

ПЕРЕВАГИ ЗЕЛЕНИХ ДАХІВ ТА ЇХ РОЗРАХУНОК

ГЕРАСИМЧУК Л.О. – кандидат сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0002-3166-5588

Державний університет «Житомирська політехніка»

ВАЛЕРКО Р.А. – кандидат сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0003-4716-0100

Державний університет «Житомирська політехніка»

ВЕСЕЛЬСЬКИЙ О.О. – аспірант

orcid.org/0009-0003-8913-6798

Державний університет «Житомирська політехніка»

Постановка проблеми. Зростання міського населення, незважаючи на соціально-економічні переваги, трансформуючи міське середовище проживання, призводить до численних екологічних проблем [1-6], серед яких міські повені (впливаючи на природний гідрологічний цикл і збільшуючи швидкість та обсяг дощових стоків) та вищі температури всередині міста порівняно з навколишніми сільськими районами (міські теплові острови). Зміна клімату ще більше посилює ці проблеми, збільшуючи кількість та інтенсивність екстремальних погодних умов [7-9].

Одним з шляхів вирішення зазначених проблем є зелені дахи, які набули широкого поширення в розвинутих країнах і є трендом міської архітектури і володіють рядом переваг, таких як: здатність утримувати та затримувати зливовий стік даху, зменшувати міські теплові острови, покращувати якість повітря [10-31].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Актуальність і значущість даного наукового дослідження віддзеркалюється у працях вітчизняних та зарубіжних учених, які вивчали екологічні переваги зелених дахів [10] та їх окремі аспекти, а саме: енергоефективність [11, 12], вплив на покращення якості атмосферного повітря та зниження викидів вуглекислого газу [13-15], зменшення зливого стоку [16-28], зменшення міських теплових островів [29-31], шуму [32], адаптації до зміни клімату [33] тощо.

Широкою є й географія вивчення зелених дахів: Чунцин (Китай) [27], Сеул (столиця Кореї) [17], Брюссель (столиця Бельгії) [18], Чхунджу (Південна Корея) [21], Ополе (Польща) [19], Самут Пракан (Тайланд) [20], Ванкувер, Келовна (Британська Колумбія), Шанхай (КНР) [22], Куньмін (південний захід Китаю) [24] тощо. Наукові доробки, що висвітлюють розрахунок переваг зеленого даху, у літературі не представлено, що й зумовило вибір нами саме такої теми дослідження.

Мета статті. Метою даного дослідження є розрахунок переваг зеленого даху.

Матеріали та методика досліджень. Інформаційною базою досліджень став калькулятор переваг зеленого даху [34], вихідними даними до якого стала інформація про тип будівлі (житлова), кількість поверхів (2), її площу (240 м²), характеристики даху (площа – 110 м², кут – 5-15°, тип – ломаний, орієнтація – північ), площу ділянки, де розташований будинок (600 м²), а також площу (50 м²) та тип зеленого даху (інтенсив-

ний). Оцінка вигод і витрат представлені окремо як одноразові витрати чи вигоди (наприклад, підвищення вартості нерухомості), річні показники (наприклад, енергозбереження) та діапазон за категоріями (для зазначення потенційної варіації від високого або найкращого варіанту, помірного або середнього до найнижчого або мінімального на основі даних, які ми маємо).

Результати досліджень. Зелені дахи є одними з найбільш придатними видами зеленої інфраструктури для густо урбанізованих територій та щільної житлової забудови, оскільки їх можна включати як у нове будівництво або ж додавати до існуючих під час реконструкції чи заміни даху.

За результатами дослідження глобального ринку зелених дахів у 2022 р. Сполучені Штати займали лідируючу позицію, а в деяких європейських країнах (Велика Британія, Німеччина та Франція) він склав понад 100 мільярдів доларів США [35].

Переваги зелених дахів виходять далеко за межі їх очевидної естетичної привабливості і мають важливу роль у забезпеченні стійкості міського середовища. Використання калькулятора зеленого даху дозволило визначити ряд їх фінансових і нефінансових переваг для власників, мешканців і користувачів будівель (рис. 1).

1. Енергозбереження. Зелені дахи здатні забезпечити охолоджуючий ефект, поглинаючи теплову енергію з повітря шляхом випаровування, затінення та зменшення поглинання тепла, тоді як шар рослинності та субстрат забезпечують додаткову ізоляцію будівель (рис. 2).

2. Вуглець. Зелені дахи сприяють зменшенню викидів вуглекислого газу за рахунок зменшення споживання енергії для опалення та охолодження (рис. 3).

У роботах [13-15] наголошено на поліпшенні якості зовнішнього повітря, що пов'язане зі зниженням викидів вуглецю принаймні на 30%.

Шар ґрунту та рослин зелених дахів захоплюють і зберігають вуглець з атмосфери (секвестрація). Кількість вуглецю, що поглинається щороку, залежить від глибини субстрату та рослин (рис. 4).

3. Якість повітря. Зелені дахи покращують якість повітря завдяки осіданню й уловлюванню забруднюючих речовин на поверхні рослин, а також поглинанию забруднюючих речовин, таких як діоксид азоту (рис. 5) та тверді частинки (10,0 кг/год).

У роботі [13] підтверджена роль зелених дахів на покращення якості повітря, що призводить до



Рис. 1. Фінансові і нефінансові переваги зелених дахів для власників, мешканців і користувачів будівель

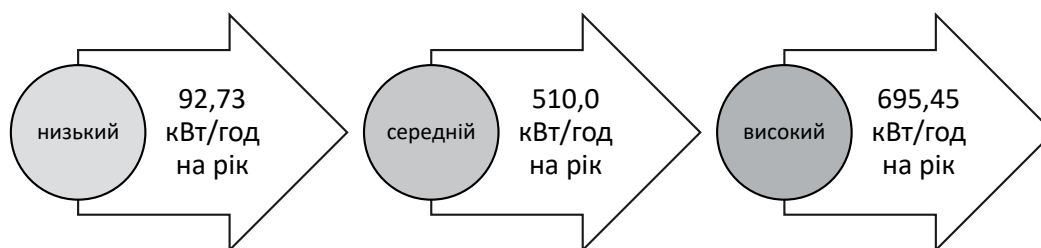


Рис. 2. Річна економія енергії для простору безпосередньо під зеленим дахом

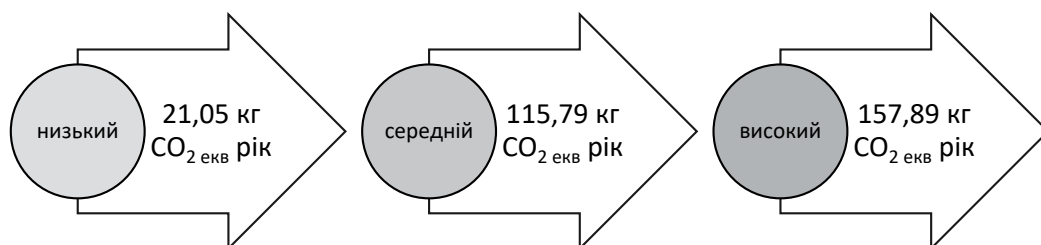


Рис. 3. Обсяги зменшення викидів вуглекислого газу

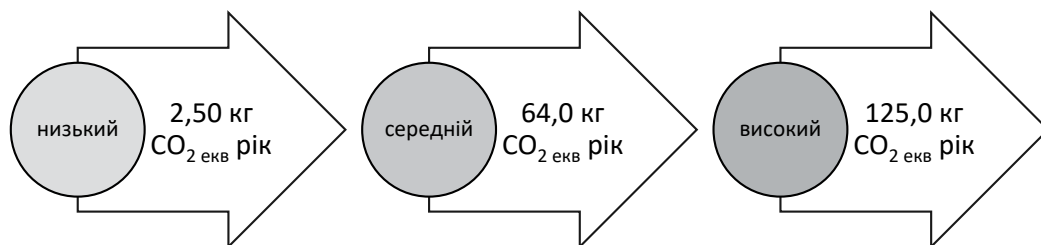


Рис. 4. Обсяги секвестрації вуглецю

40% зниження концентрації забруднюючих речовин поблизу інфраструктури та 40% покращення очищення повітря.

4. Затримка дощової води. Зелені дахи можуть допомогти впоратися з опадами шляхом перехоплення та зберігання дощової води, що залежить від глибини, типу

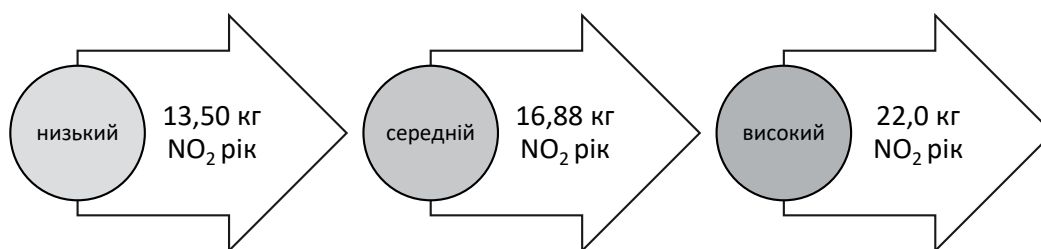


Рис. 5. Обсяги поглинання діоксиду азоту

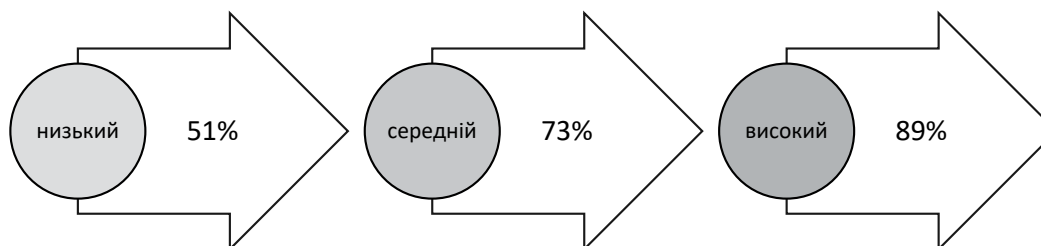


Рис. 6. Обсяги зберігання середньорічної кількості опадів

субстрату і рослинності, що використовується (як правило, чим глибше субстрат, тим більше середньорічне утримання води; потужність падає, оскільки опади стають сильнішими) (рис. 6).

Саме здатність зелених дахів накопичувати дощову воду є однією з найбільш відомих їх переваг, що має важливе значення в районах щільної житлової забудови, де звичайні дахи сконструйовані для швидкого дренажу. Стрімкий розвиток територій, зміни клімату, швидкий дренаж води може призвести до локальних повеней, оскільки дренажні системи перевантажуються. Каналізаційні системи швидко зростаючих сучасних міст часто не в змозі впоратися з навантаженням. Тому ефективне зменшення зливового стоку є однією з головних проблем у сучасному розвитку міст. Зелені дахи в умовах частих та тривалих періодів погоди зі значними кількостями опадів сприяють зменшенню обсягів поверхневого стоку та кількості опадів з дахів, внаслідок чого зменшується об'єм зливової води, що надходить у каналізаційні колектори. Враховуючи зазначене, зелені дахи відіграють важливу роль у забезпеченні стійкості міського середовища, особливо через значні кількості опадів.

Для утримання зливової води при різній інтенсивності та тривалості опадів важливим є технічний дизайн зеленого даху, функціональності середовища для вирощування та дренажного шару [19, 21, 26].

Визначено, що зелені дахи здатні нейтралізувати кислотні дощі, а їх впровадження – покращити якість міської дощової води [26]; впровадження компенсаторних прийомів, таких як зелені дахи, сприяють зменшенню загального об'єму стоку в середньому на 50%, а при тривалому періоді без опадів – 78% [23]; типовий зелений дах може зменшити річний стік з даху на 29% у Ванкувері, на 55% у Шанхаї та на 100% у Келовні, а в підтримці росту рослин і мінімізації потреб у зро-

шенні зелених дахів важливу роль відіграють властивості ґрунту, глибина ґрунту та вибір рослин [22]; за допомогою великих зелених дахів в Самут Пракані стік зменшився від 14,6% до 54,51%, а показники скорочення максимального потоку – від 7,43% до 19,6%, тому зелений дах може забезпечити більше гідрологічних переваг, ніж традиційна система боротьби зі зливами [20]; зелений дах був ефективним у зменшенні стоку зливових вод на 77,2%, нейтралізації кислотних відкладень і зменшенні навантаження більшості забруднюючих речовин; однак на якість води стоку серйозно вплинув ґрунтовий субстрат (тому необхідно звертати увагу на його характеристики), щоб уникнути погіршення якості стокової води [16].

Цікавими є дослідження [19], проведені на зелених дахах, екстенсивних та інтенсивних, які дозволили визначити зменшення відтоку дощової води з поверхні даху в забудованих районах, що є репрезентативним для Центральної Європи, якими визначено, що близько 44% дощової води від зливових дощів затримується в шарах зеленої покрівлі; у разі випадання опадів, що не перевищують 5 мм/добу, дощова вода повністю затримується як інтенсивними, так і екстенсивними покрівлями; значення коефіцієнта зменшення відтоку дощової води з зеленого даху становлять 0,63 (екстенсивний тип) та 0,74 (інтенсивний); у разі сильних дощів (більше 10 мм/добу) скорочення стоку зменшується на 30%; у разі мінімум 3 послідовних днів опадів скорочення стоку дощової води зменшується на 20%; за періоди щонайменше 3 послідовних сухих днів скорочення стоку дощової води збільшується на 20%. У роботі [17] також підтверджено, що затримання дощового стоку залежить від інтенсивності та тривалості дощових явищ (від 10% до 60% під час різних дощів). А більша інтенсивність опадів призводить до меншого скорочення стоку, а низьке покриття зелених

дахів відіграли оптимальну роль в умовах сильних опадів [24].

У висновках [19] наголошено, що будівництво зелених дахів на 25% будівель Центральної Європи, які могли б вмістити цей тип даху, могло б зменшити навантаження на систему дощової води в достатній мірі, щоб запобігти місцевим затопленням, а у роботі [18] відзначено, що масштабне озеленення дахів лише на 10% будівель призведе до зменшення стоку на 2,7% для Брюсселя та на 54% для окремих будівель.

Отже, зелені дахи – один із найперспективніших засобів захисту від дощової води для її уповільнення, контролю об'єму та підвищення якості. Враховуючи, що більшість міст значно забудовані, розширення традиційної міської дренажної системи для регулювання надлишкового стоку, спричиненого дощем, має обмежені можливості, тому зелені дахи є альтернативою у боротьбі зі зменшенням дощового стоку, оскільки для їх розміщення не потрібна додаткова площа землі.

5. Температура. Зелені дахи можуть знизити температуру поверхні покрівлі та температуру повітря, що безпосередньо лежить над нею, шляхом випаровування, затінення та зменшення поглинання тепла в середньому на 1,1 °C.

В роботах [29-31] відмічають зниження температури поверхні та навколишнього середовища на 5 °C, особливо влітку, що зменшує навантаження на охолодження.

6. Шум. Зелені дахи мають здатність поглинати акустичну енергію та можуть діяти як бар'єр для звуку (рис. 7).

У роботі [32] наголошено, що зелені дахи знижують рівень шуму на 10%, що, в свою чергу, може покращити психічне, фізичне та загальне здоров'я мешканців території.

7. Біорізноманіття. Створення зеленого даху може зараховуватися до створення середовища проживання на місці або за його межами згідно з показником чистого приросту біорізноманіття Defra (0,02 одиниці біорізноманіття).

8. Вартість майна. Зелені дахи можуть підвищити вартість нерухомості та орендної плати, сприяючи привабливості будівлі та надаючи доступ до рекреаційного простору. Зменшуючи шумове забруднення, знижуючи вміст забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та ізолюючи будівлі, зелені дахи також можуть покращити їх комфортність, підвищити попит, і, як наслідок, вартість (рис. 8).

9. Економія традиційної заміни даху. Встановивши зелений дах, ми заощаджуємо кошти, які б витратили на заміну та обслуговування традиційного даху (рис. 9). Зазвичай зелений дах служить вдвічі довше, ніж стандартний плоский дах. Якщо ж так сталося, що дах необхідно замінити, встановлення зеленого даху обійдеться значно дешевше.

10. Фінансові вигоди. Енергозбереження буде вищим, ніж у незадовільно ізольованому даху, а також для невисоких будівель з високою енергоємністю на квадратний метр (рис. 10). Річна економія рахунків за водовідведення становитиме 488,87 £.

Позитивний вплив на енергоспоживання будівель та мікроклімат підтверджено і в роботах [11, 12].

Орієнтовна вартість такого зеленого даху інтенсивного типу площею 50 м² для житлового двоповерхового будинку площею 240 м² становитиме від 5250 до 15150 £ (рис. 11).

Витрати на монтаж будуть порівняно нижчими, якщо ви встановлюєте великий зелений дах, якщо ваш дах уже структурно прийнятний і легкодоступний, а також якщо ви встановлюєте зелений дах великої площі.

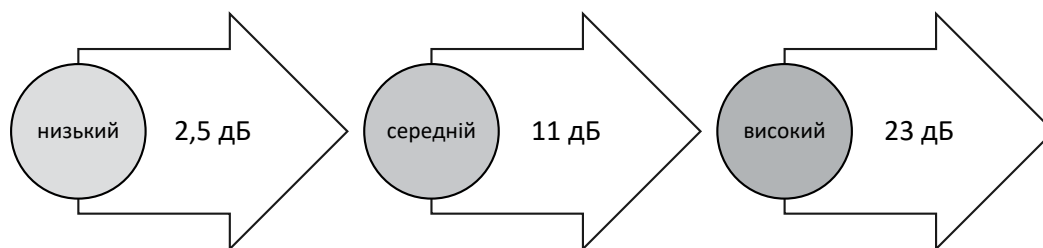


Рис. 7. Обсяги поглинання шуму

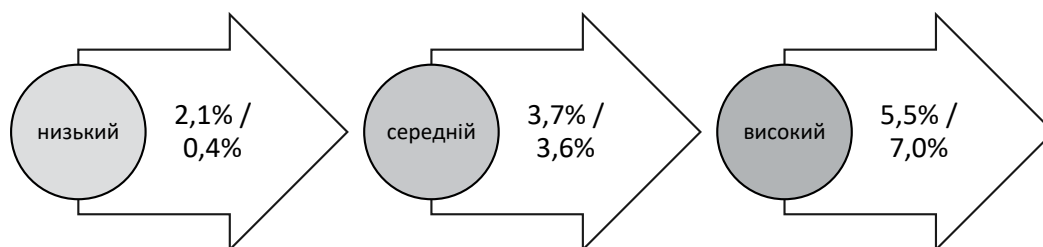


Рис. 8. Обсяги збільшення вартості майна/оренди

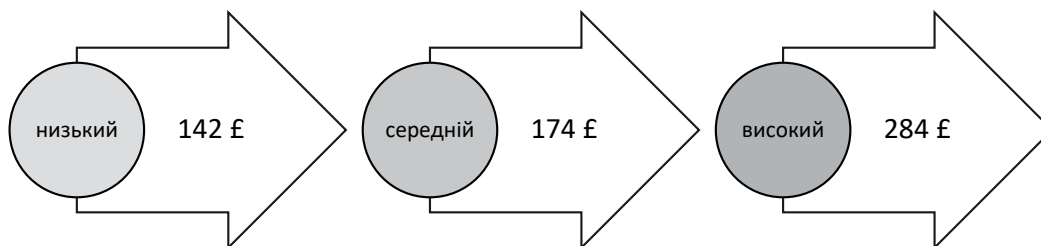


Рис. 9. Щорічна заміна даху та економія на техобслуговуванні (на основі середніх витрат на заміну звичайної покрівлі та середнього терміну служби даху)

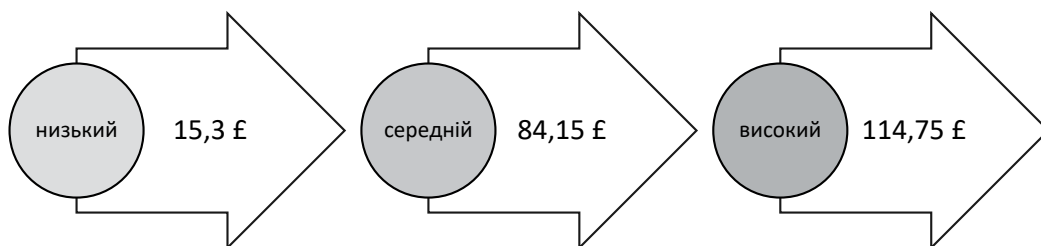


Рис. 10. Обсяги економії енергії на рік

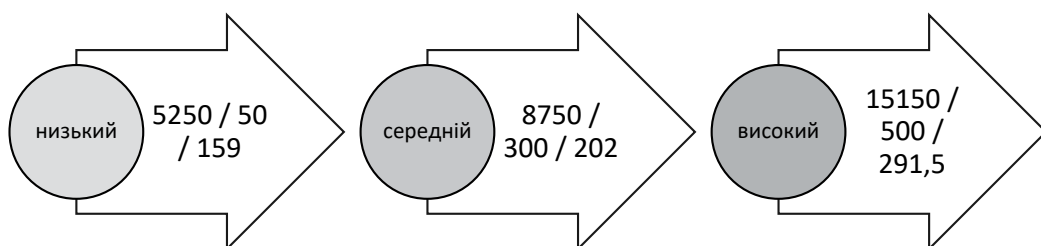


Рис. 11. Витрати на монтаж / річне технічне обслуговування / річну заміну зеленого даху, £

Зазначена вартість не включає витрати на проект (які, ймовірно, становитимуть щонайменше 10% від загальних витрат), витрати на обстеження (наприклад, інженерних конструкцій).

Витрати на технічне обслуговування будуть нижчими для великих зелених дахів або зелених дахів, які можна спроектувати так, щоб вони були максимально саморегульованими та з видами, що не потребують обслуговування (наведена на рис. 8 вартість є обмеженою, оскільки використані фіксовані одиничні витрати на м², тому для великих зелених дахів ця цифра, ймовірно, зменшиться).

Зелений дах прослужить набагато довше, ніж звичайний, але з часом (35-50 років) його доведеться замінити. Зазначену на рис. 11 вартість не потрібно буде оплачувати зараз, але вона відображає ті кошти, що потрібно буде відкладати щороку, щоб дозволити собі заміну, коли буде потрібно. Регулярне технічне обслуговування продовжить термін служби зеленого даху.

Відмітимо, що витрати коливатимуться залежно від типу зеленого даху, клімату, а також будівельних норм. Проте довгострокова економія та переваги для навколишнього середовища здатні виправдати початкові інвестиції [10].

Калькулятор, який ми використали, визначає лише деякі з багатьох переваг встановлення зеленого даху. Існує ще багато нематеріальних переваг, які він не враховує та не визначає кількісно. Наприклад, переваги зелених дахів для здоров'я та добробуту, а також додаткові переваги у результаті уникнення витрат на охорону здоров'я; підвищення продуктивності та задоволеності працівника з видом на зелені насадження та збільшення попиту на офіси із доступом до зелених насаджень; потенціал міського сільськогосподарського виробництва на зелених дахах і виробництва енергії в поєднанні з сонячними панелями.

Інформація, надана у даному дослідженні, є приблизною, оскільки розрахунки зроблені на основі переваг, повідомлених з академічних даних і відкритих джерел. Приведена інформація, перш за все, покликана сприяти на перших етапах прийняттю рішення про встановлення зеленого даху. Для більш детального дослідження потенційної можливості встановлення зеленого даху, необхідно провести обстеження конструкції даху, щоб оцінити його несучу здатність та зв'язатися зі спеціалістами (постачальниками), щоб обрати необхідний варіант.

Висновки. Зелений дах забезпечує ряд екологічних переваг. Витрати на встановлення зеленого даху коливатимуться залежно від його типу, клімату, а також будівельних норм. Проте довгострокова економія та переваги для навколишнього середовища здатні виправдати початкові інвестиції. Зелені дахи забезпечують різноманітні фінансові вигоди для будівельної галузі: підвищення енергоефективності, подовження терміну експлуатації даху, ефективне управління зливовою водою, покращення якості повітря, підвищення вартості нерухомості, фінансові стимули. Зазначені переваги в поєднанні з позитивним впливом на довкілля роблять зелені дахи привабливим варіантом для екологічно життєздатних будівельних проєктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Romanchuk L., Herasymchuk L., Valerko R., Pitsil A. Study of the demographic component quality of life of the population of the radioactively contaminated territory of the Zhytomyr region using ArcGIS Software. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 24. № 5. P. 63-75. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/163671>.
- Romanchuk L.D., Herasymchuk L.O., Kovalyova S.P., Kovalchuk Yu.V., Lopatyuk O.V. Quality of life of the population resident at the radioactively contaminated area in Zhytomyr region. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9. № 4. P. 478-485. DOI: https://doi.org/10.15421/2019_778.
- Herasymchuk L.O., Martenyuk G.M., Valerko R.A., Kravchuk M.M. Demographic and onco-epidemiological situation in radioactive contaminated territory of Zhytomyr oblast. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2019. Vol. 10. № 1. P. 32-38. DOI: <https://doi.org/10.15421/021905>.
- Герасимчук Л.О., Валерко Р.А. Інтегральний показник екологічного стану міста Житомир як основа для встановлення тенденцій його розвитку. *Innovations in the Education of the Future: Integration of Humanities, Technical and Natural Sciences : International collective monograph, FIT CTU in Prague*. 2023. С. 160-181. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10259058>.
- Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Члек О.М., Миколайчук О.В., Муляр А.П. Фінансове забезпечення сфери охорони навколишнього природного середовища в Житомирській області. *Екологічні науки*. 2023. № 4 (49). С. 153-158. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.есо.4-49.20>.
- Герасимчук Л.О. Економічний механізм забезпечення охорони навколишнього природного середовища в Житомирській області. *Вісник ЖНАЕУ*. 2017. № 2 (61), т. 1. С. 116-122. URL: http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/8791/1/VZNAEU_2017_2_116-122.pdf
- Herasymchuk L.O., Valerko R.A., Patseva I.G. Air temperature change manifestation at the Zhytomyr territory. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*. 2023. Vol. 29. P. 6-16. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-01>.
- Herasymchuk L.O., Valerko R.A. Coverage of climate change trends in Zhytomyr over a 19-year period. *Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural science: Collective monograph*. Riga: Baltija Publishing, 2020. P. 1. pp. 85-101. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/1.6>.
- Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Мартенюк Г.М. Тенденції зміни клімату на території м. Новоград-Волинський Житомирської області. *Науковий горизонт*. 2018. № 2 (65). С. 42-50. URL: [https://sciencehorizon.com.ua/web/uploads/pdf/%E2%84%962\(65\)_42-50.pdf](https://sciencehorizon.com.ua/web/uploads/pdf/%E2%84%962(65)_42-50.pdf).
- Perivoliotis D., Arvanitis I., Tzavali A., Papakostas V., Kappou S., Andreakos G., Fotiadi A., Paravantis J.A., Souliotis M., Mihalakakou G. Sustainable urban environment through green roofs: a literature review with case studies. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. № 22. 15976. DOI: <https://doi.org/10.3390/su152215976>.
- Foustalieraki M., Assimakopoulos M.N., Santamouris M., Pangalou H. Energy performance of a medium scale green roof system installed on a commercial building using numerical and experimental data recorded during the cold period of the year. *Energy Build*. 2017. Vol. 135. P. 33-38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.056>.
- Yaghoobian N., Srebric J. Influence of plant coverage on the total green roof energy balance and building energy consumption. *Energy Build*. 2015. Vol. 103. P. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.052>.
- Pugh T.A.M., MacKenzie A.R., Whyatt J.D., Hewitt C.N. Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environ. Sci. Technol*. 2012. Vol. 46. № 14. P. 7692-7699. DOI: <https://doi.org/10.1021/es300826w>.
- Tan T., Kong F., Yin H., Cook L.M., Middel A., Yang S. Carbon dioxide reduction from green roofs: A comprehensive review of processes, factors, and quantitative methods. *Renew. Sustain. Energy Rev*. 2023. Vol. 182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113412>.
- Tomson M., Kumar P., Barwise Y., Perez P., Forehead H., French K., Morawska L., Watts J.F. Green infrastructure for air quality improvement in street canyons. *Environ. Int*. 2021. Vol. 146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106288>.
- Berghage R., Beattie D., Jarrett A., Thuring C., Razaeei F. Green roofs for stormwater runoff control. *EPA/ 600/R-09/026*, 2009.
- Shafique M., Kim R., Kyung-Ho K. Green roof for stormwater management in a highly urbanized area: the case of Seoul, Korea. *Sustainability*. 2018. Vol. 10. № 3. P. 584. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10030584>.
- Mentens J., Raes D., Hermy M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*. 2006. Vol. 77. P. 217-226. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>.
- Kolasa-Więcek A., Suszanowicz D. The green roofs for reduction in the load on rainwater drainage in highly urbanised areas. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2021 Vol. 28. № 26. P. 34269-34277. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12616-3>.
- Smankasivit K., Konisranukul W. Evaluation of green roof performance in slowing down stormwater runoff in urban catchment, the case of Samut Prakan, Thailand. *Thai Environmental Engineering Journal*. 2023. Vol. 37.

- № 3. P. 9-18. URL: <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/teej/article/view/266338/180680>.
21. Park S.-Y., Oh D.-K., Lee S.-Y., Yeum K.-J., Yoon Y.-H., Ju J.-H. Combined effects of substrate depth and vegetation of green roofs on runoff and phytoremediation under heavy Rain. *Water*. 2022. Vol. 14. № 18. 2792. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14182792>.
 22. Roehr D., Kong Y. Runoff reduction effects of green roofs in Vancouver, BC, Kelowna, BC, and Shanghai, P.R. China. *Canadian Water Resources Journal*. 2010. Vol. 35. № 1. P. 53-68. DOI: <https://doi.org/10.4296/cwrj3501053>.
 23. Holanda M.A.C.R., Soares W.A., Souza A.C.L.A., Oliveira D.B.C. Green roofs: an alternative for the reduction of surface runoff in the city of Recife, PE. *AZOJETE*. 2021. Vol. 17. № 4. P. 561-568.
 24. Yang S., Xie Z., Zhao F., Jiang F., Xu T., Zhang Y., Yin S., Xu J., Yang Z., Du Q., Chen S., Zhao S., Li Y., Gao Z. Simulation of runoff reduction capacity of green roofs and their impacts on urban flooding: a case study of Beichen district, Kunming city. *Research Square*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-982645/v1>.
 25. Patnaik B., Sekhar S.T., Mathewos E., Gebreyesus T. Impact of Green Roofs on Urban Living. *International Journal of Current Engineering and Technology*. 2018. Vol.8. № 6. P. 1656-1659. DOI: <https://doi.org/10.14741/ijcet/v.8.6.21>.
 26. Culligan P., Gaffin S., McGillis W. Quantifying the quantity and quality of runoff from urban green roofs. 2013. URL: <https://people.climate.columbia.edu/projects/view/1396>.
 27. Zhang Q., Miao L., Wang X., Liu D., Zhu L., Zhou B., Sun J., Liu J. The capacity of greening roof to reduce stormwater runoff and pollution. *Landscape and Urban Planning*. 2015. Vol. 144. P. 142-150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.08.017>.
 28. Рибак О., Пацева І. Зелені дахи як елемент децентралізованого управління дощовою водою. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2023. № 2. С. 40-46. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-6>.
 29. Di Giuseppe E., D'Orazio M. Assessment of the effectiveness of cool and green roofs for the mitigation of the Heat Island effect and for the improvement of the thermal comfort in Nearly Zero Energy Building. *Archit. Sci. Rev.* 2015. Vol. 58. № 2. P. 134-143. DOI: <https://doi.org/10.1080/00038628.2014.966050>.
 30. Mutani G., Todeschi V. Roof-integrated green technologies, energy saving and outdoor thermal comfort: Insights from a case study in urban environment. *Int. J. Sustain. Dev. Plann.* 2021. Vol. 16. № 1. P. 13-23. DOI: <https://doi.org/10.18280/ijstdp.160102>.
 31. Wang X., Li H., Sodoudi S. The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal comfort. *Build. Environ.* 2022. Vol. 217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109082>.
 32. Williams K.J.H., Lee K.E., Sargent L.D., Johnson K.A., Rayner J., Farrell C., Miller R.E., Williams N.S.G. Appraising the psychological benefits of green roofs for city residents and workers. *Urban For. Urban Green*. 2019. Vol. 44. № 2-3. P. 13-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126399>.
 33. Пацева І., Алпатова О., Рибак О., Циганенко-Дзюбенко І., Медвідь О. Озеленення даху як захід по адаптації зміни клімату на прикладі м. Житомир. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2022. № 3. С. 67-74. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-3-9>.
 34. Green Roof Benefits Calculator. URL: <https://ignitiongreenroofbenefitscalculator.greatermanchester-ca.gov.uk/default.cshhtml>.
 35. Green roof market size worldwide in 2022, by country. URL: <https://www.statista.com/statistics/1379028/green-roof-market-size-worldwide-by-country>.

REFERENCES:

1. Romanchuk L., Herasymchuk L., Valerko R., Pitsil A. (2023). Study of the demographic component quality of life of the population of the radioactively contaminated territory of the Zhytomyr region using ArcGIS Software. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24(5), 63-75. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/163671>.
2. Romanchuk L.D., Herasymchuk L.O., Kovalyova S.P., Kovalchuk Yu.V., Lopatyuk O.V. (2019). Quality of life of the population resident at the radioactively contaminated area in Zhytomyr region. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(4), 478-485. DOI: https://doi.org/10.15421/2019_778.
3. Herasymchuk L.O., Martenyuk G.M., Valerko R.A., Kravchuk M.M. (2019). Demographic and onco-epidemiological situation in radioactive contaminated territory of Zhytomyr oblast. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 10(1), 32-38. DOI: <https://doi.org/10.15421/021905>.
4. Herasymchuk L.O., Valerko R.A. (2023). Intehralnyi pokaznyk ekolohichnoho stanu mista Zhytomyr yak osnova dlia vstanovlennia tendentsii yoho rozvytku [An integral indicator of the ecological state of the city of Zhytomyr as a basis for establishing trends in its development]. *Innovations in the Education of the Future: Integration of Humanities, Technical and Natural Sciences* : International collective monograph, FIT CTU in Prague, 160-181. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10259058>. [in Ukrainian].
5. Herasymchuk L.O., Valerko R.A., Chlek O.M., Mykolaichuk O.V., Muliar A.P. (2023). Finansove zabezpechennia sfery okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Zhytomyrskii oblasti [Financial security of the sphere of environmental protection in the Zhytomyr region]. *Ekolohichni nauky [Ecological Sciences]*, 4(49), 153-158. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.20>. [in Ukrainian].
6. Herasymchuk L.O. (2017). Ekonomichni mekhanizm zabezpechennia okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Zhytomyrskii oblasti [Economic mechanism of providing natural environment preservation in Zhytomyr oblast]. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu [Bulletin of the Zhytomyr National Agroecological University]*, 2(61), 16-122. Available at: http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/8791/1/VZNAEU_2017_2_116-122.pdf. [in Ukrainian].
7. Herasymchuk L.O., Valerko R.A., Patseva I.G. (2023). Air temperature change manifestation at the Zhytomyr territory. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, 29, 6-16. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-01>.
8. Herasymchuk L.O., Valerko R.A. (2020). Coverage of climate change trends in Zhytomyr over a 19-year

- period. Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural science: Collective monograph. Riga: Baltija Publishing, 85-101. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/1.6>.
9. Herasymchuk L.O., Valerko R.A., Marteniuk H.M. (2018). Tendentsii zminy klimatu na terytorii m. Novohrad-Volynskiyi Zhytomyrskoi oblasti [Climate change tendencies on the territory of the city of Novohrad-Volynskiyi in Zhytomyr region]. *Naukovi horyzonty* [Scientific Horizons], 2(65), 42-50. Available at: [https://sciencehorizon.com.ua/web/uploads/pdf/%E2%84%962\(65\)_42-50.pdf](https://sciencehorizon.com.ua/web/uploads/pdf/%E2%84%962(65)_42-50.pdf). [in Ukrainian].
 10. Perivoliotis D., Arvanitis I., Tzavali A., Papakostas V., Kappou S., Andreakos G., Fotiadi A., Paravantis J.A., Souliotis M., Mihalakakou G. (2023). Sustainable urban environment through green roofs: a literature review with case studies. *Sustainability*, 15(22), 15976. DOI: <https://doi.org/10.3390/su152215976>.
 11. Foustalieraki M., Assimakopoulos M.N., Santamouris M., Pangalou H. (2017). Energy performance of a medium scale green roof system installed on a commercial building using numerical and experimental data recorded during the cold period of the year. *Energy Build*, 135, 33–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.056>.
 12. Yaghoobian N., Srebric J. (2015). Influence of plant coverage on the total green roof energy balance and building energy consumption. *Energy Build*, 103, 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.052>.
 13. Pugh T.A.M., MacKenzie A.R., Whyatt J.D., Hewitt C.N. (2012). Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environ. Sci. Technol*, 46(14), 7692–7699. DOI: <https://doi.org/10.1021/es300826w>.
 14. Tan T., Kong F., Yin H., Cook L.M., Middel A., Yang S. (2023). Carbon dioxide reduction from green roofs: A comprehensive review of processes, factors, and quantitative methods. *Renew. Sustain. Energy Rev*, 182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113412>.
 15. Tomson M., Kumar P., Barwise Y., Perez P., Forehead H., French K., Morawska L., Watts J.F. (2021). Green infrastructure for air quality improvement in street canyons. *Environ. Int*, 146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106288>.
 16. Berghage R., Beattie D., Jarrett A., Thuring C., Razaeei F. (2009). Green roofs for stormwater runoff control. *EPA/600/R-09/026*.
 17. Shafique M., Kim R., Kyung-Ho K. (2018). Green roof for stormwater management in a highly urbanized area: the case of Seoul, Korea. *Sustainability*, 10(3), 584. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10030584>.
 18. Mentens J., Raes D., Hermy M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77, 217-226. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>.
 19. Kolasa-Więcek A., Suszanowicz D. (2021). The green roofs for reduction in the load on rainwater drainage in highly urbanised areas. *Environ Sci Pollut Res Int*, 28(26), 34269-34277. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12616-3>.
 20. Smankasivit K., Konisranukul W. (2023). Evaluation of green roof performance in slowing down stormwater runoff in urban catchment, the case of Samut Prakan, Thailand. *Thai Environmental Engineering Journal*, 37(3), 9-18. Available at: <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/teej/article/view/266338/180680>.
 21. Park S.-Y., Oh D.-K., Lee S.-Y., Yeum K.-J., Yoon Y.-H., Ju J.-H. (2022). Combined effects of substrate depth and vegetation of green roofs on runoff and phytoremediation under heavy Rain. *Water*, 14(18), 2792. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14182792>.
 22. Roehr D., Kong Y. (2010). Runoff reduction effects of green roofs in Vancouver, BC, Kelowna, BC, and Shanghai, P.R. China. *Canadian Water Resources Journal*, 35(1), 53-68. DOI: <https://doi.org/10.4296/cwrj3501053>.
 23. Holanda M.A.C.R., Soares W.A., Souza A.C.L.A., Oliveira D.B.C. (2021). Green roofs: an alternative for the reduction of surface runoff in the city of Recife, PE. *AZIJETE*, 17(4), 561-568.
 24. Yang S., Xie Z., Zhao F., Jiang F., Xu T., Zhang Y., Yin S., Xu J., Yang Z., Du Q., Chen S., Zhao S., Li Y., Gao Z. (2022). Simulation of runoff reduction capacity of green roofs and their impacts on urban flooding: a case study of Beichen district, Kunming city. *Research Square*. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-982645/v1>.
 25. Patnaik B., Sekhar S.T., Mathewos E., Gebreyesus T. (2018). Impact of Green Roofs on Urban Living. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 8(6), 1656-1659. DOI: <https://doi.org/10.14741/ijcet/v.8.6.21>.
 26. Culligan P., Gaffin S., McGillis W. (2013). Quantifying the quantity and quality of runoff from urban green roofs. Available at: <https://people.climate.columbia.edu/projects/view/1396>.
 27. Zhang Q., Miao L., Wang X., Liu D., Zhu L., Zhou B., Sun J., Liu J. (2015). The capacity of greening roof to reduce stormwater runoff and pollution. *Landscape and Urban Planning*, 144, 142-150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.08.017>.
 28. Rybak O., Patseva I. (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. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-6>. [in Ukrainian].
 29. Di Giuseppe E., D'Orazio M. (2015). Assessment of the effectiveness of cool and green roofs for the mitigation of the Heat Island effect and for the improvement of thermal comfort in Nearly Zero Energy Building. *Archit. Sci. Rev.*, 58(2), 134–143. DOI: <https://doi.org/10.1080/00038628.2014.966050>.
 30. Mutani G., Todeschi V. (2021). Roof-integrated green technologies, energy saving and outdoor thermal comfort: Insights from a case study in urban environment. *Int. J. Sustain. Dev. Plann*, 16(1), 13–23. DOI: <https://doi.org/10.18280/ijstdp.160102>.
 31. Wang X., Li H., Sodoudi S. (2022). The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal comfort. *Build. Environ.*, 217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109082>.
 32. Williams K.J.H., Lee K.E., Sargent L.D., Johnson K.A., Rayner J., Farrell C., Miller R.E., Williams N.S.G. (2019). Appraising the psychological benefits of green roofs for city residents and workers. *Urban For. Urban*

- Green, 44(2-3), 13-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126399>.
33. Patseva I., Alpatova O., Rybak O., Tsyhanenko-Dziubenko I., Medvid O. (2022). Ozelenennia dakhu yak zakhid po adaptatsii zminy klimatu na prykladi m. Zhytomyr [Rooftop gardening as an adaption measure of the climate changes a case study of Zhytomyr]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku [Problems of Chemistry and Sustainable Development]*, 3, 67-74. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-3-9>. [in Ukrainian].
34. Green Roof Benefits Calculator. Available at: <https://ignitiongreenroofbenefitscalculator.greatermanchester-ca.gov.uk/default.cshtml>.
35. Green roof market size worldwide in 2022, by country. Available at: <https://www.statista.com/statistics/1379028/green-roof-market-size-worldwide-by-country>.

Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Весельський О.О.
Переваги зелених дахів та їх розрахунок

Метою дослідження був розрахунок переваг зеленого даху.

Методи. Інформаційною базою досліджень став калькулятор переваг зеленого даху, вихідними даними до якого стала інформація про тип будівлі (житлова), кількість поверхів (2), її площу (240 м²), характеристики даху (площа – 110 м², кут – 5–15°, тип – ломаний, орієнтація – північ), площу ділянки, де розташований будинок (600 м²), а також площу (50 м²) та тип зеленого даху (інтенсивний). Оцінка вигод і витрат представлені окремо як одноразові витрати чи вигоди (наприклад, підвищення вартості нерухомості), річні показники (наприклад, енергозбереження) та діапазон за категоріями (для зазначення потенційної варіації від високого або найкращого варіанту, помірною або середнього до найнижчого або мінімального на основі даних, які ми маємо).

Результати. Використання калькулятора зеленого даху дозволило визначити орієнтовну вартість зеленого даху інтенсивного типу – від 5250 до 15150 £; ряд екологічних переваг для власників, мешканців і користувачів будівель: енергозбереження (92,73–695,45 кВт/год на рік), зменшення викидів вуглекислого газу за рахунок зменшення споживання енергії для опалення та охолодження (21,05–157,89 кг CO₂ екв рік), секвестрацію вуглецю (2,5–125 кг CO₂ екв рік), покращення якості атмосферного повітря шляхом поглинання діоксиду азоту (13,5–22 кг NO₂ рік) та твердих частинок (10,0 кг/год), затримка дощової води (51–89%), зменшення поглинання тепла в середньому на 1,1 °С, поглинання акустичної енергії (2,5–23 дБ); ряд фінансових переваг: підвищення вартості нерухомості (на 2,1–5,5%) та орендної плати (на 0,4–7,0%), сприяючи привабливості будівлі та надаючи доступ до рекреаційного простору, економія традиційної заміни даху (142–284 £), річна економія коштів за комунальні послуги (використання енергії – від 15,3 до 114,75 £, водовідведення – 488,87 £).

Калькулятор, який ми використали, визначає лише деякі з багатьох переваг встановлення зеленого даху. Існує ще багато нематеріальних переваг, які він не враховує та не визначає кількісно. Інформація, надана у даному дослідженні, є приблизною, оскільки розрахунки зроблені на основі переваг, повідомлених з академічних даних і відкритих джерел. Приведена інформація, перш за все, покликана сприяти на перших етапах прийняттю рішення про встановлення зеленого даху.

Висновки. Зелені дахи є одними з найбільш придатними видами зеленої інфраструктури для густо урбанізованих територій та щільної житлової забудови, оскільки їх можна включати як у нове будівництво або ж додавати до існуючого під час реконструкції чи заміни даху. Зелений дах забезпечує ряд екологічних та фінансових переваг. Витрати на встановлення зеленого даху коливатимуться залежно від його типу, клімату, а також будівельних норм. Проте довгострокова економія та переваги для навколишнього середовища здатні виправдати початкові інвестиції. Зелені дахи забезпечують різноманітні фінансові вигоди для будівельної галузі: підвищення енергоефективності, подовження терміну експлуатації даху, ефективне управління зливовою водою, покращення якості повітря, підвищення вартості нерухомості, фінансові стимули. Зазначені переваги в поєднанні з позитивним впливом на довкілля роблять зелені дахи привабливим варіантом для екологічно життєздатних будівельних проєктів. Враховуючи зазначене, зелені дахи відіграють важливу роль у забезпеченні стійкості міського середовища.

Ключові слова: зелені дахи, дощовий стік, калькулятор переваг, екологічні переваги, фінансові вигоди.

Herashchuk L.O., Valerko R.A., Veselskyi O.O.
Advantages of green roofs and their calculation

The purpose of the study was to calculate the benefits of a green roof.

Methods. The information base of the research was a calculator of the advantages of a green roof, the source data of which was information about the type of building (residential), the number of floors (2), its area (240 m²), characteristics of the roof (area – 110 m², angle – 5–150, type – broken, orientation – north), the area of the plot where the house is located (600 m²), as well as the area (50 m²) and the type of green roof (intensive). Estimates of benefits and costs are presented separately as one-time costs or benefits (e.g. increased property value), annual figures (e.g. energy savings) and range by category (to indicate potential variation from high or best option, moderate or medium to lowest or minimum based on data we have).

The results. Using the green roof calculator made it possible to determine the estimated cost of an intensive type green roof – from £ 5250 to £ 15150; a number of environmental benefits for owners, residents and users of buildings: energy savings (92.73–695.45 kWh per year), reduction of carbon dioxide emissions due to reduction of energy consumption for heating and cooling (21.05–157.89 kg of CO₂ eq year), carbon sequestration (2.5–125 kg CO₂ eq year), improvement of atmospheric air quality by absorption of nitrogen dioxide (13.5–22 kg NO₂ year) and solid particles (10.0 kg/h), delay of rain water (51–89%), reduction of heat absorption by an average of 1.1 °C, absorption of acoustic energy (2.5–23 dB); a number of financial benefits: increase in real estate value (by 2.1–5.5%) and rent (by 0.4–7.0%), contributing to the attractiveness of the building and providing access to recreational space, savings on traditional roof replacement (£142–£284), annual utility savings (energy use – from £15.3 to £114.75, drainage – £488.87).

The calculator we used identifies just a few of the many benefits of installing a green roof. There are many more intangible benefits that he does not consider or quantify. The information provided in this study is approximate as the calculations are based on benefits reported from academic data and open sources. Above all, the given information is

intended to help in the first stages of making a decision about installing a green roof.

Conclusions. Green roofs are one of the most suitable types of green infrastructure for densely urbanized areas and dense residential development, as they can be incorporated either in new construction or added to an existing one during roof renovation or replacement. A green roof provides a number of environmental and financial benefits. Green roof installation costs will vary depending on its type, climate, and building codes. However, the long-term savings and environmental benefits can justify the initial

investment. Green roofs provide a variety of financial benefits to the construction industry: increased energy efficiency, extended roof life, effective stormwater management, improved air quality, increased property value, and financial incentives. These advantages, combined with a positive impact on the environment, make green roofs an attractive option for environmentally sustainable construction projects. Given the above, green roofs play an important role in ensuring the sustainability of the urban environment.

Key words: green roofs, stormwater runoff, benefits calculator, environmental benefits, financial benefits.