a positive indicator of the net present value of NPV. The average NPV per 1 m² of an intensive «green» roof is more than 10 times higher than the average NPV per 1 m² of an extensive «green» roof.*

Key words: «green» roof; rainwater; maintenance; storage; management; net present value; ecological effect; economic effect.

М.В. Кравченко, Т.М. Ткаченко

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

РОЗРАХУНОК ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ЗБИРАННЯ ДОЩОВОЇ ВОДИ «ЗЕЛЕНИМИ» ПОКРІВЛЯМИ

Анотація. Обґрунтовано проблему доступності прісної води на планеті та проаналізовано основні концепції сталого управління дощовими водами, такі як: «SuDS», «BMP», «LID», «GI», а також концепцію «зелених» конструкцій. Наведено класифікацію та характеристики основних типів «зелених» покрівель, а також їх основні екологічні переваги. Показано прогнозовану динаміку розвитку «зелених» дахів на світовому ринку, яка змінюватиметься з 1,4 мільярда доларів США у 2020 році до зростання на рівні 17% з 2020 по 2027 рік, досягнувши 4,2 мільярда доларів США до 2027 року, причому прогнозується, що екстенсивний тип становитиме більше половини загальної частки ринку. Висвітлено проблему високих витрат на встановлення та обслуговування екологічно чистих рішень для даху, тому поставлено мету роботи розрахувати екологічний та економічний ефект від збору дощової води, отриманої з «зелених» покрівель, на відміну від традиційної покрівлі, та провести економічний аналіз соціально-вартісних вигод, які «зелені» покрівлі генерують протягом свого життєвого циклу, використовуючи метод чистої приведеної вартості (NPV). Зроблено розрахунок еколого-економічного ефекту від збирання дощової води «зеленими» покрівлями для чотирьох міст України: Києва, Харкова, Дніпра та Львова. За результатами розрахунків екологічний ефект ЕЕ коливається в межах 394 000 м³ у Дніпрі та 450 000 м³ у Харкові до 567 000 м³ у Києві та 647 000 м³ у Львові. Відмінність в отриманих розрахунках залежить в першу чергу від обраної площі «зелених» покрівель, яка була найнижчою в місті Дніпро (1,47 млн м²) і найвищою в місті Київ (2,50 млн м²), значення яких були обрані умовно, а також від показника середньорічної кількості опадів, який є найвищим у місті Львів (740 мм). Розраховано середнє значення екологічного ефекту ЕЕ по відношенню до затримки води в проаналізованих містах, яке становило 515 000 м³. Шляхом множення ЕЕ і ціни води, визначено середній показник Е_{сЕ} для цих 4 міст, який склав 380 500 доларів США. Зроблено висновок, що ціна на воду є вирішальною залежною змінною при розрахунку Е_{сЕ}. Наведено розрахунок економічного аналізу прибутковості інвестицій у «зелені» покрівлі, що відповідають 1 м² інтенсивних і екстенсивних «зелених» дахів, який здійснювався на основі методики чистої приведеної вартості (NPV). Показано, що інвестиційні витрати на «зелені» покрівлі включають наступні стадії: проектування «зелених» дахів; монтаж системи «зеленої» покрівлі; встановлення гідроізоляції; виробництво субстрату для дахів та його укладання; підбір та посадка рослин на даху; монтаж системи поливу. Обґрунтовано, що як інтенсивні, так і екстенсивні «зелені» покрівлі мають позитивний показник чистої приведеної вартості NPV. Середній показник NPV на 1 м² інтенсивної «зеленої» покрівлі більший ніж в 10 разів перевищує середній NPV на 1 м² екстенсивного «зеленого» даху.

Ключові слова: «зелений» дах; дощові води; утримання; зберігання; управління; чиста приведена вартість; екологічний ефект; економічний ефект.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.34-48>

Вступ

Доступність прісної води по всій планеті знаходиться під загрозою через глобальні зміни клімату, обмежену наявність водних ресурсів і зростаючий попит на воду в багатьох сферах, таких як промисловість, сільське господарство, міське будівництво, технологічні процеси та забезпечення водою населення. Основні джерела поверхневого водопостачання все більше стикаються з проблемами через невизначеність, пов'язану з нерівномірним розподілом опадів як у просторовому, так і у часовому вимірах, а також через періодичні посухи, які стають довготривалими.

Прогнозується, що посухи та їх соціально-економічні наслідки будуть зростати у майбутньому, що суттєво ускладнить ситуацію з доступністю прісної води та розподілом її між різними регіонами. Попит на воду постійно розширюється через зростання кількості населення, індустріалізацію, розвиток сільського господарства, побутове використання та збільшення виробництва енергії.

Згідно з прогнозами, до 2025 року близько 1,8 мільярда людей можуть стати свідками абсолютного дефіциту води [1]. Також до 2035 року очікується різке зростання використання води для виробництва енергії і потреби сільського господарства. Урбанізація здійснює негативний вплив на гідрологічний цикл, призводячи до зменшення інфільтрації земель, з одного боку, та збільшення стоку – з іншого. Це прогнозує значні виклики з точки зору підтримки та відновлення зелених насаджень у межах міських територій. «Зелені» дахи сьогодні стають інноваційним рішенням для міст, оскільки вони не лише забезпечують естетичний вигляд та покращують якість довкілля, а й виконують ряд важливих екологічно-економічних функцій.

«Зелені» дахи стали популярним методом для відновлення біологічно активних поверхонь у міських областях та є зв'язуючим елементом між забудованими територіями, природними ресурсами і екосистемами в урбанізованому середовищі.

Концепція впровадження «зелених» дахів у міських районах є важливою частиною сталого управління зливовими водами, таким як [2]:

– «*SuDS*», стійкі міські дренажні системи (Sustainable Drainage Systems, Великобританія) – це підхід до управління дощовими водами, який включає використання методів, що знижують обсяг дощових стоків на місці, де вони утворюються, а також забезпечують очищення води;

– «*BMP*», найкращі практики управління (Best Management Practices) – це набір стратегій, методів, технік та процедур, які використовуються для зниження негативного впливу людської діяльності на водні ресурси та забезпечення сталого управління водними системами;

– «*LID*», розвиток з низьким рівнем впливу (Low Impact Development, США) – підхід до управління поверхневими стоками, який враховує гідрологічні процеси в природі та використовує принципи управління дощовими водами, які найбільш близькі до природних процесів;

– «*GI*», «зелена» інфраструктура (Green Infrastructure) – використовує природні або природоподібні елементи для управління стіканням води, очищення, збереження та використання водних ресурсів, забезпечуючи природний підхід до збалансованого водного господарства. Це може включати

створення «зелених» дахів, зелених насаджень, парків, ретенційних ставків, водних елементів, дренажних систем з використанням рослинності та інших природних матеріалів.

Згідно з даними Grand View Research [3], обсяг світового ринку «зелених» дахів оцінювався в 1,4 мільярда доларів США у 2020 році, а прогнозується, що він буде зростати зі складеними річними темпами зростання на рівні 17% з 2020 по 2027 рік, досягнувши 4,2 мільярда доларів США до 2027 року, причому екстенсивний тип становитиме більше половини загальної частки ринку.

Зазвичай «зелені» дахи класифікуються як інтенсивні або екстенсивні, залежно від їх призначення. Інтенсивні «зелені» дахи характеризуються глибоким середовищем для росту рослин, що змінюється від 20–100 см [4] і навіть до 200 см [5]. Рослинність на інтенсивних «зелених» дахах може бути різноманітною – від газонів і низькорослих чагарників до високих чагарників, перелісків і великих кущів, включаючи малі і великі дерева.

Завдяки інтенсивному росту рослин на таких дахах часто необхідно передбачати додаткове зрошення, що збільшує витрати на обслуговування. Однак інтенсивні «зелені» дахи є багатофункціональними та естетично привабливими, з широким спектром використання, включаючи створення додаткових житлових просторів [6].

Екстенсивні «зелені» покрівлі є альтернативою інтенсивним дахам та вважаються майже автономними [7]. Вони мають тонкий шар легкої підкладки (зазвичай ≤ 20 см) з високою пористістю і низьким вмістом органічних речовин [8], а також не потребують додаткового зрошення, тому вони частіше засаджуються низькорослими спільнотами рослин і мохами, що відрізняються стресостійкістю (наприклад, *Sedum spp.*, *Sempervivum spp.*).

Також автори [4] виділяють третій тип «зелених» дахів – напівінтенсивні, які є проміжним типом між інтенсивними і великими дахами за їхніми характеристиками товщини підкладки, видів рослинності і візуальними аспектами.

Провідні компанії постійно вдосконалюють дизайн і експлуатаційні характеристики «зелених» дахів, щоб зберегти міцну позицію на ринку, та інвестують у дослідження і розробки, щоб впроваджувати системи даху з низьким рівнем обслуговування, тим самим мінімізуючи загальні витрати. Крім того, компанії займаються зміцненням своїх ринкових позицій шляхом додавання нових і передових товарних пропозицій кінцевим споживачам. Деякі з провідних гравців на ринку «зелених» дахів сьогодні включають: *Optigreen International AG*, *Green Roof Blocks*, *Axter Ltd*, *Sempergreen*, *Bauder Ltd*, *ZinCo GmbH*.

Попри зростання інвестиційних витрат, «зелені» дахи стають все більш популярними, оскільки вони пропонують різноманітні соціальні та екологічні переваги, сприяючи сталому розвитку та підходу до життя, ближчого природному фону [9]. Проблема взаємозв'язку між економікою, суспільством та навколишнім середовищем залишається предметом міждисциплінарних досліджень, особливо у контексті стрімкого прогресу в напрямку кліматичної нейтральності.

Застосування «зелених» дахів сприяє стійкості будівель та поширенню їх використання в середовищі шляхом адаптації місцевої культури до стійких інноваційних технологій «зелених» конструкцій. Вони виконують важливу

роль у боротьбі зі зміною клімату та забезпечують збір води, що є необхідними аспектами для досягнення принципів сталого розвитку та подолання водної кризи.

Основними екологічними перевагами «зелених» дахів є: зменшення ефекту міського теплового острова [10], зниження забруднення внутрішнього [11] та міського повітря [12], регулювання споживання енергії будівлями [13, 14], управління якістю та кількістю зливових вод [2, 15], секвестрація CO₂ [16] та зниження рівня шумового забруднення [17], а також збільшення біологічно активних поверхонь [18].

Соціальні переваги включають покращення естетики та благоустрою, надання рекреаційних просторів, продовження терміну служби покрівельних матеріалів та зниження ризику повеней [19].

Ми проаналізували всі переваги «зелених» конструкцій, які досліджені та наведені в різних джерелах літератури, і систематизували їх на 3 основні категорії:

а) *соціальна: індивідуальний рівень* – покращення мікрокліматичних параметрів повітря всередині приміщень, шляхом компенсації екстремальних температур; зменшення інтенсивності відбитого випромінювання на прилеглі території; підвищення вологості, порівняно з поверхнею традиційного даху; покращення немікрокліматичних параметрів повітря всередині приміщень – зменшення рівня CO₂, ЛОС, твердих частинок, санування повітря; екранування приміщень від електромагнітних хвиль; шумозахист внутрішніми та зовнішніми «зеленими» конструкціями; покращення психологічного благополуччя, а також психічного та фізичного здоров'я людини. *Суспільний рівень* – покращення міського середовища та ландшафтного оформлення шляхом активного впровадження рослин, «зелених» елементів і зелених зон як акцентних, артикулюючих та створюючих простір елементів дизайну; підвищення відеоекологічного сприйняття; благоустрій міського простору для покращення життєвого та робочого середовища, шляхом виділення помітних і придатних для використання приватних і громадських відкритих просторів для безпосередньої житлової та робочої зони людей; зменшення фізичного, хімічного та біологічного навантаження на конструкцію покрівлі, зокрема на гідроізоляцію покрівлі, шляхом компенсації екстремальних температур, запобігання ультрафіолетовим випромінюванням і викидам.

б) *захист довкілля*: збереження та рекультивація зелених насаджень і відкритих просторів як компенсаційні заходи за меліоровані або забудовані землі; підтримання біорізноманіття рослинного світу; підтримання біорізноманіття птахів та тварин, організація шляхів міграції біоти; пом'якшення ефекту міського «острова тепла»; зменшення викидів парникових газів; затримка стоку, утримання дощової води та повторне її введення в природний цикл через випаровування та евапотранспірацію.

в) *економічна*: створення додаткових зелених насаджень та відкритого простору на одній земельній ділянці без додаткових витрат на викуп землі; зменшення коефіцієнта стоку дощової води, що знижує навантаження на міську каналізаційну систему; надання додаткових робочих місць; підвищення ефективності енергозбереження та зменшення витрат на опалення і кондиціонування приміщень завдяки термоізоляції та регулюванню мікроклімату; зниження витрат на обслуговування та ремонт конструкцій завдяки захисту від факторів зовнішнього впливу, таких як атмосферні умови;

збільшення цінності нерухомості та покращення її комерційної привабливості через додаткові функціональні можливості та естетичну привабливість; можливість отримання сертифікату системи рейтингу сталого розвитку, що сприяє лідерству в енергетичному та екологічному дизайні.

Однак, надання цих переваг часто стає під загрозу високим витратам на встановлення та обслуговування екологічно чистих рішень для даху, тому постає проблема в проведенні аналізу витрат і вигод від «зелених» покрівель для більш обґрунтованого прийняття рішень.

Основна частина

Різні економічні оцінки «зелених» покрівельних систем (у порівнянні з традиційними покрівельними системами) показують значні варіації результатів. З фінансової точки зору, деякі дослідники стверджують, що інвестиції в «зелені» дахи зазвичай призводять до фінансових втрат у розмірі 19–50%, з урахуванням їх переваг [8]. Однак, інші дослідження показують можливий приріст у 25% [20].

З економічного та соціально-екологічного поглядів, «зелені» дахи вважаються цікавими інвестиціями, що можуть призводити до прибутку в розмірі 24–40% [21].

Відмінність у результатах можна пояснити різними умовами навколишнього середовища, які сильно впливають на характеристики «зеленої» покрівлі (наприклад, географічні та метеорологічні умови тощо) [22], що ускладнює проведення точної кількісної оцінки переваг «зелених» дахів. Більше того, незважаючи на те, що неекономічні переваги (такі як соціальне благополуччя та збереження біорізноманіття), описані в літературі, не часто відносять до аналізу «зелених» дахів, оскільки їх конвертація у грошовий еквівалент є складною. Ці обставини роблять оцінку «зелених» дахів складним процесом, обумовленим обмеженою кількістю доступних даних та неточними методами.

Метою роботи було розрахувати екологічний та економічний ефект від збору дощової води, отриманої з «зелених» покрівель, на відміну від традиційної покрівлі, та провести економічний аналіз соціально-вартісних вигод, які «зелені» покрівлі генерують протягом свого життєвого циклу, використовуючи метод чистої приведеної вартості (NPV). Всі розрахунки та аналіз були проведені як щодо інтенсивних, так і до великих «зелених» покрівель в 4 найбільших містах України з населенням більше 500 000 жителів.

Відповідно до концепції водного сліду [23], дощова вода, зібрана та збережена в ґрунті у вигляді ґрунтової вологи або на «зелених» дахах, називається зеленим водним слідом.

В цілому, водоутримуюча здатність «зелених» покрівель є непостійною і коливається від низького відсотка до 100%, що залежить від таких факторів, як нахил «зеленої» покрівлі, товщина і тип підкладкового шару, вид рослинності, а також кількість води, накопиченої в її структурі, до наступних дощових опадів [2].

Порівнюючи традиційні дахи і «зелені» покрівлі, останні мають значний екологічний ефект, який сприяє збереженню та утриманню води в міських районах.

На сьогоднішній день в Україні збір дощової води ще не є широко поширеною та розвинутою практикою, порівняно з деякими іншими країнами, тому Україна має один з найнижчих показників зеленого водного сліду.

Водні ресурси в Україні у середній за водністю рік становлять 94 км³, але придатні для використання тільки 56 км³ [24].

Агломерації, що сильно впливають на навколишнє середовище, призводять до формування міського теплового острова, забруднення повітря, зменшення біорізноманіття, а також забруднення і деградації поверхневих і підземних водних ресурсів [25]. Впровадження «зелених» дахів в міських зонах сприяє пом'якшенню міського клімату та зниженню екстремальних погодних явищ, спричинених його зміною.

Дослідивши умови в деяких містах України, авторами було проведено економічний аналіз «зелених» дахів з метою оцінки їх ефективності та потенціалу для сталого впровадження в міському середовищі.

Україна має помірний, континентальний клімат, загальну чисельність населення 44,7 млн жителів і займає площу 603 628 км². Середньорічна кількість опадів на території України зменшується від 650–550 мм на півночі до 450–350 мм на Чорноморсько-Азовському узбережжі і від 750–700 мм на заході до 500–450 мм на сході.

Характеристика міст України наведена в таблиці 1. Ціна води для населення України у 2023 році для кожного міста опублікована на вебсторінці Міністерства фінансів України [26]. Використовувався обмінний курс 1 USD = 37,35 UAH.

Розрахунок еколого-економічного ефекту від збирання дощової води «зеленими» покрівлями проводився за методикою, запропонованою в роботі [27]. Виходячи з різниці між водою, зібраною на «зелених» покрівлях, і водою, що стікає з традиційного даху, екологічний ефект (*EE*) розраховувався як об'єм утриманої води (м³). *EE*, виражений в грошовій одиниці, розраховувався як економічний ефект (*E_CE*). Дані, необхідні для розрахунків, представлені в таблиці 1. За показник загального рівня утримання води «зеленими» покрівлями було обрано середнє значення, а саме 60% [2].

Табл. 1. Характеристика оцінюваних міст України

Місто України	Населення, млн	Загальна площа, км ²	Середньорічна кількість опадів, мм	Ціна на воду, USD/м ³
Київ	2,966	835,58	649	0,81
Харків	1,446	370,0	515	0,65
Дніпро	0,968	409,72	450	0,84
Львів	0,729	148,95	740	0,70

Коефіцієнт стоку для забудованих територій становить 0,95 [28], і прийнято припущення, що «зелені» покрівлі складають 1% площі міської забудови.

Розрахунки еколого-економічного ефекту проводилися за рівняннями (1) і (2):

$$EE = (A \cdot P \cdot R) - (A \cdot P \cdot \Psi), \quad (1)$$

$$E_{CE} = EE \cdot C, \quad (2)$$

де: EE – екологічний ефект, що залежить від об’єму води, який утримується «зеленою» покрівлею, м³/рік;

$E_C E$ – економічний (екологічний) ефект, що дорівнює грошовій вигоді від утриманої води на «зеленій» покрівлі, USD/рік;

A – площа поверхні «зеленої» покрівлі, м²;

P – середньорічна кількість опадів, м (табл. 1);

R – середній ступінь утримання води «зеленою» покрівлею, що прийнято для розрахунків 60%;

Ψ – коефіцієнт стоку для забудованих територій, прийнятий для розрахунків 0,95;

C – середня ціна води, USD/м³ (табл. 1).

В Україні сьогодні вже облаштовано близько 100 тис. м² «зелених» дахів. За оцінками фахівців, площа дахів, придатних для озеленення, тільки в Києві складає близько 2,5 млн м², а по всій країні площа «зелених» покрівель може становити більше 30 млн м² [29].

У розрахунках ми припустили, що площа «зелених» покрівель становить до 1% від площі обраних міст України, оскільки немає даних про території, які займають «зелені» покрівлі в Україні чи обраних для розрахунку містах.

Отже, в розрахунках були прийняті уявні значення площі «зелених» дахів у містах, а саме: Київ – 2,5 млн м²; Харків – 1,76 млн м²; Дніпро – 1,64 млн м²; Львів – 1,47 млн м².

Еколого-економічний вплив з урахуванням збереження води розраховується як різниця між кількістю дощової води, яка стікає з традиційної покрівлі (виміряна у метрах кубічних), і кількістю дощової води, яка затримується на «зеленій» покрівлі (вимірюється також у метрах кубічних). Обсяг дощової води, який утримується на «зеленій» покрівлі, обчислюється шляхом перемноження її площі в місті, середньорічної кількості опадів та коефіцієнта затримки води на «зеленій» покрівлі (60%). Обсяг стікання дощової води розраховується шляхом множення площі «зеленої» покрівлі в місті, кількості опадів та коефіцієнта стоку (0,95).

За результатами розрахунків, представленими в таблиці 2, екологічний ефект EE коливається в межах 394 000 м³ у Дніпрі та 450 000 м³ у Харкові до 567 000 м³ у Києві та 647 000 м³ у Львові. Відмінність в отриманих розрахунках залежить в основному від обраної площі «зелених» покрівель, яка була найнижчою в місті Дніпро (1,47 млн м²) і найвищою в місті Київ (2,50 млн м²), а також від показника середньорічної кількості опадів, який є найвищим у місті Львів (740 мм).

Отже, середнє значення екологічного ефекту EE по відношенню до затримки води в проаналізованих містах становило 515 000 м³.

Табл. 2. Результати розрахунків екологічного EE та економічного ефекту $E_C E$

Місто України	Екологічний ефект EE , тис. м ³	Економічний ефект $E_C E$, тис. USD
Київ	567	459,27
Харків	450	279,00
Дніпро	394	330,96
Львів	647	452,90

Зміна площі «зелених» покрівель може служити ключовим інструментом для проведення аналізу та оцінки економічних і екологічних наслідків, оскільки різноманітність площ «зелених» покрівель може впливати на рівень збереження води, покращення міського клімату, зниження стоку дощової води та вартості обслуговування, що в свою чергу може мати значущий вплив на здатність міст до сталого розвитку та забезпечення екологічної стійкості.

Подібно до екологічного ефекту EE , значення економічного ефекту $E_C E$ утримання води, розраховане на 1000 доларів США, було найвищим у Києві та Львові (таблиця 2). Так само найнижчий показник був у містах Дніпро та Харків. Середній показник $E_C E$ для цих 4 міст склав 380 500 доларів США. $E_C E$ водоутримання розраховується шляхом множення EE і ціни води. Тому ціна на воду є вирішальною залежною змінною при розрахунку $E_C E$. Середня ціна води у 2023 році серед проаналізованої кількості міст становить 0,75 USD/м³. Мешканці Харкова та Львова мають найнижчі ціни на воду (0,65 та 0,7 USD/м³), найвища ціна була в містах Київ та Дніпро (0,81 та 0,84 USD/м³).

Розрахунок економічного аналізу прибутковості інвестицій у «зелені» покрівлі, що відповідають 1 м² інтенсивних і екстенсивних «зелених» дахів, здійснювався на основі методики чистої приведеної вартості (NPV) [30] і обчислювався за допомогою стандартної формули (3):

$$NPV = -I + \frac{CF_1}{1+r} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (3)$$

де: I – початкові інвестиції, USD;

CF – грошовий потік, USD, який визначається як різниця між прибутками та витратами від «зелених» дахів;

r – ставка дисконтування, %;

t – час, роки.

Дані для розрахунку економічного аналізу на основі методики чистої приведеної вартості представлені в таблиці 3.

Табл. 3. Дані для розрахунку економічного аналізу на основі методики чистої приведеної вартості

Позиція	Значення	Посилання
1	2	3
Ставка дисконтування, r , %	5	[27]
Термін служби «зеленої» покрівлі, роки	40	[27]
Середня кількісна оцінка витрат на «зелені» покрівлі в Україні, USD/м²		
Інвестиційні витрати на інтенсивний «зелений» дах	71,65	[31, 32]
Інтенсивна висадка рослинного шару	16,5	[31, 32]
Середня вартість обслуговування інтенсивної «зеленої» покрівлі	4,95	[31, 32]
Інвестиційні витрати на екстенсивний «зелений» дах	42,2	[31, 32]
Екстенсивна висадка рослинного шару	5,36	[31, 32]
Середня вартість обслуговування екстенсивної «зеленої» покрівлі	1,65	[31, 32]

1	2	3
Переваги від «зелених» покрівель, USD/м²		
Поглинання оксиду азоту	0,11	[8]
Зменшення викидів вуглецю	0,00017	[16]
Пом'якшення ефекту теплового острова	0,81	[10]
Надання рекреаційних площ (середнє значення)	11,00	[19]
Зниження ризику повеней	0,0024	[19]
Перевага від створення середовища проживання	0,675	[18]
Теплова ізоляція (нагрівання та охолодження)	0,68	[13]
Утримання води	0,31–0,64	Обчислені за рівняннями (1) та (2)

Інвестиційні витрати на «зелені» покрівлі включають наступні стадії:

- проектування «зелених» дахів (візуалізація, фор ескізів, робоча документація);
- монтаж системи «зеленої» покрівлі (основа, шар утеплення, парозоляція, гідроізоляція, укладання системи озеленення дахів);
- гідроізоляція – влаштування шару гідроізоляції під «зелену» покрівлю з урахуванням усіх необхідних параметрів;
- виробництво субстрату для дахів та його укладання;
- підбір та посадка рослин на даху;
- система поливу – проектування та монтаж систем поливу для рослин на даху.

Вартість інвестицій в інтенсивний та екстенсивний «зелений» дах може відрізнятися в залежності від розміру даху, обраної технології, виду рослинності та рівня автоматизації.

Вартість утримання дощової води розраховувалася як добуток ціни на воду і середньорічної кількості опадів у містах, що оцінюються, та середнього ступеня затримки води на «зелених» дахах, обраного як 60%. Було обрано припущення, що інтенсивні «зелені» дахи вимагають щорічного догляду, а посадки рослинного покриву (0,5 «зеленого» даху у кожній області) кожні два роки. У випадку великих «зелених» покрівель враховувались витрати на обслуговування кожні два роки, тоді як витрати на посадку рослинності були понесені лише в перший рік [27].

Внутрішня норма прибутковості (IRR) – це відсоткова ставка, при якій чиста приведена вартість всіх грошових потоків (як позитивних, так і негативних) від проєкту або інвестиції стає рівною нулю. IRR використовується для оцінки привабливості проєкту або інвестиції. IRR може бути математично розрахована за рівнянням (4):

$$CF_0 + \frac{CF_1}{1+r} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (4)$$

де, CF – грошовий потік в останньому періоді часу (t), USD;

r – IRR, що підлягає розрахунку, %.

Дисконтований термін окупності (DPP) входить в динамічні методи оцінки прибутковості інвестиційних проєктів. Цей показник визначає період часу, за

який грошовий потік з інвестицій повністю компенсує всі витрати, зроблені під час проекту, і після чого він починає приносити чистий прибуток. Значення DPP визначається рівнянням (5):

$$DPP_k = \frac{Y_k + |NPV_{kY}|}{CF_{k(Y+1)}}, \quad (5)$$

де DPP_k – DPP, призначений для варіанта k , років;

Y_k – становить кількість повних років до визначення загальної прибутковості для варіанта k , років;

$CF_{k(Y+1)}$ – дисконтований грошовий потік у році $(Y + 1)$, призначений для варіанту k , USD;

NPV_{kY} – це невідшкодовані витрати, визначені на початок року $(Y + 1)$, призначені для варіанта k , USD.

Як видно з результатів економічного аналізу, представленого в таблиці 4, як інтенсивні, так і екстенсивні «зелені» покрівлі мають позитивний показник чистої приведеної вартості NPV . Однак інтенсивні «зелені» покрівлі є більш рентабельними, ніж екстенсивні, перш за все завдяки перевагам надання рекреаційного простору. Середній показник NPV на 1 м² інтенсивної «зеленої» покрівлі більш ніж в 10 разів перевищує середній NPV на 1 м² екстенсивного «зеленого» даху.

Табл. 4. Результати економічного аналізу для інтенсивної і екстенсивної «зеленої» покрівлі в різних містах України

Місто	Інтенсивна «зелена» покрівля			Екстенсивна «зелена» покрівля		
	Чиста приведена вартість, USD	Внутрішня норма прибутковості, %	Дисконтований термін окупності, рік	Чиста приведена вартість, USD	Внутрішня норма прибутковості, %	Дисконтований термін окупності, рік
Київ	46,59	5,89	5,12	2,84	0,89	11,15
Харків	39,37	4,08	6,87	2,04	0,94	11,48
Дніпро	42,32	4,72	6,24	2,25	0,85	11,56
Львів	58,37	5,94	5,03	3,21	1,07	11,02

Висновки

Отримані в рамках роботи результати вказують на те, що утримування дощової води «зеленими» дахами є екологічно та економічно вигідним протягом всього терміну їх експлуатації, тим самим підтверджуючи, що є сенс широко впроваджувати «зелені» покрівлі і, у багатьох випадках, підтримувати їх за допомогою державних ініціатив. Держава може відігравати важливу роль у сприянні широкому розвитку «зелених» покрівель, зокрема, шляхом надання фінансових пільг, субсидій або податкових пільг для тих, хто обирає цей екологічно стійкий підхід до будівництва. Також можна розглядати можливість включення «зелених» покрівель до планів і програм сталого розвитку міст, сприяючи зниженню негативного впливу антропогенних факторів на навколишнє середовище та водні ресурси. Такі кроки державної підтримки можуть сприяти впровадженню екологічно ефективних інновацій у будівництво та розвиток стійких міських інфраструктурних рішень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. The United Nations world water development report 2021: valuing water, 2021. 187 p.
2. Ткаченко, Т., Мілейковський, В., & Кравченко, М. (2023). Вплив «зелених» покрівель на управління дощовими водами: огляд наукових досліджень та перспективи використання. *Екологічна безпека та природокористування*, 46(2), 35–53. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.2.35-53>
3. Green Roof Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Extensive, Intensive), By Application (Residential, Commercial, Industrial), By Region (North America, APAC, MEA), And Segment Forecasts, 2020–2027. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/green-roof-market>
4. Li W.C., Yeung K.K.A. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *Int. J. Sustain. Built Environ.* 2014. Vol. 3. P. 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.05.001>
5. Vijayaraghavan K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016. Vol. 57. P. 740–752. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>
6. Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B., Coffman R.R., Doshi H., Dunnett N., Rowe B. Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience* 2007. Vol. 57. P. 823–833. <https://doi.org/10.1641/B571005>
7. Bianchini F., Hewage K. Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: A lifecycle approach. *Build Environ.* 2012. Vol. 58. P. 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.005>
8. Carter T., Keeler A. Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *J. Environ. Manag.* 2008. Vol. 87. P. 350–363. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.024>
9. Yuliani S., Hardiman G., Setyowati E. Green-roof: The role of community in the substitution of green-space toward sustainable development. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. P. 1429. <https://doi.org/10.3390/su12041429>
10. Jiawei Fu, Karine Dupre, Silvia Tavares, David King, Zsuzsa Banhalmi-Zakar. Optimized greenery configuration to mitigate urban heat: A decade systematic review. *Frontiers of Architectural Research*. 2022. Volume 11, Issue 3. P. 466–491. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.12.005>
11. Fleck R., Pettit T.J., Douglas A.N., Irga P.J., Torpy F.R. Botanical biofiltration for reducing indoor air pollution. *Bio-Based Materials and Biotechnologies for Eco-Efficient Construction*. 2020. P. 305–327. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819481-2.00015-5>
12. Weerakkody U., Dover J.W., Mitchell P., Reiling K. Particulate Matter Pollution Capture by Leaves of Seventeen Living Wall Species with Special Reference to Rail-Traffic at a Metropolitan Station. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2017. Vol. 27. P. 173–186. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.07.005>
13. Ткаченко Т.М., Мілейковський В.О. Дослідження теплопередачі в енергоефективних зелених покрівлях, Вентиляція, освітлення і теплогазопостачання: Науково-технічний збірник. 2017. Вип. 21. С. 37–48. URL: <http://vothp.knuba.edu.ua/issue/view/10141>
14. Tkachenko T., Mileikovskiy V. Research of Cooling Effect of Vegetation Layer of Green Structures in Construction. *International scientific and practical conference. World science. Dubai*. 2017. Т.1. №7(23). С. 22–24. URL: <http://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/5694>
15. Кравченко М.В., Ткаченко Т.М., Мілейковський В.О. Модифікація «зеленої» покрівлі з використанням технічних рішень для зменшення негативного впливу зливових вод в міських умовах. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, К.: КНУБА. 2023. № 43. С. 16–28. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.43.16-28>

16. Yujiro Hirano, Tomohiko Ihara, Kei Gomi, Tsuyoshi Fujita. Simulation-Based Evaluation of the Effect of Green Roofs in Office Building Districts on Mitigating the Urban Heat Island Effect and Reducing CO₂ Emissions. *Sustainability*. 2019. Vol. 11, Iss. 7. 2055. <https://doi.org/10.3390/su11072055>
17. Azkorra Z., Pérez G., Coma J., Cabeza L.F., Bures S., Alvaro J.E., Erkoreka A., Urrestarazu M. Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system. *Applied Acoustics*. 2015. Vol. 89. P. 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.09.010>
18. Wooster E.I.F., Fleck R., Torpy F., Ramp D., Irga P.J. Urban green roofs promote metropolitan biodiversity: A comparative case study. *Building and Environment*. 2022. Volume 207, Part A. 108458. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108458>
19. Qiang Ji, Hye-Jeong Lee, Sung-Yoon Huh. Measuring the economic value of green roofing in South Korea: A contingent valuation approach. *Energy and Buildings*. 2022. Volume 261. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111975>
20. Fabricio Bianchini, Kasun Hewage. Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: A lifecycle approach. *Building and Environment*. 2012. Vol. 58. P. 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.005>
21. Inês Teotónio, Cristina Matos Silva, Carlos Oliveira Cruz. Eco-solutions for urban environments regeneration: The economic value of green roofs. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 199. P. 121–135. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.084>
22. Aflaki et al. Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong. *Cities*. 2017. Vol. 62. P. 131–145. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.003>
23. Hoekstra A.Y. Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, The Netherlands, 12–13 December 2002; Value of Water Research Report Series No. 12; UNESCO-IHE: Delft, The Netherlands, 2003.
24. Внутрішні води та водні ресурси України. [Електронний ресурс]. URL: <http://zno.academia.in.ua/mod/book/view.php?id=2439#:~:text=Поверхневі%20й%20підземні%20води%2C%20які,використання%20тільки%2056%20км3> [дата звернення 20.11.2023].
25. Borowski P.F. Nexus between water, energy, food and climate change as challenges facing the modern global, European and Polish economy. *AIMS Geosci*. 2020. Vol. 6. P. 397–421.
26. Тарифи на водопостачання та водовідведення. [Електронний ресурс]. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/water/> [дата звернення 20.11.2023].
27. Agnieszka Bus, Anna Szelałowska. Green Water from Green Roofs – The Ecological and Economic Effects. *Sustainability*. 2021. Vol. 13(4). 2403; <https://doi.org/10.3390/su13042403>
28. Методичні рекомендації із забезпечення ефективного відведення поверхневих вод. Наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства України 23.12.2010, N 470.
29. Землянка нашої мрії. Випуск №163. URL: <https://umoloda.kyiv.ua/number/2555/208/90236/> [дата звернення 20.11.2023].
30. Дикан М.І., Рубенок Т.М., Міщенко В.Я. Прогнозування ефективності інвестиційних проєктів з урахуванням факторів, що послаблюють негативний вплив. *Інвестиції. Інновації в економіці*, 2019. № 5. С. 137–141.
31. Зелена покрівля: проєктування та монтаж. [Електронний ресурс]. URL: https://euroroofing.ua/green_roofs/ [дата звернення 20.11.2023].
32. Системи «зелених» дахів. [Електронний ресурс]. URL: <https://zinc.com.ua/systems> [дата звернення 20.11.2023].

Стаття надійшла до редакції 08.10.2023 і прийнята до друку після рецензування 15.01.2024

REFERENCES

1. The United Nations world water development report 2021: valuing water (2021). 187 p.
2. Tkachenko, T. M., Mileikovskiy, V. O., & Kravchenko, M. V. (2023). Impact of «green» roofs on rainwater management: review of scientific research and perspectives of use. *Environmental Safety and Natural Resources*, 46(2), 35–53. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.2.35-53> [in Ukrainian].
3. Green Roof Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Extensive, Intensive), By Application (Residential, Commercial, Industrial), By Region (North America, APAC, MEA), And Segment Forecasts, 2020–2027. Retrieved from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/green-roof-market>
4. Li, W.C., & Yeung, K.K.A. (2014). A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *Int. J. Sustain. Built Environ*, 3, 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.05.001>
5. Vijayaraghavan, K. (2016). Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 57, 740–752. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>
6. Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., & Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience*, 57, 823–833. <https://doi.org/10.1641/B571005>
7. Bianchini, F., & Hewage, K. (2012). Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: A lifecycle approach. *Build Environ.*, 58, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.005>
8. Carter, T., & Keeler, A. (2008). Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *J. Environ. Manag.*, 87, 350–363. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.024>
9. Yuliani, S., Hardiman, G., & Setyowati, E. (2020). Green-roof: The role of community in the substitution of green-space toward sustainable development. *Sustainability*, 12, 1429. <https://doi.org/10.3390/su12041429>
10. Jiawei Fu, Karine Dupre, Silvia Tavares, David King, & Zsuzsa Banhalmi-Zakar (2022). Optimized greenery configuration to mitigate urban heat: A decade systematic review. *Frontiers of Architectural Research.*, 2022, 11, 3, 466-491. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.12.005>
11. Fleck, R., Pettit, T.J., Douglas, A.N., Irga, P.J., & Torpy, F.R. (2020). Botanical biofiltration for reducing indoor air pollution. *Bio-Based Materials and Biotechnologies for Eco-Efficient Construction*, 305–327. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819481-2.00015-5>
12. Weerakkody, U., Dover, J.W., Mitchell, P., & Reiling, K. (2017). Particulate Matter Pollution Capture by Leaves of Seventeen Living Wall Species with Special Reference to Rail-Traffic at a Metropolitan Station. *Urban Forestry and Urban Greening*, 27, 173–186. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.07.005>
13. Tkachenko, T.M., & Mileikovskiy, V.O. (2017). Doslidzhennia teploperedachi v enerhoefektyvnykh zelenykh pokrivliakh. *Ventylatsiia, osvittennia i teplohazopostachannia*, 21, 37-48 [in Ukraine]. <http://vothp.knuba.edu.ua/issue/view/10141>
14. Tkachenko, T., & Mileikovskiy, V. (2017). Research of Cooling Effect of Vegetation Layer of Green Structures in Construction. International scientific and practical conference. World science. Dubai, 1, №7(23), 22-24. <http://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/5694>
15. Kravchenko, M.V., Tkachenko, T.M., & Mileikovskiy, V.O. (2023). Modifikatsiia "zelenoi" pokrivli z vykorystanniam tekhnichnykh rishen dlia zmenshennia nehatyvnoho vplyvu zlyvovykh vod v miskykh umovakh. *Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliki*, 43, 16-28 [in Ukraine]. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.43.16-28>
16. Yujiro Hirano, Tomohiko Ihara, Kei Gomi, & Tsuyoshi Fujita. (2019). Simulation-Based Evaluation of the Effect of Green Roofs in Office Building Districts on Mitigating the Urban Heat Island Effect and Reducing CO₂ Emissions. *Sustainability*, 11, Iss. 7, 2055. <https://doi.org/10.3390/su11072055>

17. Azkorra, Z., Pérez, G., Coma, J., Cabeza, L.F., Bures, S., Alvaro, J.E., Erkoreka, A., & Urrestarazu, M. (2015). Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system. *Applied Acoustics*, 89, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.09.010>
18. Wooster, E.I.F., Fleck, R., Torpy, F., Ramp, D., & Irga, P.J. (2022). Urban green roofs promote metropolitan biodiversity: A comparative case study. *Building and Environment*, 207, 108458. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108458>
19. Qiang Ji, Hye-Jeong Lee, & Sung-Yoon Huh (2022). Measuring the economic value of green roofing in South Korea: A contingent valuation approach. *Energy and Buildings*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111975>
20. Fabricio Bianchini, & Kasun Hewage (2012). Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: A lifecycle approach. *Building and Environment*, 58, 152-162. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.005>
21. Inês Teotónio, Cristina Matos Silva, & Carlos Oliveira Cruz (2018). Eco-solutions for urban environments regeneration: The economic value of green roofs. *Journal of Cleaner Production*, 199, 121-135. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.084>
22. Aflaki et al. (2017). Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong. *Cities*, 62, 131-145. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.003>
23. Hoekstra, A.Y. (2003). Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, The Netherlands, 12–13 December 2002; Value of Water Research Report Series No. 12; UNESCO-IHE: Delft, The Netherlands.
24. Vnutrishni vody ta vodni resursy Ukrainy. Retrieved November, 20, 2023 from <http://zno.academia.in.ua/mod/book/view.php?id=2439#:~:text=Поверхневі%20й%20підземні%20води%2C%20які,використання%20тільки%2056%20км3>
25. Borowski, P.F. (2020). Nexus between water, energy, food and climate change as challenges facing the modern global, European and Polish economy. *AIMS Geosci*, 6, 397–421.
26. Taryfy na vodopostachannia ta vodovidvedennia. Retrieved November, 20, 2023 from <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/water/>
27. Bus, A., & Szelągowska, A. (2021). Green Water from Green Roofs – The Ecological and Economic Effects. *Sustainability*, 13(4), 2403. <https://doi.org/10.3390/su13042403>
28. Metodichni rekomendatsii iz zabezpechennia efektyvnoho vidvedennia poverkhnevyykh vod. Nakaz Ministerstva z pytan zhylovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy. 23.12.2010, N 470.
29. Zemlianka nashoyi mriyi. Retrieved November, 20, 2023 from <https://umoloda.kyiv.ua/number/2555/208/90236/>
30. Dykan, M.I., Rubenok, T.M., Mishchenko, V.Ya. (2019). Prognozuvannia efektyvnosti investytsiynykh proektiv z urakhuvanniam faktoriv, shcho poslabliuiut' nehatyvnyi vplyv. *Innovatsii v ekonomitsi*, 5, 137–141 [in Ukraine].
31. Zelena pokrivlia: proektuvannia ta montazh. Retrieved November, 20, 2023 from https://euroroofing.ua/green_roofs/
32. Systemy "zelenykh" dakhiv. Retrieved from <https://zinco.com.ua/systems>

The article was received 08.10.2023 and was accepted after revision 15.01.2024

Кравченко Марина Василівна

к.т.н., доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0428-6440> **e-mail:** marina-diek@ukr.net

Ткаченко Тетяна Миколаївна

д.т.н., професор кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2105-5951> **e-mail:** tkachenkoknuba@gmail.com