

ІНТЕГРАЦІЯ ПРИРОДООРІЄНТОВАНИХ РІШЕНЬ У МІСЬКІ ЕКОСИСТЕМИ В УМОВАХ СТІМКОЇ УРБАНІЗАЦІЇ ТА ЗМІН КЛІМАТУ

Наталія Дудяк

Херсонський державний аграрно-економічний університет, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2746-1910>

Ірина Баруліна

Херсонський державний аграрно-економічний університет, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3408-0063>

Денис Барулін

Херсонський державний аграрно-економічний університет, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2904-2023>

Дудяк, Н., Баруліна, І., & Барулін, Д. (2024). Інтеграція природоорієнтованих рішень у міські екосистеми в умовах стрімкої урбанізації та змін клімату. *Journal of Innovations and Sustainability*, 8(1), 10. <https://doi.org/10.51599/is.2024.08.01.10>.

Мета. Метою дослідження є огляд сучасного стану інтеграції природоорієнтованих рішень у міські екосистеми, що може протистояти негативним наслідкам урбанізації та сприяти циркулярній економіці через надання екосистемних послуг.

Результати. Установлено, що природоорієнтовані рішення відкривають перспективи для вирішення різноманітних проблем, спричинених негативними наслідками урбанізації та змінами клімату, починаючи від втрати біорізноманіття й закінчуючи створенням сталого міського середовища та розвитком «зелених» економічних можливостей. Проаналізовано три масштаби впровадження природоорієнтованих рішень у забудованому середовищі: «зелені» будівельні матеріали, системи озеленення будівель і «зелені» міські ділянки. Доведено, що вони є цінними інструментами для забезпечення багатьох переваг для міських екосистем і можуть ефективно допомагати в боротьбі з наслідками зміни клімату, стимулювати розвиток місцевої економіки та сприяти сталому розвитку. Однак установлено, що для успішної імплементації таких рішень необхідно проводити додаткові дослідження та моніторинг, ураховуючи різні аспекти, такі як екологічні, економічні та соціальні. Оцінка витрат і вигод, а також участь широкого спектру зацікавлених сторін є ключовими елементами успішного впровадження природоорієнтованих рішень у містах.

Наукова новизна. Визначено необхідність розглядати різні рівні впровадження природоорієнтованих рішень у забудованому середовищі як частину цілісної міської мережі, що сприяє переходу до циркулярної економіки та створенню стійких й ефективних міських середовищ. Інтеграція підходів циркулярної економіки дозволить підвищити ефективність, достатність й узгодженість природоорієнтованих рішень. Уперше проведено комплексний аналіз інтеграції природоорієнтованих рішень («зелені» будівельні матеріали, системи озеленення будівель і «зелені» міські ділянки) у міські екосистеми в умовах швидкої урбанізації та зміни клімату, узагальнено позитивний вплив і можливі негативні наслідки від їх упровадження. Запропоновано практичні рекомендації щодо методів планування та оцінки витрат на впровадження природоорієнтованих ініціатив, що враховують широкий спектр екологічних, економічних і соціальних аспектів.

Практична цінність. Розглянуті природоорієнтовані рішення слугуватимуть базою для розробки політик сталого розвитку міського середовища у повоєнному відновленні України: вони можуть стати основою для відновлення екосистем і природних ресурсів; забезпечити соціальну взаємодію серед мешканців міста; стати стимулом для розвитку нових економічних можливостей у постраждалих містах (розвиток міського фермерства, залучення інвестицій і створення нових робочих місць); стануть частиною загального процесу відновлення міської інфраструктури, включаючи біомімікрію в архітектурному дизайні та використання екологічних будівельних матеріалів.

Ключові слова: сталий розвиток, циркулярна економіка, «зелене» будівництво, системи озеленення будівель, міське фермерство, забудоване міське середовище.

INTEGRATION OF NATURE-BASED SOLUTIONS INTO URBAN ECOSYSTEMS IN THE CONTEXT OF RAPID URBANISATION AND CLIMATE CHANGE

Nataliia Dudiak

Kherson State Agrarian and Economic University, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2746-1910>

Iryna Barulina

Kherson State Agrarian and Economic University, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3408-0063>

Denys Barulin

Kherson State Agrarian and Economic University, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2904-2023>

Purpose. The aim of the study is to review the current state of integration of nature-based solutions into urban ecosystems, which can counteract the negative consequences of urbanisation and contribute to the circular economy by providing ecosystem services.

Results. The conducted study has revealed that nature-based solutions offer prospects for addressing various problems caused by the negative impacts of urbanisation and climate change, ranging from biodiversity loss to the creation of sustainable urban environments and the development of “green” economic opportunities. Three scales of implementing nature-based solutions in the built environment are analysed: “green” building materials, systems for the greening of buildings, and “green” urban areas. It has been proven that they are valuable tools for providing numerous benefits to urban ecosystems and can effectively help combat the consequences of climate change, stimulate local economic development, and contribute to sustainable development. However, the study also found that successful implementation of such solutions requires additional research and monitoring, considering various aspects such as ecological, economic, and social factors. Cost-benefit analysis and the involvement of a wide range of stakeholders are key elements for the successful implementation of nature-based solutions in cities.

Scientific novelty. The necessity of considering different levels of implementation of nature-based solutions in the built environment has been identified as part of an integrated urban network that promotes the transition to a circular economy and the creation of sustainable and efficient urban environments. The integration of circular economy approaches will enhance the efficiency, sufficiency, and coherence of nature-based solutions. For the first time, a comprehensive analysis of the integration of nature-based solutions (green building materials, building green systems and green urban areas) into urban ecosystems under conditions of rapid urbanisation and climate change is

carried out, and the positive impacts and potential negative consequences of their implementation are summarised. Practical recommendations are proposed for planning methods and cost assessments for the implementation of nature-based initiatives, considering a wide range of environmental, economic, and social aspects.

Practical value. The discussed nature-based solutions will serve as a basis for developing sustainable urban development policies in post-war recovery in Ukraine: they can form the basis for restoring ecosystems and natural resources; ensure social interaction among city residents; stimulate the development of new economic opportunities in affected cities (urban farming, attracting investments, and creating new jobs); become part of the overall process of urban infrastructure restoration, including biomimicry in architectural design and the use of eco-friendly building materials.

Key words: sustainable development, circular economy, green building, building greening systems, urban farming, built urban environment.

Постановка проблеми. Глобальна зміна клімату є одним із найбільш серйозних екологічних викликів для сучасного людства у XXI столітті. На жаль, саме людська діяльність, зокрема промислова революція, стала ключовим фактором у цьому процесі та призвела до викиду понад 406 гігатонн діоксиду вуглецю та інших парникових газів [1].

Світ стає все більш урбанізованим. Очікується, що до 2025 р. близько 65 % населення світу проживатиме в містах. Через швидкі темпи урбанізації природні екосистеми все більше витісняються містами [2]. Урбанізація сприяє швидкому соціальному та економічному розвитку, але в той же час призводить до багатьох проблем, таких як концентрація населення, затори на дорогах, нестача житла, дефіцит ресурсів, скорочення біорізноманіття, ефект «теплового острова», шум, забруднення повітря та води [3]. Урбанізація в поєднанні зі зміною клімату призводять до збільшення ризиків і негативного впливу на людей, їхнє здоров'я, засоби існування та впливає на місцеву та національну економіку й екосистеми [4]. Тому майбутнє земних екосистем усе більше залежить від моделей зростання міст та їх адаптаційної спроможності та стійкості соціальних, економічних та екологічних систем до зміни клімату.

У вересні 2015 р. на Саміті зі сталого розвитку Організації Об'єднаних Націй (ООН) у штаб-квартирі ООН у Нью-Йорку було підписано політичну угоду щодо майбутнього глобального сталого розвитку. На саміті підтверджено зобов'язання країн-членів досягти Порядку денного для Цілей сталого розвитку (ЦСР) на період до 2030 р. (2030 Agenda for the SDGs), відповідно до якого багато країн розробили адаптивні стратегії сталого розвитку на основі своїх конкретних вимог [5]. Діяльність будівельної галузі тісно пов'язана з реалізацією ЦСР, ураховуючи, що цей сектор зробив внесок у зростання економіки, але ціною значного споживання ресурсів та екологічних проблем, які підривають глобальну екологію [6].

Міста, в яких проживає більшість населення світу, відіграватимуть важливу роль у досягненні цілей сталого розвитку. Європейське агентство з навколишнього середовища (European Environment Agency) об'єднало зацікавлених сторін у процесі побудови сталих міст у Європі з метою розробки

спільної концептуальної основи. Документ призначений допомогти міській владі та політикам розробити стратегію переходу до сталого розвитку шляхом аналізу концепції сталого розвитку міст із шести різних точок зору: кругове місто; стійке місто; місто з низькими викидами вуглецю; зелене місто; інклюзивне місто; здорове місто [7]. Від створення зелених і блакитних зон у центрі міста до інтеграції громадського транспорту в системи активної мобільності (таких як їзда на велосипеді та піші прогулянки) або створення більш ефективних систем переробки сміття, міста можуть прийняти незліченну кількість рішень у процесі переходу до сталого розвитку міст [8].

Нині будівельна індустрія є провідним споживачем світових запасів енергії та різноманітних енергетичних ресурсів і є основним джерелом забруднення довкілля в усьому світі [9]. Згідно зі звітом Програми ООН з навколишнього середовища, загальне споживання енергії в будівельній галузі відповідає приблизно за 30–40 % усього споживання енергії у світі [7].

Викиди вуглекислого газу в будівельному секторі у 2020 р. досягли 11,79 гігатонн, що становить 37 % усіх викидів вуглекислого газу в усьому світі. Загалом 17 % із них були пов'язані з експлуатаційними викидами вуглецю в житлових будинках [10]. Тому важливо якомога швидше прискорити реалізацію стратегій сталого розвитку для досягнення вуглецевої нейтральності, оскільки клімат у світі продовжує погіршуватися. Крім того, перед будівельною галуззю стоїть завдання визначити більш екологічне та стійке рішення для майбутнього розвитку. Таким чином, маємо нагальну потребу дослідити та запровадити підхід сталого розвитку в містах з метою зміни поточної ситуації, яка характеризується високим рівнем забруднення навколишнього середовища та високим споживанням ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Увага багатьох політиків і науковців до теперішнього часу прикута до питань сталого розвитку. Починаючи з часів саміту Землі в Ріо-де-Жанейро в 1992 р. та ратифікації Конвенції про біологічне різноманіття (Convention of Biological Diversity) і Порядку денного на ХХІ століття (Agenda 21), заходи щодо реалізації глобальних цілей біорізноманіття відбувалися через низку масштабних національних, регіональних і місцевих стратегій. Зовсім недавно, і часто паралельно з плановим управлінням міським біорізноманіттям, з'явилися нові сталі заходи для управління міською природою, охоплені загальним терміном – природоорієнтовані рішення (Nature-based solutions) [11]. Міжнародний союз охорони природи (International Union for Conservation of Nature) визначає природоорієнтовані рішення як «дії щодо захисту, сталого управління та відновлення природних або змінених екосистем, які ефективно та адаптивно вирішують суспільні проблеми, одночасно забезпечуючи добробут людини та переваги біорізноманіття». L. Xie та H. Bulkeley у своєму дослідженні [12] зазначають, що природоорієнтовані рішення «є навмисними втручаннями, які можуть бути натхненні природою або підтримувати її у вирішенні міських

викликів, і вважаються такими, що мають значні перспективи в забезпеченні переходу міст до сталого розвитку та вирішення таких проблем сталого розвитку, як зміна клімату, водокористування, землекористування та розвиток міст, сприяння соціальній взаємодії та збереження біорізноманіття».

Як зазначає D. Dushkova та D. Haase, концепцію природоорієнтованих рішень розроблено для того, щоб реалізувати підхід до екосистемних послуг у політиці та практиці просторового планування, щоб повністю інтегрувати екологічний вимір і водночас для вирішення поточних суспільних проблем [13]. У той же час M. Scott та інші відмічають, що ця концепція виходить за рамки традиційних підходів, спрямованих на «захист і збереження», розглядаючи покращення, відновлення, спільне створення та спільне проектування нових зелених мереж із природою, які характеризуються багатофункціональністю та зв'язністю [14].

У свою чергу, колектив авторів наукової праці щодо розвитку циркулярної економіки за допомогою рішень, заснованих на природі, в забудованому міському середовищі розглядають природоорієнтовані рішення, які знаходять своє вираження в дизайні будівель і міських просторів, або в тому, що зазвичай називають «збудованим середовищем» [15].

Одним із прикладів соціальної проблеми, що можна вирішити за допомогою природоорієнтованих рішень, яку досліджували O. Buchin та інші [16], є ефект міського теплового острова, через який температура в містах стає дедалі вищою, ніж у прилеглих районах, що посилює тепловий стрес для вразливого міського населення. У помірному кліматі цей ризик є найвищим у нічний час і переважно в приміщенні. Серед контрзаходів міські зелені насадження вважаються одними з найефективніших для зниження температури повітря на вулиці, проте науковці також відзначають, що для усунення небезпеки всередині приміщень найефективніше застосовувати комплексні заходи на рівні будівлі, підкреслюючи той факт, що природоорієнтовані рішення необхідно впроваджувати в різних масштабах, щоб отримати оптимальну вигоду.

Повсюдна сіра інфраструктура в містах, яка складається з непроникного покриття, будівель та інших споруд, загалом зумовлює погіршення міського клімату через брак стійкості та гнучкості. Таким чином, важливість міської зеленої інфраструктури пов'язана з усуненням соціальних стресів, які переплітаються з фізичними явищами в містах. Сучасні проблеми, пов'язані із сірою інфраструктурою, включають її старіння та потребу в обслуговуванні, а також всесвітнє визнання того, що звичайні інфраструктурні рішення часто є недостатніми та неефективними. Включення природоорієнтованих рішень у нові та інноваційні стратегії може також вирішити проблеми, пов'язані з якістю води, водночас забезпечуючи додаткові переваги. Ці переваги є життєво важливими для сприяння аспектам сталого розвитку, представленим у звіті Організації Об'єднаних Націй за 2018 р., у якому зазначено, що «... підвищення масштабу природоорієнтованих рішень матиме центральне значення для досягнення

Порядку денного сталого розвитку до 2030 р.» [17].

Іншим важливим аспектом при підході до сучасних міських систем є «циркулярна економіка». Як визначає G. Langergraber та ін. [18], циркулярна економіка – це економічна система, яка спрямована на мінімізацію відходів і максимально ефективного використання ресурсів. Відповідно до тверджень V. Prieto-Sandoval та ін. «ця концепція являє собою зміну парадигми в тому, як людське суспільство взаємопов'язане з природою, і має на меті запобігти виснаженню ресурсів і сприяти сталому розвитку шляхом її впровадження на мікро (підприємства та споживачі), мезо (економічні суб'єкти, інтегровані в симбіоз) і макрорівні (місто, регіони та держава). Досягнення цієї кругової моделі вимагає циклічних і відновлюваних екологічних інновацій у тому, як суспільство встановлює закони, виробляє та споживає» [19].

Однією із центральних концепцій, що лежать в основі природоорієнтованих рішень, яку протягом кількох десятиліть визнавали наукові спільноти, а також інтуїтивно протягом сотень років населення в цілому, є біофілія, що визначається як «вроджений потяг людини до природи» [20]. Біофільний дизайн викликає зростаючий інтерес в архітектурній теорії та практиці завдяки опублікованим дослідженням, які показують, що дизайн, який збільшує експозицію та прямий зв'язок людей із природним світом, а отже «може зменшити стрес, покращити когнітивні функції та творчі здібності, покращити наше самопочуття та прискорити зцілення» [20]. Соціальне життя та культура постійно розвиваються в контексті міста, і їх зв'язок із природою та новими зеленими інфраструктурними рішеннями є дуже важливою метою для природоорієнтованих рішень [21].

Незважаючи на значні досягнення у використанні природоорієнтованих рішень, залишаються невирішені питання щодо їх ефективності та комплексної оцінки наслідків упровадження в умовах урбанізації та зміни клімату.

Мета, матеріали та методи дослідження. Зважаючи на викладене вище, метою цієї статті є огляд сучасного стану інтеграції природоорієнтованих рішень в міські екосистеми, що може протистояти негативним наслідкам урбанізації та сприяти циркулярній економіці через надання екосистемних послуг.

Для досягнення поставленої мети використані загальнонаукові та спеціальні методи пізнання, які ґрунтуються на діалектичному підході, що в комплексі дало змогу систематизувати й узагальнити результати дослідження проблеми іншими вченими, що лягло в основу інформаційної бази як джерела матеріалів для нашого дослідження. У першій частині статті, яка носить аналітично-оглядовий характер, використовували метод огляду для визначення стану досліджуваної проблеми. Основним методом, який дав змогу досягти поставленої мети, був метод логічного аналізу та узагальнення його результатів. На основі методу наукової абстракції сформульовано загальні висновки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо більш детально три масштаби впровадження природоорієнтованих рішень у забудованому

середовищі: «зелені» будівельні матеріали, системи озеленення будівель та «зелені» міські ділянки.

1. «Зелені» будівельні матеріали. Більшість сучасних будівельних матеріалів виробляють за допомогою процесів, які значною мірою залежать від невідновлюваних ресурсів, створюють велику кількість відходів і потенційно створюють нездорове середовище.

Найпоширенішим із цих матеріалів є бетон, який можна відливати на місці або використовувати для виготовлення готових конструктивних елементів, основним активним інгредієнтом якого є цемент. Цемент має надзвичайно високий рівень втіленої енергії у своєму виробництві та є основним джерелом викидів парникових газів [22]. Це пояснюється тим, що величезна кількість вуглекислого газу викидається в атмосферу під час процесу випалу, за якого природний вапняк та інша сировина перетворюється на клінкер (ключовий інгредієнт цементу), а додатковий CO₂ викидається внаслідок згоряння викопного палива для отримання необхідної температури приблизно 1500°C. Через такі високотемпературні процеси виробництва багато інших сучасних матеріалів також мають високу втілену енергію. До них належать армування, що використовується в конструкційному бетоні, і навіть матеріали, які все частіше застосовують для підвищення ефективності теплової енергії, такі як алюміній і скло для енергоефективних вікон, і нафтохімічні пластмаси, такі як пінополістирол для теплоізоляції. Крім втіленої енергії та викидів CO₂, безліч прямих і непрямих зовнішніх впливів на навколишнє середовище (таких як забруднення повітря та забруднення води) також виникають через транспортування сировини та готової продукції на великі відстані.

Екологічні «зелені» будівельні матеріали – це сирі та оброблені природні матеріали, які використовують для будівництва. Ці матеріали витягуються з біологічного циклу для технічних цілей, а їх виробництво та обробка мають низький вплив на навколишнє середовище з точки зору таких показників, як втілена енергія та вуглець, споживання води та використання шкідливих хімікатів. Вони гарантують здорове робоче та життєве середовище з огляду на якість повітря та мікроклімат у приміщенні. Технології обробки матеріалів і будівництва в ідеалі повинні бути такими, щоб поживні речовини могли безпечно повертатися в екосистему в кінці циклу використання будівельного матеріалу.

Особливістю сучасного будівництва є надзвичайно широкий спектр нових матеріалів, виробів і технологій, які внаслідок інтенсивного розвитку будівельної науки і техніки змінюються кожні 5–10 років. Завдяки поєднанню «науки та будівельної інженерії створюються технології одержання нових, високоефективних, екологічно чистих матеріалів функціонального призначення. Виробництво цих матеріалів засновано на безвідходних й енергозберігальних технологіях» [23].

Одним із природних будівельних матеріалів, що широко використовують у

«зеленому» будівництві, є глина та вироби з неї, наприклад:

- глиняна штукатурка;
- фіброглинобетон;
- саманні блоки [24].

Перевагами матеріалів із сирової необпаленої глини є їх доступність і невисока вартість, вогнестійкість, повітро- та паропроникність і, звичайно, екологічність.

У свою чергу, використання будівельних матеріалів рослинного походження дозволяє створювати енергозберігальні та екологічні житлові утворення на засадах біосферосумісності [25].

Одним із перспективних матеріалів є солома. Україна щорічно виробляє близько 50 млн т зернових і зернобобових культур. Це означає, що солома, як побічний продукт, приблизно виробляється в тих самих обсягах. Солома використовується для годівлі та підстилки тварин і для удобрення ґрунтів, а можливий залишок соломи – 20–40 % [26]. Цей залишок може використовуватись для виробництва будівельних матеріалів.

Солома може ефективно використовуватись у будівництві шляхом або її прямого застосування у вигляді тюків на основі каркасу з дерев'яних несучих балок або модульних солом'яних панелей. У сучасній практиці будівельної галузі більш поширеним є будівництво будинків із модульних солом'яних панелей фабричного виготовлення, у той час як будівництво із солом'яних тюків на основі дерев'яного каркасу використовують в основному при самостійному спорудженні будинку.

Солом'яні панелі – це дерев'яний каркас, у якому запресована солома. В Україні для виробництва солом'яних панелей використовують в основному житню солому. Житня солома малопоживна, тому не цікава гризунам, а щільне пресування і подальша штукатурка стін надійно запобігає появі гризунів і комах.

Спресовують солому на виробництві за допомогою гідравлічного пресу. Солом'яні панелі виробляють із сухої соломи (вологість до 12 %) і дерев'яного каркасу з каліброваного соснового бруса, обробленого протипожежним й антисептичним складом та вологостійкої фанери 1-го сорту з кріпленням на саморізи.

Готові панелі доставляють на будівельні майданчики і збирають вже на місці за принципом модульного будинку. Готовий каркас будинку оштукатурюють глиняною штукатуркою у два шари із застосуванням армуючої сітки (рис. 1), після чого солом'яні блоки стають захищеним від води та вогню.

Найпоширенішою практикою зовнішнього оздоблення солом'яних будинків є система вентилязованого фасаду для того, щоб уберегти зовнішній шар глиняної штукатурки від негативного впливу атмосферних опадів, особливо косих дощів.

Застосування керамічної штукатурки дозволяє зберегти екологічність будинку, а також забезпечує високу вогнестійкість і міцність конструкції.

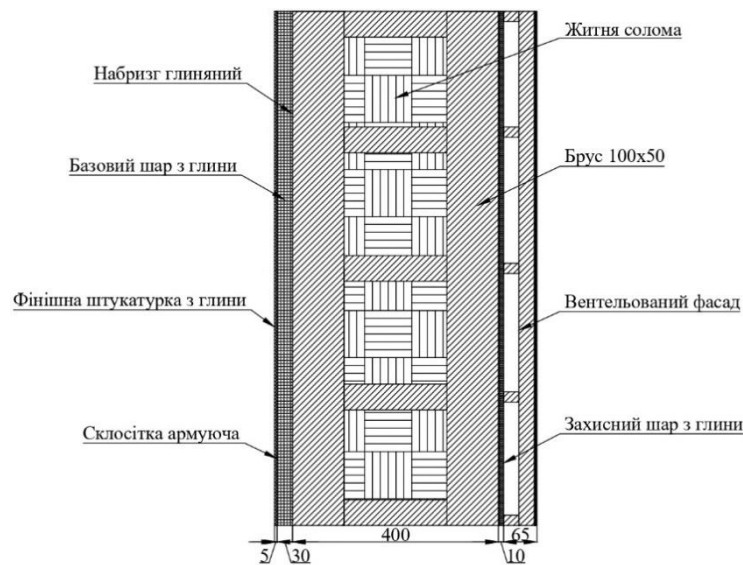


Рис. 1. Схематичне улаштування стінової панелі із соломи

Джерело: розроблено авторами на основі [24].

До переваг будинків із житньої соломи відносять такі [27]:

- низька вартість матеріалу та будинку в цілому;
- висока комфортність проживання в будинку. Будинок із солом'яних стінових панелей (блоків) «дихає», що створює взимку та влітку хороший мікроклімат у приміщенні. Підвищується якість повітря в приміщенні. Житня солома має високу гігроскопічність, легко поглинає і віддає зайву вологу. При правильному проектуванні вогкість і пошкодження ділянок стін грибок і цвілью виключена;
- екологічно безпечний матеріал;
- висока довговічність житніх солом'яних блоків (до 100–200 років і більше), що підтверджується історією. Довговічність житньої соломи забезпечується наявністю в її структурі кремнезему;
- висока швидкість будівництва;
- низька трудомісткість будівельних робіт порівняно з традиційним будівництвом – приблизно в 100 разів менше з розрахунку на 1 м² загальної площі будівлі. Не потрібне використання важкої техніки;
- висока вогнестійкість. Солома при щільному стисненні (80–120 кг/м³) і при виконанні глиняного тиньку до 5 см з обох сторін дозволяє такій стіні витримувати вогневе навантаження з температурою 1000°C протягом кількох годин;
- висока звукоізоляція стін, акустичний комфорт, зниження рівня шуму в будинку;
- низький коефіцієнт теплопровідності. У соломи теплопровідність у 4 рази нижче, ніж у деревини і в 7 разів нижче, ніж у цегли. Завдяки цьому витрати на опалення й кондиціонування приблизно в 3–4 рази менші. Для опалення будинку із солом'яних блоків витрачається в 10 разів менше газу, ніж у звичайному будинку (тепловтрати приблизно становлять 40 кВт год м² на рік).

Ще одним рослинним матеріалом, що широко застосовують у «зеленому»

будівництві, є технічні коноплі.

Технічні коноплі – це екологічно чистий будівельний матеріал. На теперішній час коноплі привертають до себе велику увагу як дослідників, так і виробників. Вони мають ряд переваг, серед яких: по-перше, коноплі є технічною культурою, яка здатна накопичувати величезну біологічну масу порівняно з іншими культурами; по-друге, коноплі можна використовувати для виготовлення необмеженого асортименту виробів у різних галузях промисловості; по-третє, вони здатні очищувати забруднені території, що сприяє збереженню навколишнього середовища [23].

Швидкий цикл росту конопель є унікальною та необхідною екологічною перевагою завдяки здатності швидкого поглинання вуглецю. До того моменту, як коноплі будуть готові до збирання, 1 т коноплі поглине в середньому 1,62 т CO₂. Потім вуглець зберігається протягом усього життєвого циклу матеріалу.

Найпоширеніші будівельні матеріали, що виготовляють із технічних конопель, є конопляні плити, конопляний бетон і конопляна цегла.

Конопляні плити виготовляють шляхом змішування конопляного волокна з біоцидами та натуральними сполучними речовинами. Їх можна використовувати як підлогове покриття, стінові панелі та перекриття. Мають відмінну звукоізоляцію та теплоізоляційні властивості.

Більшість листових будівельних матеріалів, таких як деревно-волокнисті плити, орієнтовано-стружкова плита та інші, виготовляють із деревини, яка поповнюється повільно, що призводить до значного зменшення лісів у всьому світі. Деревоволокниста плита низької щільності зазвичай створюється з відходів, таких як тирса та обрізки деревини, і використовується як недорога альтернатива фанері та іншим матеріалам. Однак технічні коноплі можуть бути кращим рішенням.

З точки зору екології та безпеки більшість листових матеріалів містять формальдегіди та інші шкідливі речовини. Інноваційна конопляна плита є нетоксичною і не містить формальдегіду та інших токсичних сполук.

Дослідження, проведені у штаті Кентуккі (США) [23], показали, що можливо виготовляти конопляні плити, що складаються на 100 % з конопляного волокна та костриці. Таку плиту виготовляють із використанням природних сполучних речовин, що сприяє покращенню якості повітря всередині будівель.

Додаткова обробка конопляних плит допомагає запобігти утворенню плісняви та зараженню шкідниками. Більш безпечний процес виробництва будівельних матеріалів із коноплі допомагає зберегти якість повітря та водних ресурсів у всьому світі.

Конопляний бетон, що також відомий як конопляний легкий бетон або конопляний цемент, виготовляють шляхом змішування вапна, піску, води та конопляних волокон. Завдяки своїй низькій щільності він легкий, проте міцний і стійкий до вологи, має хороші теплоізоляційні властивості.

Конопляний бетон, як правило, не є несучим матеріалом для стін,

виготовлений із деревної серцевини рослини коноплі, яку висушують, нарізають на «стружки» та змішують із вапняним сполучним. Ці легкі ізоляційні матеріали нетоксичні, придатні для повторного використання / переробки та відповідають європейським протипожежним та акустичним стандартам. Крім того, їхнє виробництво може бути «негативним» щодо вуглецю, оскільки CO₂, який поглинається під час росту коноплі, переважає чисте вивільнення вуглецю при виробництві вапна (яке поступово повторно поглинає CO₂ шляхом карбонізації). Крім того, конопляний бетон вважається «дихаючим» матеріалом, який характеризується буферністю вологи та покращує якість повітря в приміщенні [15].

Дослідження Y. Florentin та ін. [28] оцінка життєвого циклу однорідного конопляного бетону (450 кг м³) показала, що чисті викиди CO₂ при виробництві різко зменшуються порівняно зі звичайним будівельним матеріалом із подібною щільністю та тепловими властивостями, і що величина цього скорочення вмісту вуглецю еквівалентна приблизно п'ятирічному викиду вуглецю внаслідок сезонного опалення та охолодження типової будівлі.

Принцип використання конопляного бетону, як ізоляційного матеріалу для спорудження зовнішніх стін будівель, схожий до застосування соломи у вигляді тюків на основі каркасу з дерев'яних несучих балок.

Несучою конструкцією будинку виступає дерев'яний каркас зі стійок, сполучених горизонтальними в'язями та розкосами. Змонтований дерев'яний каркас з опалубкою поетапно заповнюється конопляним бетоном утрамбовуючи кожен шар. Для внутрішнього оздоблення стін використовують глиняну штукатурку. Зовнішнє облаштування доцільно виконувати за принципом вентильованого фасаду (рис. 2).

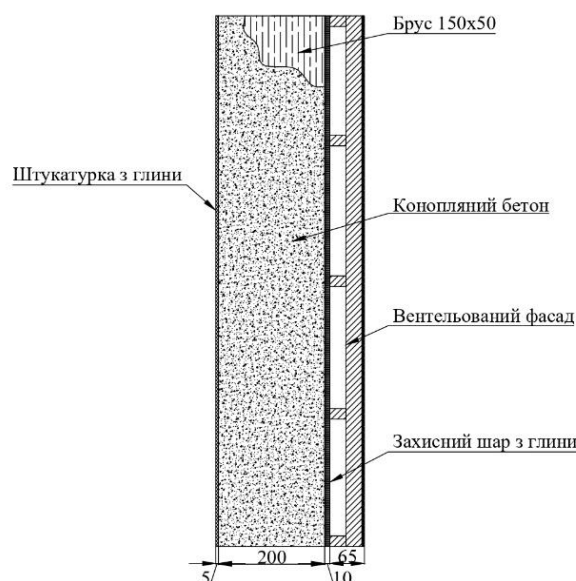


Рис. 2. Схематичне улаштування зовнішньої стіни будівлі з конопляного бетону

Джерело: розроблено авторами на основі [24; 28].

«Конопляна цегла» – це будівельний матеріал, який є екологічно чистим, тому що його складові є природними і не токсичними: вапно, глина, кварцові добавки, мінеральні добавки та конопляна костриця. Переваги використання конопляної цегли – теплоізоляція, енергоефективність, вогнестійкість, ідеальна адгезія до конопляного утеплювача.

При вирішенні проблеми підбору будівельних матеріалів, перш за все, необхідна їх попередня оцінка. Крім необхідності «зеленості», матеріали повинні відповідати низці вимог, викладених й описаних стандартами національного / міжнародного рівня, національними законами, місцевою практикою будівництва, наприклад:

- акустичні характеристики, які пов'язані із задовільним комфортом у приміщенні;
- естетичний результат, узгоджений із місцевими будівельними традиціями;
- вартість у межах наявного бюджету;
- габаритно-вагові обмеження, відповідно до особливостей конструкції;
- довговічність у певному екологічному та географічному контексті будівлі (питання довговічності тісно пов'язане зі стійкістю, оскільки воно визначає тривалість життя матеріалів);
- механічні властивості конструкційних матеріалів, включаючи жорсткість, міцність, поведінку в умовах сейсмічної активності тощо;
- безпека, як у випадку пожежі, так і під час розміщення / обробки матеріалів;
- особливі характеристики, пов'язані з використанням будівель (наприклад, вимоги безпеки для шкіл, гігієнічні вимоги для лікарень тощо);
- теплові характеристики, необхідні для досягнення задовільної енергетичної поведінки під час роботи.

У сучасному будівництві вибір матеріалів для створення енергоефективних і теплоізоляційних конструкцій є критично важливим завданням. Теплотехнічні характеристики будівельних матеріалів впливають на ефективність енергоспоживання будівель і комфорт їхніх мешканців.

Таблиця 1

Теплотехнічні характеристики будівельних матеріалів

Матеріал	Коефіцієнт теплопровідності, λ , Вт/(м·К)	Опір теплопередачі, R, м ² ·К/Вт	Ударостійкість	Середня густина, кг/м ³
Саман	0,05–0,08	1,0–1,6	Середня	300–500
Солом'яні панелі	0,05–0,09	1,0–1,8	Середня	100–200
Костробетон	0,09–0,16	0,6–1,1	Висока	500–2000
Газобетон	0,12–0,25	0,4–0,8	Середня	300–800
Шлакобетон	0,1–0,3	0,3–1,0	Висока	600–1800
Керамзитобетон	0,1–0,3	0,3–1,0	Висока	400–1800
Цегла	0,6–1,2	0,2–0,5	Висока	1500–2000

Джерело: складено авторами на основі [29].

Із таблиці видно, що саман, солом'яні панелі та костробетон мають нижчі значення коефіцієнта теплопровідності й високі показники опору теплопередачі, порівняно із традиційними будівельними матеріалами, що робить їх ефективними матеріалами для екологічно орієнтованих будівель із високим рівнем теплоізоляції.

2. Системи озеленення будівель. Системи озеленення будівель включають такі компоненти, як зелені дахи, зелені фасади та живі стіни, будинкові дерева та навіть водно-болотні угіддя, інтегровані в будівлі.

Дахи можуть становити до 32 % горизонтальної поверхні забудованих територій і є важливими визначальними факторами потоку енергії та водовідведення будівель. Додавання рослинності та ґрунту на поверхні даху може зменшити кілька негативних впливів будівель на місцеві екосистеми та може скоротити споживання енергії будівлями. Доведено, що живі, або зелені, дахи підвищують звукоізоляцію, вогнестійкість і довговічність покрівельної мембрани. Вони можуть зменшити енергію, необхідну для підтримки внутрішнього клімату, тому що рослинність і середовище для росту рослин перехоплюють і розсіюють сонячне випромінювання. Зелені дахи також можуть пом'якшити стік зливової води з поверхонь будівель, збираючи та утримуючи опади, тим самим зменшуючи об'єм потоку в інфраструктуру зливової води та міські водні шляхи. Інші потенційні переваги включають зелені насадження, середовище проживання дикої природи, покращення якості повітря та зменшення ефекту міського теплового острова. Архітектори застосовували технологію зелених дахів у всьому світі, політики та громадськість все більше усвідомлюють переваги зелених дахів. Незважаючи на те, що будівництво зелених дахів спочатку дорожче, ніж звичайні дахи, вони можуть бути економнішими протягом усього терміну експлуатації даху через економію енергії та довговічність покрівельних мембран [30].

Переваги зелених дахів, досліджені на теперішній час, поділяють на три основні категорії: управління зливою водою, енергозбереження та забезпечення міського середовища проживання. Ці екосистемні послуги походять від трьох основних компонентів системи живого даху: рослинності, субстрату (середовища для вирощування) і мембран. Рослини затіняють поверхню даху та пропускають воду, охолоджуючи та транспортуючи воду назад в атмосферу. Середовище для вирощування має важливе значення для росту рослин, але також сприяє утриманню дощової води. Мембрани відповідають за гідроізоляцію покрівлі та запобігають проникненню коренів у покрівлю.

Зелені дахи проєктують з інтенсивним або екстенсивним насадженням: інтенсивний зелений дах забезпечується водою та поживними речовинами, а його субстрат зазвичай товщий 0,25 м, тоді як екстенсивний зелений дах не зрошується і має набагато мілкіший субстрат, зазвичай 0,06–0,15 м [15].

Фасадні зелені насадження найчастіше складаються з рослин ліан, які вкорінюються в ґрунті чи штучних субстратах, безпосередньо прикріплюються

до поверхні стіни або покривають стіну опосередковано через опорні системи, такі як решітки чи мотузки.

Багато досліджень показали, що зелені рослини мають низку переваг для міського середовища та будівель. Серед позитивних ефектів можна відмітити такі:

- рослини можуть допомогти покращити якість міського повітря, що головним чином пов'язано з поглинанням дрібних частинок пилу і поглинанням газоподібних забруднювальних речовин, таких як CO₂, NO₂ і SO₂;

- рослини використовують вуглекислий газ для фотосинтезу, а сірку та азот перетворюють на неорганічні солі;

- дрібні частинки пилу діаметром 10 (2,5) мкм або менше, які можуть завдати шкоди дихальній системі людини, в основному прилипають до зовнішньої частини рослинності.

Феномен міського теплового острова в основному спричинений кількістю штучних твердих поверхонь із високою відбивною здатністю порівняно з природним ґрунтовим покривом. Що стосується штучних поверхонь, вкритих рослинністю, велика кількість сонячної радіації буде поглинатися зеленими рослинами та використовуватися для фотосинтезу, транспірації, випаровування та дихання, тим самим зменшуючи ступінь нагрівання твердих поверхонь.

У теплому та жаркому кліматі рослини, які покривають поверхню будівлі, можуть допомогти знизити температуру поверхні будівлі, тим самим покращуючи мікроклімат навколо будівлі та ефективно зменшуючи споживання енергії на охолодження будівлі. Як зазначають К. Perini та ін., на покритій рослинами стіні та голій стіні, зафіксовано зниження температури на зеленому фасаді приблизно на 2–6°C порівняно з голою стіною [31]. Крім того, рослини поглинають сонячне випромінювання, сприяючи транспірації, а також можуть сприяти підвищенню вологості в навколишньому середовищі.

Деякі види зелених насаджень на фасадах також можуть позитивно впливати на теплоізоляційні властивості огорожувальних конструкцій. Це стосується товщини листя (створення застійного повітряного шару та затінення фасаду), вмісту води, властивостей матеріалу та можливих повітряних порожнин між різними шарами. Крім того, дослідження, проведене К. Perini та ін. [31], показує потенціал вертикальних зелених шарів щодо зменшення швидкості вітру навколо фасадів будівель, тим самим допомагаючи покращити теплові властивості. Це означає, що як у теплому, так і в холодному кліматі огороження будівель, вкриті рослинами, можуть допомогти заощадити енергію.

Різні варіації систем озеленення будівель представлені на рис. 3.

Рослини, що вкривають фасади будівель, можуть мати ефект затінення, який зупиняє потрапляння великої кількості ультрафіолетового світла на будівельні матеріали. Оскільки ультрафіолетове світло погіршує матеріал і механічні властивості покриття, фарби, пластмаси тощо, то рослини можуть позитивно впливати на довговічність будівель і зменшувати витрати на технічне

обслуговування [32].



Рис. 3. Варіанти використання зелених насаджень на фасадах будівель

Джерело: [32].

Узагальнені дані аналізу результату впровадження систем озеленення будівель наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Оцінка впливу впровадження систем озеленення будівель

Параметри	Вплив від систем озеленення будівель
Економія енергії	Зменшення витрат на опалення від 0,12 % до 0,20 %, на охолодження – від 6.2 % до 6.4 %
Якість повітря	Фільтрація та поглинання PM2.5, зменшення викидів VOC
Ізоляційні властивості	Підвищення теплового опору на 0,09 м ² ·К·В
Вплив на охолодження	Зменшення температури на 2–6°C; Максимальне зниження температури на 11,6°C
Поглинання CO ₂	Збільшення поглинання до 50 % CO ₂ рослинами
Вологість повітря	Підвищення на 10–15 % вологості повітря

Джерело: сформовано авторами на основі [31; 32].

Загалом системи озеленення будівель є ефективним інструментом для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, покращення енергоефективності будівель і підвищення якості життя в міських районах. Їх упровадження на широкій основі може стати важливим кроком у напрямі сталого розвитку міст.

3. «Зелені» міські ділянки. Майданчики зеленої забудови можуть являти собою відкриті простори, які безпосередньо примикають до будівель, як правило, в межах однієї власності, або земельні ділянки малого та середнього

масштабу (міські площі, невеликі громадські парки, громадські городи, підвищені міські зелені набережні), які відіграють важливу роль у синьо-зеленій мережі міста. Майданчики для зеленої забудови – це місця для створення природи в містах, підвищення біорізноманіття за допомогою компонентів синьо-зеленої інфраструктури, надання можливостей для біофільного дизайну та сприяння культурному та соціальному життю через діяльність для різних соціальних і вікових груп. В ідеалі екологічні будівельні майданчики надають численні екосистемні послуги та втілюють стійкі та регенеративні способи одночасного вирішення різноманітних завдань, починаючи від пом'якшення кліматичних змін і закінчуючи зменшенням шумового забруднення. Вони можуть підвищити безпеку від повеней за допомогою інтегрованих рішень міського дизайну, покращити якість повітря, повторно використовувати будівельні матеріали, одночасно зменшуючи будівельні відходи, використовувати стійкі будівельні матеріали, сприяти розвитку місцевих економічних систем і підтримувати низький вплив життєвого циклу. Намір природоорієнтованих рішень у масштабі зелених будівельних майданчиків полягає в просуванні цілей сталого розвитку, комфорту на відкритому повітрі, здорового середовища проживання та добробуту в містах.

Одним із гарних прикладів міських зелених зон є міське фермерство, що можна класифікувати за такими групами:

- комерційні сіті-ферми, що засновані на інноваційних технологіях і, перш за все, мають на меті отримання прибутку;
- соціальні сіті-ферми (освітнє міське фермерство, міське фермерство з доданим терапевтичним компонентом);
- громадські сади (група громадян об'єднується для створення громадського саду, де кожен учасник має власну ділянку, але сад обслуговується та управляється спільно).

У табл. 3 відображено детальну характеристику різних типів сіті-ферм.

Переваги міського фермерства можна класифікувати за чотирма вимірами: продовольча безпека, економічна, соціальна та екологічна, що також включає внесок у працевлаштування, покращення освіти та охорони здоров'я, соціальну інтеграцію тих, хто перебуває під загрозою соціальної ізоляції.

Численними дослідженнями доведено, що міське фермерство покращує здоров'я та добробут кількома способами: сприяння більш здоровому та активному способу життя; покращення якості відкритого простору; підвищення соціальної мобільності й готовності до роботи; створення економічних можливостей для сусідства; використання для науки та екологічної освіти. Крім того, комерційні сіті-ферми – це нові робочі місця, збільшення податкових надходжень і розвиток сфери інноваційного технологічного забезпечення. Усе це приносить користь місцевій економіці [2].

Розглянувши три основні типи природоорієнтованих рішень: «зелені» будівельні матеріали, системи озеленення будівель і «зелені» міські ділянки,

пропонуємо для кожного з них оцінити як позитивні (рис. 4), так і негативні (рис. 5) аспекти впливу на міські екосистеми.

Таблиця 3

Характеристика сіті-ферм

Характеристика	Переваги
<i>Комерційні сіті-ферми</i>	
<i>Мета:</i> основною метою є отримання прибутку від продажу сільськогосподарської продукції. <i>Розташування:</i> зазвичай розташовані в міських або приміських районах, часто на дахах будівель, у спеціальних теплицях або вертикальних фермах. <i>Технології:</i> використання інноваційних технологій, таких як гідропоніка, аквапоніка, аеропоніка та інші. <i>Організація:</i> від невеликих ферм до великих агропромислових комплексів.	• Сприяють створенню нових робочих місць в розвитку місцевої економіки. • Зменшення транспортних витрат і викидів завдяки місцевому виробництву продукції. • Забезпечення населення свіжою та здоровою їжею. • Розвиток та впровадження передових технологій у сільському господарстві.
<i>Соціальні сіті-ферми</i>	
<i>Мета:</i> соціальні цілі, такі як освіта, реабілітація, інтеграція вразливих груп населення, зменшення соціальної ізоляції. <i>Розташування:</i> розташовані в межах міста, часто в громадах із низьким рівнем доходу або в освітніх закладах. <i>Технології:</i> традиційне ґрунтове вирощування, гідропоніка, використання контейнерів і модульних систем. <i>Організація:</i> неприбуткові організації, громадські групи, освітні та соціальні установи.	• Навчання місцевих мешканців навичкам садівництва, здорового харчування та екологічної свідомості. • Створення спільнот, які об'єднують людей різного віку, культур і соціальних груп. • Реабілітація та психологічна підтримка для вразливих груп населення. • Озеленення міських районів і поліпшення якості повітря.
<i>Громадські сади</i>	
<i>Мета:</i> забезпечення місцевих жителів можливістю вирощувати власні харчові продукти, соціалізація, підвищення екологічної обізнаності. <i>Розташування:</i> розташовані в громадських місцях, таких як парки, шкільні подвір'я, занедбані міські ділянки. <i>Технології:</i> традиційне ґрунтове вирощування, контейнери, підняті грядки. <i>Організація:</i> керуються місцевими громадами, громадськими організаціями або муніципалітетами.	• Активне залучення мешканців до спільної діяльності, що сприяє згуртованості та взаємодопомозі. • Заохочення фізичної активності та споживання свіжих, самостійно вирощених продуктів. • Підвищення обізнаності про екологічні проблеми та сталий розвиток. • Поліпшення зовнішнього вигляду міських районів і створення зелених зон для відпочинку.

Джерело: складено авторами на основі [2].

На рис. 4 відображені результати всебічного аналізу позитивного впливу проаналізованих природоорієнтованих рішень. Схема структурована за основними показниками, які включають екологічні, соціальні та економічні критерії, що дозволяє комплексно оцінити вплив кожного типу рішень на міське середовище.

Виклик	Зелені будівельні матеріали	Системи озеленення будівель	Зелені міські ділянки
Секвестрація вуглецю	+	+	+
Зниження пікових паводків	○	+	+
Щоденна середня температура	+	+	+
Доступ до зелених зон	○	+	+
Покращення мікроклімату в будівлях	+	+	+
Кількість забруднювачів, поглинутих рослинністю	+	+	+
Якість участі у процесах управління	○	+	+
Можливість вільно та безпечно пересуватися	○	○	+
Кількість фізично активних людей	○	○	+
Додаткові робочі місця	+	+	+

+

 Позитивний вплив

○

 Нейтральний вплив

Рис. 4. Оцінка потенційного позитивного впливу різних типів природоорієнтованих рішень на міські екосистеми

Джерело: розроблено авторами.

Отже, констатуємо, що всі типи природоорієнтованих рішень ефективно сприяють зменшенню викидів CO₂, що допомагає в боротьбі зі змінами клімату. Рослинність, що використовується в системах озеленення будівель і на міських ділянках, активно поглинає вуглекислий газ, зменшуючи загальний рівень вуглецю в атмосфері.

«Зелені» міські ділянки та системи озеленення будівель допомагають управляти водними ресурсами, зменшуючи ризики паводків. Покращення дренажних систем і використання пермеабельних матеріалів у будівництві також сприяє зниженню ризиків пікових паводків.

Системи озеленення будівель і «зелені» міські ділянки також сприяють зниженню середньої міської температури через ефект охолодження, випаровування та забезпечення тіні. Це допомагає зменшити ефект міського теплового острова, що є важливим аспектом для покращення мікроклімату в містах. Рослинність, що може використовуватись в аналізованих природоорієнтованих рішеннях, ефективно поглинає забруднювачі повітря,

включаючи тверді частки та інші шкідливі речовини. Це призводить до покращення якості повітря та зменшення ризиків захворювань дихальних шляхів у міських жителів.

«Зелені» міські ділянки та системи озеленення будівель сприяють створенню місць проживання для різних видів флори та фауни, підтримуючи біорізноманіття в міських умовах. Вони також покращують екологічну зв'язність, забезпечуючи коридори для міграції та взаємодії різних видів.

Природоорієнтовані рішення підвищують доступність зелених зон для міських жителів, що сприяє покращенню фізичного та психічного здоров'я, а також сприяють активній участі громади в процесах планування та управління міським середовищем, підвищуючи рівень соціальної згуртованості.

Упровадження природоорієнтованих рішень сприяє створенню нових робочих місць у сферах будівництва, обслуговування та управління зеленими зонами. Зелені будівельні матеріали можуть знижувати енергетичні витрати, що є важливим фактором для економічної ефективності будівель.

Виклик	Зелені будівельні матеріали	Системи озеленення будівель	Зелені міські ділянки
Інвазійні види	Red	Yellow	Red
Алергічні реакції	Green	Yellow	Red
Зміна гідрологічного режиму	Green	Red	Red
Високі витрати на утримання	Red	Red	Red
Конфлікти з іншими планами землекористування	Green	Yellow	Red
Соціальна нерівність	Green	Red	Red
Потенційні ризики для здоров'я	Green	Yellow	Red
Економічні ризики	Red	Red	Yellow
Витіснення місцевих мешканців	Green	Yellow	Red
Підвищення вартості нерухомості	Green	Red	Yellow

Низький або незначний потенційний негативний вплив

Помірний потенційний негативний вплив

Суттєвий потенційний негативний вплив

Рис. 5. Оцінка потенційного негативного впливу різних типів природоорієнтованих рішень на міські екосистеми

Джерело: розроблено авторами.

Таким чином, природоорієнтовані рішення мають багатогранний позитивний вплив на міські екосистеми, сприяючи їх стійкому розвитку та підвищуючи якість життя міських жителів. Вони є важливим інструментом у досягненні екологічної стабільності та адаптації до кліматичних змін, а також у забезпеченні економічних і соціальних вигод для міських громад.

Водночас вони також можуть мати ряд потенційних негативних впливів, які слід урахувати під час їх упровадження. Оцінка таких негативних аспектів є важливою для розуміння можливих ризиків і розробки стратегій їх мінімізації.

На рис. 5 представлено оцінку негативного впливу трьох основних типів природоорієнтованих рішень: зелених будівельних матеріалів, систем озеленення будівель і зелених міських ділянок. Вона охоплює різні потенційні загрози, включаючи екологічні, соціальні та економічні аспекти, що дозволяє отримати цілісне уявлення про можливі виклики, пов'язані з впровадженням цих рішень у міське середовище.

Отже, як бачимо із узагальнених результатів аналізу, природоорієнтовані рішення не позбавлені негативних впливів. Упровадження природоорієнтованих рішень може призвести до підвищення вартості нерухомості у відповідних районах, що може витіснити місцевих мешканців із низькими доходами. Це підвищує соціальну нерівність і може викликати гентрифікацію. Неправильна оцінка економічних вигід природоорієнтованих рішень може призвести до фінансових втрат, як для окремих проєктів, так і для міського бюджету загалом. Крім того, інтеграція зелених зон у міській інфраструктурі може викликати конфлікти із документацією з просторового розвитку території.

Використання певних рослинних матеріалів може призвести до поширення інвазійних видів, які можуть витіснити місцеву флору та фауну, порушуючи природні екосистеми. Водночас деякі рослини, що використовують в озелененні, можуть викликати алергічні реакції в людей. Це особливо актуально для зелених міських ділянок і систем озеленення будівель, де близькість рослин до людей є великою.

Усі типи природоорієнтованих рішень можуть вимагати значних ресурсів для їх обслуговування. Наприклад, зелені дахи потребують регулярного догляду, а зелені міські зони можуть потребувати значних витрат на утримання.

Усі ці фактори підкреслюють важливість ретельного планування та врахування можливих негативних наслідків під час упровадження природоорієнтованих рішень. Це дозволить мінімізувати ризики та забезпечити максимально ефективну інтеграцію природоорієнтованих рішень у міські екосистеми, сприяючи їх стійкому розвитку та добробуту міських жителів.

Для узагальнення проведеного дослідження щодо інтеграції природоорієнтованих рішень у міські екосистеми проведено SWOT-аналіз, результати якого відображено на рис. 6. SWOT-аналіз природоорієнтованих рішень для міських екосистем надає комплексну оцінку їх сильних і слабких сторін, а також можливостей і загроз, що виникають під час їх упровадження.

- Покращення біорізноманіття - Зниження теплового острова міста - Підвищення якості повітря та води - Покращення естетичної та рекреаційної цінності міських просторів - Стимулювання місцевої економіки та створення робочих місць	- Високі початкові витрати - Недостатня кількість досліджень та даних - Тривалий період впровадження - Можливі технічні складності у впровадженні - Необхідність спеціальних знань та навичок
- Розвиток зеленої інфраструктури та підвищення якості життя мешканців - Адаптація до зміни клімату та зменшення впливу екстремальних погодних умов - Створення нових ринків та бізнес-можливостей - Залучення громадськості до процесу прийняття рішень - Підвищення екологічної свідомості населення	- Нестабільне фінансування та економічні кризи - Відсутність політичної підтримки та регуляторних бар'єрів - Ризик негативного впливу на існуючу інфраструктуру - Соціальна нерівність та конфлікти інтересів - Можливий негативний вплив на певні види фауни та флори

Рис. 6. SWOT-аналіз природоорієнтованих рішень для міських екосистем

Джерело: розроблено авторами.

Висновки цього аналізу дозволяють краще зрозуміти, як максимально ефективно використовувати переваги таких рішень і мінімізувати їхні потенційні недоліки. Загалом природоорієнтовані рішення мають значний потенціал для покращення міських екосистем, але їх успішне впровадження вимагає ретельного планування та врахування можливих негативних аспектів. Необхідно забезпечити фінансову стійкість проєктів, знизити соціальні ризики та активно залучати громадськість до процесу прийняття рішень. Успішна реалізація таких рішень може суттєво підвищити екологічну стійкість, економічний розвиток і соціальне благополуччя міських районів.

Висновки. Ідея природоорієнтованих рішень наразі все частіше впроваджується в пошуках вирішення проблеми втрати біорізноманіття, зміни клімату, сталого використання природних ресурсів і забруднення повітря разом із охороною здоров'я, соціальною справедливістю та зеленими економічними можливостями в містах. Отже, в епоху урбанізації та пов'язаних із нею викликів сталого розвитку й можливостей для бізнесу, для тих, хто бере участь у будівельному секторі та міському плануванні – концепція природоорієнтованих рішень виявляється дуже актуальною.

Більшість природоорієнтованих рішень, проаналізованих у цьому дослідженні, є цінними інструментами сталого міського розвитку. Вони можуть забезпечити багато переваг для міських жителів, таких як свіже повітря, волога, кисень, а також багато культурних і місцевих цінностей. Вони є дуже

ефективними просторами для пом'якшення зміни клімату, регулювання водних потоків і фіксації забруднювачів. Таким чином, вони являють собою ідеальні рішення, засновані на природі, для майже всіх поточних цілей сталого розвитку. Ці цілі включають пом'якшення ризику та адаптацію до наслідків екстремальних кліматичних умов, таких як повені та посухи, порушення поставок продовольства, соціальна справедливість тощо. Крім того, вони можуть служити буфером від високих температур повітря та забезпечувати вологою під час спеки. У цій статті стверджується, що природоорієнтовані рішення представляють чудову можливість із багатьма перевагами для великої кількості бенефіціарів у містах, які стикаються з наслідками зміни клімату. Природоорієнтовані рішення представляють варіанти дизайну для розширення існуючих і навіть створення нових інноваційних інструментів політики сталого розвитку.

Варто також зазначити конкретні висновки щодо трьох рівнів упровадження природоорієнтованих рішень у забудованому середовищі, розглянутих у цій статті: «зелені» будівельні матеріали, системи озеленення будівель і «зелені» міські ділянки.

Щодо «зелених» будівельних матеріалів ми підкреслюємо, що сучасне будівництво в основному базується на промислових матеріалах, які пропонують надійність і зручність, але ці властивості зазвичай досягаються за допомогою високотемпературних, ресурсомістких процесів, які створюють значні відходи та атмосферні викиди. Біокомпозитні матеріали, які спираються на екологічні переваги природних інгредієнтів і водночас виконують необхідні вимоги сучасного будівництва, можуть зробити значний внесок у перехід до циркулярної економіки.

Щодо систем озеленення будівель, то на ринку вже представлено величезну різноманітність таких систем, усі вони обіцяють пом'якшити негативний вплив архітектурного середовища. Однак вони мають різні екологічні, економічні та соціальні витрати, як на місці, так і поза ним – «екологічний» не обов'язково означає «сталий». Інтеграція підходів циклічної економіки може підвищити ефективність, достатність й узгодженість систем озеленення будівель. Перш ніж інвестувати гроші в природоорієнтовані рішення, дуже важливо визначити пріоритети цих систем щодо їх екологічних, економічних і соціальних наслідків за допомогою цілісного аналізу життєвого циклу.

Стосовно зелених міських ділянок, особливо в масштабі громадських відкритих просторів, ефективна інтеграція природоорієнтованих рішень може суттєво сприяти вирішенню більш масштабних суспільних проблем на місцевому рівні, роблячи міста більш здоровими та інклюзивними, а також ефективнішими у використанні ресурсів. Зокрема, міське виробництво харчових продуктів може підтримувати дії, спрямовані на стійкість міст, забезпечення продовольчої безпеки та соціальну згуртованість.

Нарешті, дуже важливо розглядати екологічні будівельні матеріали, системи озеленення та зелені ділянки як частину цілісної міської мережі, коли різні типи

природоорієнтованих рішень об'єднуються в інтегральний спосіб, створюючи багатомасштабну мережу міської синьо-зеленої інфраструктури, – тоді зміна парадигми в бік циркулярності справді відбудеться.

Також слід відзначити пріоритетність подальших досліджень природоорієнтованих рішень, пов'язаних із будівництвом. Орієнтовні тематичні дослідження, представлені тут, свідчать про те, що фінансування подальших пілотних досліджень і даних експериментального моніторингу має вирішальне значення. Систематичний аналіз продуктивності природоорієнтованих рішень необхідно проводити з посиланням на звичайні технічні системи, щоб можна було кількісно оцінити відносні переваги. Аналіз витрат і вигід від природоорієнтованих рішень порівняно з іншими рішеннями можна проводити лише в кожному конкретному випадку. При оцінці успіху природоорієнтованих рішень важливо врахувати, що вони повинні, по-перше, залучати велику кількість зацікавлених сторін та їхні інтереси; по-друге, бути доведеним як стійке рішення не лише з екологічної, але й з економічної та соціальної точки зору.

Список використаних джерел

1. United Nations Convention to Combat Desertification. The Global Land Outlook, 2nd ed. Bonn: UNCCD, 2022. 204 p.
2. Дудяк Н. В., Баруліна І. Ю. Розвиток сіті-фермерства в Україні як перспективний шлях подолання продовольчої кризи. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка*. 2022. № 12. С. 20–28. <https://doi.org/10.32851/2708-0366/2022.12.3>.
3. Onder S., Dursun S. Global climate changes and effects on urban climate of urban green spaces. *International Journal of Thermal and Environmental Engineering*. 2010. Vol. 3. No. 1. Pp. 37–41. <https://doi.org/10.5383/ijtee.03.01.006>.
4. Cities and Climate Change. Policy perspectives. National governments enabling local action. OECD, 2014. 21 p. URL: <https://www.oecd.org/env/cc/Cities-and-climate-change-2014-Policy-Perspectives-Final-web.pdf>.
5. Wen B., Musa S. N., Onn C. C., Ramesh S. et al. The role and contribution of green buildings on sustainable development goals. *Building and Environment*. 2020. Vol. 185. 107091. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107091>.
6. Ding Z., Fan, Z., Tam, V. W. Y., Bian, Yu. et al. Green building evaluation system implementation. *Building and Environment*. 2018. Vol. 133. Pp. 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.012>.
7. Bungau C. C., Bungau T., Prada I. F., Prada M. F. Green buildings as a necessity for sustainable environment development: dilemmas and challenges. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. No. 20. 13121. <https://doi.org/10.3390/su142013121>.
8. Twidell J., Weir T. Renewable energy resources, 3rd ed. Routledge: Taylor and Francis, 2015. 816 p. <https://doi.org/10.4324/9781315766416>.
9. Bhutta F. M. Application of smart energy technologies in building sector – future prospects. *2017 International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE)* (Lahore, 22–23 November 2017). Lahore, 2017.

<https://doi.org/10.1109/ece.2017.8248820>.

10. Yan R., Xiang X., Cai W., Ma M. Decarbonizing residential buildings in the developing world: historical cases from China. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 847. 157679. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157679>.

11. Nature-based solutions. EU-funded nbs research projects tackle the climate and biodiversity crisis. European Commission, 2023. URL: <https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs>.

12. Xie L., Bulkeley H. Nature-based solutions for urban biodiversity governance. *Environmental Science & Policy*. 2020. Vol. 110. Pp. 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.04.002>.

13. Dushkova D., Haase D. Not simply green: nature-based solutions as a concept and practical approach for sustainability studies and planning agendas in cities. *Land*. 2020. Vol. 9. No. 1. 19. <https://doi.org/10.3390/land9010019>.

14. Scott M., Lennon M., Haase D., Kazmierczak A. et al. Nature-based solutions for the contemporary city. *Planning Theory & Practice*. 2016. Vol. 17. No. 2. Pp. 267–300. <https://doi.org/10.1080/14649357.2016.1158907>.

15. Pearlmutter D., Theochari D., Nehls T., Pinho P. et al. Enhancing the circular economy with nature-based solutions in the built urban environment: green building materials, systems and sites. *Blue-Green Systems*. 2020. Vol. 2. No. 1. Pp. 46–72. <https://doi.org/10.2166/bgs.2019.928>.

16. Buchin O., Hoelscher M.-Th., Meier F., Nehls T., Ziegler F. Evaluation of the health-risk reduction potential of countermeasures to urban heat. *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 114. Pp. 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.038>.

17. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)/UN-Water. *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*. Paris: UNESCO, 2018. 154 p. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261424>.

18. Langergraber G., Pucher B., Simperler L., Kisser J. et al. Implementing nature-based solutions for creating a resourceful circular city. *Blue-Green Systems*. 2020. Vol. 2. No. 1. Pp. 173–185. <https://doi.org/10.2166/bgs.2020.933>.

19. Prieto-Sandoval V., Jaca C., Ormazabal M. Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 179. Pp. 605–615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>.

20. Browning W. D., Ryan C. O., Clancy J. O. 14 patterns of biophilic design. New York: Terrapin Bright Green, LLC, 2014. 64 p. URL: <https://www.terrapinbrightgreen.com/wp-content/uploads/2014/09/14-Patterns-of-Biophilic-Design-Terrapin-2014p.pdf>.

21. International Energy Outlook 2017. US Energy Information Administration, 2017. 76 p. URL: <https://www.eia.gov/outlooks/archive/ieo17>.

22. Huberman N., Pearlmutter D., Gal E., Meir I. A. Optimizing structural roof form for life-cycle energy efficiency. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 104. Pp. 336–349. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.008>.

23. Ляліна Н. П., Вотченікова О. В. Безпечність інноваційних будівельних матеріалів з технічних конопель. *Маркетингові стратегії, підприємництво і торгівля: сучасний стан, напрямки розвитку: матер. міжнар. наук.-практ. конф., (м. Київ, 20.04.2023).* Київ, 2023. С. 408–410.

24. Бородай С. П., Бородай Д. С., Бородай А. С., Бородай Я. О. Екологічні технології будівництва у сучасній народній архітектурі північно-східної України. *Містобудування та територіальне планування.* 2021. № 77. С. 85–99. URL:

<https://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/9205/1/Екологічні%20технології%20будівництва.pdf>.

25. Бікс Ю. С., Ратушняк Г. С., Ратушняк О. Г., Лялюк А. О. Установка для дослідження теплопровідності енергоефективних теплоізоляційних матеріалів рослинного походження. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві.* 2020. Т. 28. № 1. С. 100–107. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-1-100-107>.

26. Кузнецова А. Використання соломи в Україні – можливості та перспективи. Київ: Німецько-український аграрний діалог, Інститут економічних досліджень та політичних консультацій, 2010. 24 с. URL: http://www.ier.com.ua/files/publications/Policy_papers/Agriculture_dialogue/2010/AgPP_31_ukr.pdf.

27. Koniuk A., Danko K. Problems of architectural organization of environmental and energy-efficient housing on the example of environmental blocked residential building in the Poltava city. *Energy-Efficiency in Civil Engineering and Architecture.* 2018. No. 11. Pp. 112–119. <https://doi.org/10.32347/2310-0516.2018.11.112-119>.

28. Florentin Y., Pearlmutter D., Givoni B., Gal E. A life-cycle energy and carbon analysis of hemp-lime bio-composite building materials. *Energy and Buildings.* 2017. Vol. 156. Pp. 293–305. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.097>.

29. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Чинний від 2014-01-01. Вид. офіц. Київ, 2014. 55 с.

30. Getter K. L., Rowe D. B. The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience.* 2006. Vol. 41. No. 5. Pp. 1276–1285. <https://doi.org/10.21273/hortsci.41.5.1276>.

31. Perini K., Ottelé M., Haas E. M., Raiteri R. Greening the building envelope, facade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology.* 2011. Vol. 01. No. 01. Pp. 1–8. <https://doi.org/10.4236/oje.2011.11001>.

32. Yang B. Planting green to the sky: vertical greening of existing residential building facades in Gothenburg. Chalmers University of Technology, 2020. 41 p. URL: https://projects.arch.chalmers.se/wp-content/uploads/2020/06/Yang_Bonan_Building-design-for-sustainability_Mt20Booklet.pdf.

References

1. United Nations Convention to Combat Desertification (2022). *The Global Land Outlook*, 2nd ed. Bonn, UNCCD.
2. Dudyak, N. V., & Barulina, I. Yu. (2022). City farm development in Ukraine as a prospective way to overcome the food crisis. *Taurida Scientific Herald. Series: Economics*, 12, 20–28. <https://doi.org/10.32851/2708-0366/2022.12.3>.
3. Onder, S., & Dursun, S. (2010). Global climate changes and effects on urban climate of urban green spaces. *International Journal of Thermal and Environmental Engineering*, 3(1), 37–41. <https://doi.org/10.5383/ijtee.03.01.006>.
4. OECD (2014). *Cities and Climate Change. Policy perspectives*. National governments enabling local action. Available at: <https://www.oecd.org/env/cc/Cities-and-climate-change-2014-Policy-Perspectives-Final-web.pdf>.
5. Wen, B., Musa, S. N., Onn, C. C., Ramesh, S., Liang, L., Wang, W., & Ma, K. (2020). The role and contribution of green buildings on sustainable development goals. *Building and Environment*, 185, 107091. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107091>.
6. Ding, Z., Fan, Z., Tam, V. W. Y., Bian, Y., Li, S., Illankoon, I. M. C. S., & Moon, S. (2018). Green building evaluation system implementation. *Building and Environment*, 133, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.012>.
7. Bungau, C. C., Bungau, T., Prada, I. F., & Prada, M. F. (2022). Green buildings as a necessity for sustainable environment development: dilemmas and challenges. *Sustainability*, 14(20), 13121. <https://doi.org/10.3390/su142013121>.
8. Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable energy resources*, 3rd ed. Routledge, Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9781315766416>.
9. Bhutta, F. M. (2017). Application of smart energy technologies in building sector – future prospects. *2017 International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE)*, Lahore, 22–23 November. <https://doi.org/10.1109/ece.2017.8248820>.
10. Yan, R., Xiang, X., Cai, W., & Ma, M. (2022). Decarbonizing residential buildings in the developing world: historical cases from China. *Science of The Total Environment*, 847, 157679. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157679>.
11. European Commission (2016). *Nature-based solutions. EU-funded nbs research projects tackle the climate and biodiversity crisis*. Available at: <https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs>.
12. Xie, L., & Bulkeley, H. (2020). Nature-based solutions for urban biodiversity governance. *Environmental Science & Policy*, 110, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.04.002>.
13. Dushkova, D., & Haase, D. (2020). Not simply green: nature-based solutions as a concept and practical approach for sustainability studies and planning agendas in cities. *Land*, 9(1), 19. <https://doi.org/10.3390/land9010019>.

14. Scott, M., Lennon, M., Haase, D., Kazmierczak, A., Clabby, G., & Beatley, T. (2016). Nature-based solutions for the contemporary city. *Planning Theory & Practice*, 17(2), 267–300. <https://doi.org/10.1080/14649357.2016.1158907>.
15. Pearlmutter, D., Theochari, D., Nehls, T., Pinho, P., Piro, P., Korolova, A., Papaefthimiou, S., ... & Pucher, B. (2019). Enhancing the circular economy with nature-based solutions in the built urban environment: green building materials, systems and sites. *Blue-Green Systems*, 2(1), 46–72. <https://doi.org/10.2166/bgs.2019.928>.
16. Buchin, O., Hoelscher, M.-Th., Meier, F., Nehls, T., & Ziegler, F. (2016). Evaluation of the health-risk reduction potential of countermeasures to urban heat islands. *Energy and Buildings*, 114, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.038>.
17. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)/UN-Water (2018). *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*. Paris, UNESCO. Available at: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261424>.
18. Langergraber, G., Pucher, B., Simperler, L., Kisser, J., Katsou, E., Buehler, D., Mateo, M. C. G., & Atanasova, N. (2020). Implementing nature-based solutions for creating a resourceful circular city. *Blue-Green Systems*, 2(1), 173–185. <https://doi.org/10.2166/bgs.2020.933>.
19. Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 179, 605–615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>.
20. Browning, W. D., Ryan, C. O., & Clancy, J. O. (2014). *14 patterns of biophilic design*. New York, Terrapin Bright Green, LLC. Available at: <https://www.terrapinbrightgreen.com/wp-content/uploads/2014/09/14-Patterns-of-Biophilic-Design-Terrapin-2014p.pdf>.
21. International Energy Outlook 2017 (2017). *US Energy Information Administration*. Available at: <https://www.eia.gov/outlooks/archive/ieo17>.
22. Huberman, N., Pearlmutter, D., Gal, E., & Meir, I. A. (2015). Optimizing structural roof form for life-cycle energy efficiency. *Energy and Buildings*, 104, 336–349. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.008>.
23. Lyalyina, N. P., & Votchenikova, O. V. (2023). Safety of innovative building materials from technical hemp. International science and practice conference “Marketing strategies, entrepreneurship, and trade: current state, directions of development”. Kyiv.
24. Borodai, S. P., Borodai, D. S., Borodai, A. S., & Borodai, Y. O. (2021). Ecological construction technologies in contemporary folk architecture of northeastern Ukraine. *Urban Planning and Territorial Planning*, 77, 85–99. Available at: <https://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/9205/1/Екологічні%20технології%20будівництва.pdf>.

25. Biks, Y. S., Ratushnyak, G. S., Ratushnyak, O. G., & Lyalyuk, A. O. (2020). Installation for investigating the thermal conductivity of energy-efficient thermal insulation materials of plant origin. *Construction Science and Technology*, 28(1), 100–107. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-1-100-107>.
26. Kuznetsova, A. (2010). Use of straw in Ukraine – opportunities and prospects. German-Ukrainian agricultural dialogue. Institute of Economic Research and Political Consultations. Available at: http://www.ier.com.ua/files/publications/Policy_papers/Agriculture_dialogue/2010/AgPP_31_eng.pdf.
27. Koniuk, A., & Danko, K. (2018). Problems of architectural organization of environmental and energy-efficient housing on the example of environmental blocked residential building in the Poltava city. *Energy-Efficiency in Civil Engineering and Architecture*, 11, 112–119. <https://doi.org/10.32347/2310-0516.2018.11.112-119>.
28. Florentin, Y., Pearlmutter, D., Givoni, B., & Gal, E. (2017). A life-cycle energy and carbon analysis of hemp-lime bio-composite building materials. *Energy and Buildings*, 156, 293–305. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.097>.
29. DSTU Б B.2.6-189:2013 (2014). Methods of choosing heat-insulating material for building insulation. Valid from 2014-01-01. Kyiv.
30. Getter, K. L., & Rowe, D. B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 41(5), 1276–1285. <https://doi.org/10.21273/hortsci.41.5.1276>.
31. Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Greening the building envelope, facade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology*, 01(01), 1–8. <https://doi.org/10.4236/oje.2011.11001>.
32. Yang, B. (2020). Planting green to the sky: vertical greening of existing residential building facades in Gothenburg. Chalmers University of Technology. Available at: https://projects.arch.chalmers.se/wp-content/uploads/2020/06/Yang_Bonan_Building-design-for-sustainability_Mt20Booklet.pdf.