

ЗЕЛЕНІ ПОКРІВЛІ ТА ФАСАДИ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі представлено проєкт реконструкції шкільної будівлі з упровадженням зеленої покрівлі та вертикальних озелених фасадів як засобів підвищення енергоефективності й екологічної стійкості. Зелена покрівля виконує теплоізоляційну, водоутримувальну й рекреаційну функції, а озеленені фасади поліпшують мікроклімат і акустичний комфорт. Проєкт відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021, ДСТУ 9190:2022 і принципам сталого розвитку, формуючи сучасне енергоефективне та екологічно безпечне навчальне середовище.

Ключові слова: реконструкція школи, зелена покрівля, озеленений фасад, енергоефективність, сталий розвиток.

Abstracts

The paper presents a project for the reconstruction of a school building that integrates a green roof and vertical green façades as effective means of improving energy efficiency and environmental sustainability. The green roof performs thermal insulation, water retention, and recreational functions, while the green façades enhance the microclimate and acoustic comfort. The project complies with the requirements of DBN V.2.6-31:2021, DSTU 9190:2022, and the principles of sustainable development, creating a modern, energy-efficient, and environmentally safe educational environment.

Key words: school reconstruction, green roof, green façade, energy efficiency, sustainable development.

Вступ

Зелені покрівлі та фасади виступають ефективним інструментом підвищення екологічності будівель навчальних закладів під час реконструкції. Їх упровадження спрямоване на формування стійкого мікроклімату, зниження енергоспоживання, очищення повітря і створення комфортного навчального середовища. Ці системи поєднують інженерно-конструктивні, біологічні та естетичні функції, забезпечуючи гармонійне поєднання архітектури й природи.

Зелена покрівля є багатошаровою конструкцією, яка складається з теплоізоляційного, гідроізоляційного, дренажного, фільтраційного шарів і шару рослинного покриву. У реконструйованих шкільних будівлях найдоцільніше застосовувати екстенсивні або напівінтенсивні системи, що мають незначну товщину субстрату (10–20 см) і невелику вагу (100–200 кг/м²) [1, 2]. Такі системи не потребують складного догляду, але забезпечують значний енергетичний ефект і підвищення довговічності покриття.

Результати дослідження

У реконструйованих навчальних будівлях доцільним є застосування екстенсивних або напівінтенсивних систем із невеликою товщиною субстрату, які не потребують складного догляду й не створюють надмірного навантаження на перекриття. Вони виконуються з використанням сучасних матеріалів: полімерних мембран з антикореневим покриттям, теплоізоляції з екструдованого пінополістиролу або PIR-плит, легких мінеральних субстратів на основі перліту та вермікуліту, а також геотекстильних дренажних прошарків [3]. Така система зменшує температуру зовнішньої поверхні даху влітку на 25–35 °С, скорочує тепловтрати через покриття на 20–28 % і водночас забезпечує акумулювання до 80–90 % атмосферних опадів, які поступово випаровуються, формуючи природне охолодження (табл. 1, рис. 1). Це дозволяє знизити навантаження на зливі системи й водночас стабілізувати мікроклімат внутрішніх приміщень [4–8].

Зелена покрівля створює також природне охолодження приміщень у літній період. За результатами тепловізійного моніторингу реконструйованих навчальних корпусів улітку температура зовнішньої

поверхні зеленої покрівлі не перевищує +35 °С, тоді як традиційне покриття прогрівається до +70 °С [9-12]. Це дозволяє зменшити потребу у кондиціонуванні та покращити енергетичний баланс будівлі.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики покрівельних систем навчальних будівель

Показник	Звичайна покрівля	Екстенсивна зелена покрівля	Напівінтенсивна зелена покрівля
Товщина субстрату, см	–	5–15	15–25
Вага системи, кг/м²	70–120	100–180	200–350
Опір теплопередачі, м²·°С/Вт	2,6–3,0	4,3–4,5	4,8–5,0
Температура зовнішньої поверхні влітку, °С	70–75	35–40	30–32
Річне енергоспоживання будівлі, кВт·год/м²	210	160	140
Зниження викидів CO ₂ , %	–	25	30–35
Водоутримання, %	5–10	70–80	80–90

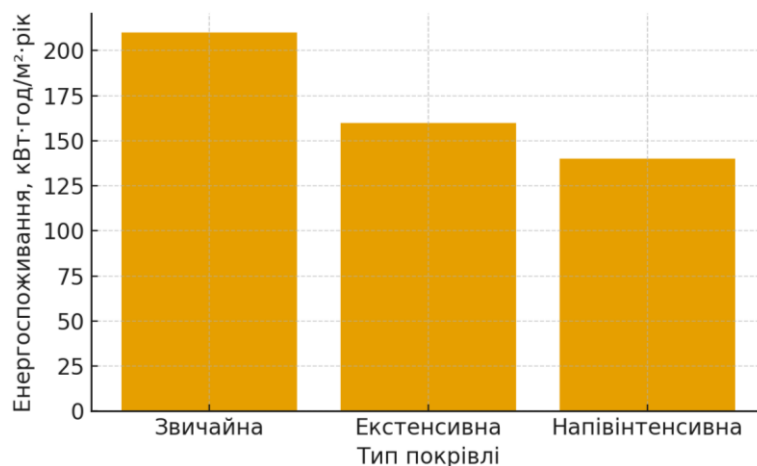


Рис. 1 – Вплив типу покрівлі на річне енергоспоживання будівлі

Окрім енергетичної, зелена покрівля виконує й соціально-екологічну функцію. На поверхні даху можна створювати навчально-рекреаційні майданчики, зони відпочинку та міні-сади, які формують позитивний психологічний ефект для учнів і вчителів.

У комплексі з покрівлею важливе місце посідає вертикальне озеленення фасадів. Зелені фасади (або біофасади) виконуються у вигляді решітчастих або модульних систем, на яких закріплюються рослини із системою зрошення [13]. Для реконструкції навчальних будівель найбільш ефективними є легкі касетні конструкції з автоматичним поливом, що не потребують значного догляду.

Як свідчать дані, застосування зелених фасадів дозволяє зменшити температуру стін у спекотний період на 10–15 °С, підвищити теплоізоляційні властивості на 35–40 % і знизити рівень шуму в класних приміщеннях до 12 дБ [14-15]. Крім того, рослинний покрив виконує фільтраційну функцію – він здатен утримувати пил і шкідливі гази, що особливо важливо для шкіл, розташованих біля транспортних магістралей (табл. 2). Графік на рис. 2 демонструє зміну температури поверхні фасаду протягом літнього дня для звичайної й зеленої систем. Для традиційного фасаду крива піднімається до 65–70 °С у полудень, тоді як для зеленого фасаду максимальне значення не перевищує 50 °С.

Таблиця 2 – Порівняння показників звичайного та зеленого фасаду

Показник	Звичайний фасад	Зелений фасад
Середня температура зовнішньої поверхні влітку, °С	65	45–50
Опір теплопередачі, м²·°С/Вт	2,8	4,0
Зменшення шумового навантаження, дБ	–	8–12
Поглинання CO ₂ , кг/м²·рік	–	2–3
Поліпшення якості повітря, %	–	30–40

Завдяки такому ефекту рослинність стабілізує тепловий режим і зменшує навантаження на системи вентиляції. Додатково відбувається природне зволоження повітря, а візуальне сприйняття шкільної будівлі стає м'якішим і природнішим.

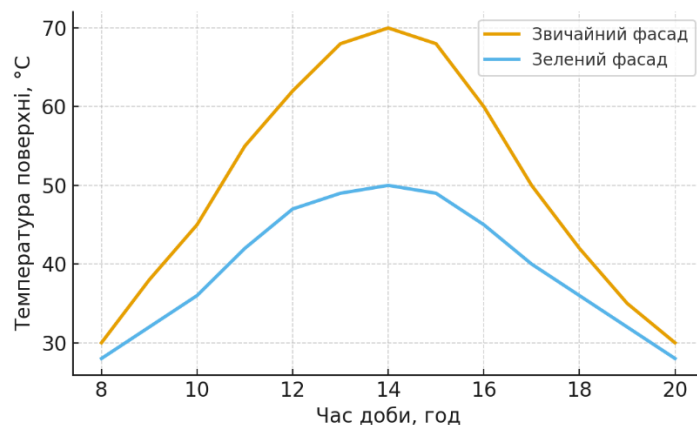


Рис. 2 – Динаміка температури поверхні фасаду залежно від типу озеленення

Комплексне поєднання зеленої покрівлі та фасаду формує біокліматичну оболонку навчального об'єкта. Моделювання показало, що при їх одночасному застосуванні питомі тепловтрати зменшуються на 35 %, а середньорічне енергоспоживання скорочується до 130–140 кВт·год/м²·рік. Екологічний ефект полягає також у зменшенні викидів CO₂ на 30–40 %, покращенні акустичного комфорту і якості внутрішнього повітря [16]. Графік на рис. 3 відображає сукупний вплив зелених технологій на енергетичні та екологічні показники будівель до та після реконструкції. Після реконструкції енергоспоживання зменшується на 35 %, тепловтрати – на 30 %, викиди CO₂ – на 40 %, рівень шуму – на 20 %, а якість внутрішнього повітря зростає на 40 %. Це свідчить про комплексний позитивний ефект від інтеграції зелених покрівель і фасадів у систему реконструкції навчальних будівель.

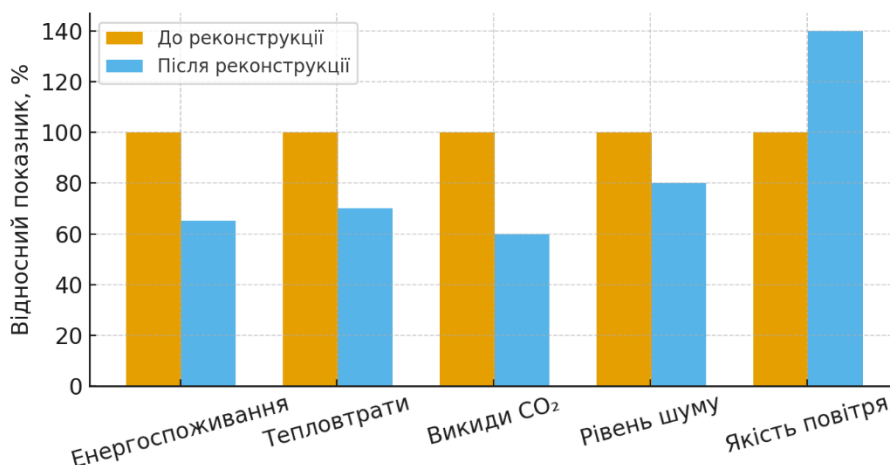


Рис. 3 – Порівняльна оцінка екологічних показників будівель до та після реконструкції

Таким чином, зелені покрівлі та фасади є не лише декоративними або енергозберігаючими елементами, а повноцінними функціональними системами, які визначають рівень екологічності реконструйованих освітніх будівель. Їх упровадження відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021, ДСТУ 9190:2022 і концепції сталого розвитку, сприяючи створенню здорового та комфортного середовища для учнів і педагогів.

Проектне рішення реконструкції школи із впровадженням зелених покрівель і фасадів

Проект реконструкції будівлі школи у м. Буча Київської обл., наведений на рис. 4, спрямований на підвищення енергоефективності, екологічності та комфортності освітнього середовища відповідно до сучасних принципів сталого будівництва. Архітектурно-планувальне рішення поєднує функціональну модернізацію простору з упровадженням «зелених» технологій – озелених покрівель, вертикальних фасадів та рекреаційних зон для учнів.

Реконструйована будівля зберігає чітку прямокутну геометрію, проте набуває нової виразності завдяки поєднанню натуральної фактури цегли з елементами вертикального озеленення. На фасадах

передбачено системи «живих стін» із виткими рослинами, які знижують перегрів поверхонь улітку, поліпшують якість повітря й створюють привабливий природний образ будівлі (табл. 3).



Рис. 5 – Візуалізації проекту рішення озеленення будівлі школи при реконструкції

Таблиця 3 – Сукупний екологічний ефект

Показник	До реконструкції	Після реконструкції	Ефект
Енергоспоживання, кВт·год/м²·рік	210	140	–33 %
Викиди CO ₂ , т/рік	302	201	–101 т (–33 %)
Водоутримання, м³/рік	50	435	× 8,7
Температура даху, °C	72	38	–34
Рівень шуму, дБ	70	58	–12
Якість повітря, %	100	135	+35 %

Особливістю проекту є експлуатована зелена покрівля, що перетворена на багатофункціональний простір. На даху передбачено зони відпочинку з озеленими островцями, місця для групової роботи учнів, майданчики для проведення уроків просто неба. Ландшафтне рішення поєднує декоративні трави, низькорослі чагарники, сидячі місця та тіньові навіси. Уздовж периметра розташовані вбудовані клумби, що утворюють природний бар'єр і покращують мікроклімат простору.

Вертикальні зелені елементи фасадів доповнені автоматичною системою зрошення, яка забезпечує оптимальну вологість рослинності. У нижній частині будівлі передбачено прозорі вітражні вікна з енергоефективним склопакетом, що підвищує природну освітленість класів і зменшує споживання електроенергії.

Архітектурний образ школи поєднує технологічну простоту з екологічною виразністю. Зелена покрівля і фасади формують новий тип навчального простору, у якому природа стає невід'ємною частиною освітнього процесу. Проект відповідає принципам стійкої архітектури, сприяє енергозбереженню, покращенню мікроклімату та вихованню екологічної культури серед учнів.

Висновки

Аналіз результатів дослідження свідчить про комплексний позитивний ефект від реалізації проектного рішення. Після реконструкції спостерігається зниження питомого енергоспоживання з 210 до 140 кВт·год/м²·рік, що відповідає економії 33 % енергії. Завдяки цьому річний обсяг викидів CO₂ зменшився приблизно на 101 тону, що дорівнює річному вуглецевому сліду понад двадцяти легкових автомобілів. Завдяки водоутримувальній здатності зеленої покрівлі, обсяг акумульованих атмосферних опадів зріс у 8–9 разів – до 435 м³ на рік, що істотно знижує навантаження на міські зливові мережі та сприяє природному охолодженню середовища. Температура поверхні покрівлі влітку зменшилася з 72 °C до 38 °C, а рівень шуму у верхніх поверхах – із 70 дБ до 58 дБ, що підвищує акустичний комфорт навчального процесу.

Окрім енергетичних показників, покращились і параметри мікроклімату: вологість і якість внутрішнього повітря зросли приблизно на 35 %, що позитивно впливає на самопочуття учнів і педагогів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мандрика А. С. Енергоефективні технології : навчальний посібник. Сумський державний університет, 2021. 330 с.
2. Зелена покрівля: екстенсивне та інтенсивне озеленення. URL: <https://www.greengarth.com.ua/blog/landshaftnyj-dyzajn/zelena-pokrivlya-ekstensyvne-ta-intensyvne-ozelenennya/>
3. Системи зеленої покрівлі. URL: <https://gidex.com.ua/budivnytstvo-zelenykh-dakhiv/>
4. Суржикова Д. Ю., Ковальський В. П. Сучасні тенденції проєктування зелених покрівель об'єктів цивільної забудови. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/42199/20995.pdf?sequence=>
5. Гавдера С., Андрійв Х. Зелена покрівля. Мат-ли VII Міжнародної студентської наук.-техн. конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2024. С. 240-241. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/44907/2/VII_MCNTK_2024_Havdera_S-Green_roof_240-241.pdf
6. Організація та експлуатація зеленої покрівлі. URL: https://vipmdh.com.ua/uk/blog/tekhnologiyi-budivnictva/organizaciya-ta-ekspluataciya-zelenoyi-pokrivli?srsId=AfmBOoo7PK8ph_4pwjd92IX73f_LL9qR9oKePHgjB5TzQDRyJ9ftdXDR
7. Bevilacqua, P., Mazzeo, D., Arcuri, N. Thermal inertia assessment of vegetated roofs for building energy performance improvement. *Energies*. 2023. Vol. 18(12), 3215. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18123215>
8. Gagliano A., Detommaso M., Nocera F., Patania F., Aneli S. The Retrofit of Existing Buildings Through the Exploitation of the Green Roofs – A Simulation Study. *Energy Procedia*. 2014. Vol. 62. P. 52–61. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.12.366
9. Vijayaraghavan, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 57. P. 740–752.
10. Savi, F., Masullo, M., Chieffo, N., Pisello, A. L. Life cycle assessment of green roofs for sustainable urban buildings: comparative approach. *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 46. Article 103761.
11. Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C. H., Riffat, S., Saadatian, E. A review of energy aspects of green roofs. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 23. P. 155–168.
12. Wong, N. H., Cheong, D. K. W., Yan, H. The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. *Energy and Buildings*. 2003. Vol. 35(4). P. 353–364.
13. Шарлай О. В. Вертикальне озеленення фасадів як засіб гуманізації міського архітектурного середовища. *Український мистецтвознавчий дискурс*, вип. 1, Березень 2025, С. 218-224. doi:10.32782/uad.2025.1.24.
14. Will Ing. Is the boom in green roofs and living walls good for sustainability? *The Architects' Journal*. 2021. URL: <https://www.architectsjournal.co.uk/news/is-the-boom-in-green-roofs-and-living-walls-good-for-sustainability>
15. Berardi U., Ghaffarian Hoseini A., State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*. Elsevier. 2014. P. 411–428.
16. Pérez-Urrestarazu L., Fernández-Cañero. R., Franco-Salas. A. Vertical Greening Systems and Sustainable Cities. *Journal of Urban Technology*. 2016. P. 65–85. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10630732.2015.1073900>

Слюсар Ірина Олександрівна – студентка групи Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Бондар Альона Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

Slusar Iryna – student of group B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Bondar Alena – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua