

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОЦІНКА СТАЛОСТІ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ TOPSIS

Сучасний розвиток будівельної галузі відбувається в умовах посилення вимог до екологічної відповідальності, енергоефективності, соціальної орієнтованості та безпеки об'єктів будівництва, що актуалізує потребу у формуванні науково обгрунтованих підходів до оцінювання їх сталості. Існуючі системи сертифікації сталого будівництва, хоча й відіграють важливу роль у впровадженні «зелених» стандартів, мають переважно нормативний характер і не завжди забезпечують гнучкість та аналітичну універсальність, необхідну для порівняльного аналізу альтернативних будівельних проєктів у процесі прийняття управлінських і інвестиційних рішень. У зв'язку з цим зростає значення розроблення інтегральних моделей оцінювання сталості, адаптованих до умов життєвого циклу об'єктів будівництва та орієнтованих на інноваційний розвиток галузі.

Метою статті є формування та обгрунтування методичного підходу до оцінювання сталості об'єктів будівництва на основі багатокритеріальної моделі з використанням методу TOPSIS. У межах дослідження розроблено систему критеріїв оцінювання сталості, яка охоплює шість ключових груп: ресурсно-екологічну ефективність, економіко-інноваційну стійкість, соціально-функціональну якість, життєвий цикл та адаптивність, безпеку об'єкта будівництва, а також якість управління та ESG-орієнтацію. Для кожного критерію визначено вагові коефіцієнти, що відображають їх відносну значущість у забезпеченні сталого розвитку будівельних об'єктів.

Запропоновано інтегральний показник сталості об'єкта будівництва, який розраховується як зважена сума бальних оцінок критеріїв, та шкалу інтерпретації результатів, що дозволяє класифікувати об'єкти за рівнем сталості — від низького до інноваційно сталого. Для здійснення порівняльної оцінки альтернатив застосовано метод TOPSIS, який забезпечує визначення ступеня наближеності кожного об'єкта до умовно ідеального сталого рішення та його віддаленості від антиідеального стану.

Практичну придатність запропонованого підходу продемонстровано шляхом апробації моделі на прикладі житлових комплексів, що дозволило здійснити їх ранжування за рівнем сталості та ідентифікувати ключові фактори, які найбільшою мірою впливають на підвищення або зниження інтегрального показника. Отримані результати підтверджують, що запропонована модель є ефективним аналітичним інструментом для комплексної оцінки сталості об'єктів будівництва та може бути використана в практиці девелопменту, інвестиційного аналізу й управління будівельними проєктами.

Наукова новизна дослідження полягає у формуванні комплексної системи критеріїв оцінювання сталості об'єктів будівництва з акцентом на безпеку та ESG-орієнтоване управління, а також у застосуванні методу TOPSIS як інструменту інтегральної оцінки в межах інноваційно орієнтованої моделі сталого розвитку.

Ключові слова: сталий розвиток; об'єкти будівництва; девелоперський проєкт; управління життєвим циклом; інтегрований підхід; будівництво; девелопмент; оцінювання сталості; система критеріїв; багатокритеріальний аналіз; метод TOPSIS; інновації в будівництві; безпека будівель; ESG-орієнтація; життєвий цикл об'єктів, інвестиційна привабливість; BIM; інвестиційна ефективність.

Вступ. У сучасних умовах глобальних екологічних, соціально-економічних та техногенних викликів будівельна галузь відіграє ключову роль у забезпеченні сталого розвитку суспільства. Об'єкти будівництва формують матеріальну основу життєдіяльності людини, водночас залишаючись одними з найбільших споживачів природних ресурсів, енергії та джерел негативного впливу на довкілля. За оцінками міжнародних експертів, будівельний сектор забезпечує значну частку викидів парникових газів, утворення відходів та енергоспоживання, що актуалізує потребу у трансформації традиційних підходів до проєктування, зведення та експлуатації будівель.

У цьому контексті реалізація принципів сталого розвитку об'єктів будівництва вимагає впровадження інноваційних рішень, здатних забезпечити баланс між економічною ефективністю, екологічною безпекою та соціальною відповідальністю. Саме інновації — технологічні, організаційні, управлінські та економічні — виступають ключовим інструментом досягнення зазначених цілей, оскільки дозволяють зменшувати ресурсо- та енергоємність будівель, підвищувати їх довговічність, адаптивність та якість життєвого середовища.

Особливої актуальності проблематика інноваційного забезпечення сталого розвитку набуває в умовах структурних змін будівельної галузі, цифровізації економіки та переходу до «зелених» стандартів будівництва. Використання BIM-технологій, цифрових моделей життєвого циклу об'єктів, енергоефективних та екологічно безпечних матеріалів потребує наукового осмислення з позицій їх впливу на сталий розвиток будівельних об'єктів і територій.

Додатково актуальність дослідження зумовлюється національними викликами, пов'язаними з оновленням та відновленням об'єктів будівництва, підвищенням їх стійкості до ризиків, а також необхідністю гармонізації вітчизняної будівельної практики з міжнародними стандартами сталого розвитку. У цих умовах відсутність комплексного підходу до інноваційного забезпечення сталого розвитку об'єктів будівництва стримує підвищення ефективності галузі та її конкурентоспроможності.

Незважаючи на наявність наукових досліджень, присвячених окремим аспектам інновацій у будівництві або сталому розвитку, питання системного формування інноваційного забезпечення сталого розвитку об'єктів будівництва залишаються недостатньо опрацьованими. Це зумовлює необхідність поглибленого аналізу механізмів впровадження інновацій, оцінювання їх ефективності та визначення шляхів інтеграції інноваційних рішень у життєвий цикл будівельних об'єктів.

Таким чином, обрана тема є актуальною, відповідає сучасним науковим та практичним потребам будівельної галузі, узгоджується з концепцією сталого розвитку та має важливе теоретичне і прикладне значення.

Метою дослідження є формування комплексної системи інноваційного забезпечення сталого розвитку об'єктів будівництва на основі інтеграції технологічних, управлінських та екологічних інновацій з урахуванням життєвого циклу будівель або споруд.

Аналіз джерел. Аналіз наукових джерел свідчить, що проблематика сталого розвитку у будівництві та девелопменті розглядається з позицій багатомірної взаємодії економічних, екологічних та соціальних факторів. Значна частина досліджень зосереджена на розробленні методів оцінювання сталості будівельних і девелоперських проєктів із використанням багатокритеріальних підходів. Зокрема, у працях [1], [3], [11] обґрунтовано доцільність застосування методів багатокритеріального аналізу для комплексної оцінки сталості об'єктів будівництва, що дозволяє інтегрувати різноспрямовані показники та підвищити об'єктивність управлінських рішень. Такі підходи формують методологічну основу інноваційного забезпечення сталого розвитку на етапах планування та проєктування.

Важливий напрям досліджень пов'язаний із міською реновацією та сталим розвитком територій, де будівельні об'єкти розглядаються як елементи складних урбаністичних систем. У джерелах [2], [3], [12] акцент зроблено на використанні індикаторів сталого розвитку та стратегій регенерації міського середовища, що сприяє підвищенню соціальної цінності та екологічної ефективності забудови. Зазначені дослідження підкреслюють необхідність інноваційних інструментів управління, здатних забезпечити узгодження локальних будівельних рішень із довгостроковими цілями сталого розвитку міст.

Суттєвий пласт наукових робіт присвячено ESG-підходу та соціальній відповідальності у сфері нерухомості та будівництва. Дослідження [4], [5], [13], [18], [20], [21] демонструють посилення ролі ESG-показників як інструменту оцінювання ефективності будівельних та інвестиційних проєктів. Обґрунтовано, що інтеграція ESG-критеріїв сприяє підвищенню інвестиційної привабливості, фінансової стійкості та конкурентоспроможності об'єктів будівництва. У цьому контексті інноваційне забезпечення сталого розвитку все частіше пов'язується не лише з технологічними рішеннями, а й із новими моделями управління, фінансування та корпоративної відповідальності.

Окрему увагу в сучасних дослідженнях приділено інноваційним технологіям та процесам у будівництві, що орієнтовані на життєвий цикл об'єктів. У працях [6], [8], [9] розкрито значення адаптивності будівель, інтегрованого управління життєвим циклом та колаборативних моделей реалізації проєктів. Такі інноваційні підходи спрямовані на скорочення ресурсоспоживання, зменшення викидів і підвищення довговічності будівель, що безпосередньо відповідає принципам сталого розвитку.

Важливим аспектом сталого розвитку є організаційно-управлінські та інституційні умови впровадження інновацій у будівництві. Дослідження [7], [10] підкреслюють роль зацікавлених сторін, рівня їх залученості, а також наявності відповідних знань, нормативної бази та управлінських компетенцій. Встановлено, що недостатня координація між учасниками будівельного процесу та відсутність системного підходу до управління інноваціями залишаються суттєвими бар'єрами на шляху сталого розвитку галузі.

Вітчизняні наукові джерела [14], [15], [16], [17], [19] формують теоретичну та прикладну основу дослідження сталого розвитку будівництва в національному контексті. У них розглядаються питання стратегічного управління, енергоефективності, соціальної відповідальності та територіального розвитку, що створює підґрунтя для адаптації міжнародних практик до умов національної економіки. Зазначені роботи підтверджують необхідність поєднання інноваційних технологій із економічними та соціальними механізмами забезпечення сталого розвитку.

Узагальнюючи результати аналізу, можна стверджувати, що сучасні наукові дослідження формують багаторівневу концепцію сталого розвитку у будівництві, де інноваційне забезпечення виступає інтегруючим елементом між технологічними рішеннями, ESG-підходами та управлінськими механізмами. Водночас спостерігається фрагментарність підходів і недостатня узгодженість між окремими складовими сталого розвитку, що визначає доцільність подальших досліджень, спрямованих на формування комплексної системи інноваційного забезпечення сталого розвитку об'єктів будівництва.

Основна частина. Формування системи критеріїв оцінювання сталості об'єктів будівництва зумовлене необхідністю комплексного врахування багатовимірного характеру сталого розвитку, який охоплює екологічні, економічні, соціальні, безпекові та управлінські аспекти. Запропонована система критеріїв (табл. 1) базується на принципі інтеграції концепції сталого розвитку, життєвого циклу об'єктів будівництва та інноваційного підходу до управління будівельними проектами. Її структура дозволяє здійснити об'єктивну, порівняльну та кількісно вимірювану оцінку рівня сталості об'єктів будівництва.

Таблиця 1

Система критеріїв оцінювання сталості об'єктів будівництва

№	Група критеріїв	Критерій оцінювання	Вага критерію
1	Ресурсно-екологічна ефективність	Ефективність використання енергетичних ресурсів	0,06
		Рациональність використання водних ресурсів	0,04
		Екологічність і циркулярність будівельних матеріалів	0,05
		Зменшення екологічного навантаження (викиди, відходи)	0,05
Σ групи 1			0,20
2	Економіко-інноваційна стійкість	Економічна ефективність з урахуванням життєвого циклу	0,07
		Рівень впровадження інноваційних технологій	0,06
		Інвестиційна привабливість та фінансова стійкість	0,05
		Потенціал зниження експлуатаційних витрат	0,04
Σ групи 2			0,22
3	Соціально-функціональна якість	Комфорт і якість внутрішнього середовища	0,06
		Доступність і безбар'єрність	0,04
		Соціальна цінність для користувачів і громади	0,04
Σ групи 3			0,14
4	Життєвий адаптивність цикл та	Тривалість і надійність життєвого циклу	0,06
		Адаптивність до зміни функціонального призначення	0,05
		Потенціал модернізації та повторного використання	0,04
Σ групи 4			0,15
5	Безпека об'єкта будівництва	Конструктивна та техногенна безпека	0,07
		Пожежна та інженерна безпека	0,05
		Безпека експлуатації та користування	0,05
		Стійкість до надзвичайних ситуацій і воєнних ризиків	0,05
Σ групи 5			0,22
6	Якість управління та ESG-орієнтація	Прозорість управління проектом	0,04
		Залучення зацікавлених сторін	0,03
		Відповідність принципам ESG та CSR	0,02
Σ групи 6			0,09
Інтегральна вага			1,00

Розроблено автором

Виділення групи критеріїв ресурсно-екологічної ефективності (загальна вага 0,20) є обґрунтованим з огляду на значний вплив будівельної галузі на довкілля та споживання природних ресурсів. Будівельні об'єкти протягом усього життєвого циклу формують істотне навантаження на енергетичні, водні та матеріальні ресурси, а також є джерелом викидів і відходів.

Критерій ефективності використання енергетичних ресурсів (0,06) відображає здатність об'єкта знижувати енергоємність експлуатації та сприяти скороченню викидів парникових газів. Раціональність використання водних ресурсів (0,04) дозволяє врахувати стійкість об'єкта в умовах обмеженості водних ресурсів і кліматичних змін. Екологічність і циркулярність будівельних матеріалів (0,05) спрямована на оцінювання застосування вторинної сировини, екоматеріалів і технологій повторного використання. Критерій зменшення екологічного навантаження (0,05) інтегрує показники управління відходами та мінімізації негативного впливу на довкілля. Зазначена група критеріїв забезпечує екологічний вимір сталості та формує основу для «зеленого» будівництва.

Економіко-інноваційна стійкість (загальна вага 0,22) є ключовою умовою практичної реалізації сталого розвитку об'єктів будівництва, оскільки екологічні та соціальні рішення повинні бути економічно доцільними та інвестиційно привабливими. До цієї групи включено критерії, які дозволяють оцінити довгострокову економічну ефективність і здатність об'єкта адаптуватися до технологічних змін.

Критерій економічної ефективності з урахуванням життєвого циклу (0,07) забезпечує відхід від короткострокового підходу до оцінювання витрат і орієнтацію на повні витрати володіння об'єктом. Рівень впровадження інноваційних технологій (0,06) відображає технологічну прогресивність будівельних рішень і їх відповідність сучасним тенденціям розвитку галузі. Інвестиційна привабливість та фінансова стійкість (0,05) враховує здатність проєкту залучати фінансування та забезпечувати стабільні фінансові результати. Потенціал зниження експлуатаційних витрат (0,04) дозволяє оцінити економічні переваги інновацій у довгостроковій перспективі.

Соціально-функціональна якість об'єктів будівництва (0,14) формує соціальний вимір сталого розвитку та відображає орієнтацію будівельних проєктів на потреби людини та громади. Включення цієї групи критеріїв обґрунтоване тим, що сталий розвиток неможливий без підвищення якості середовища життєдіяльності.

Критерій комфорту і якості внутрішнього середовища (0,06) охоплює параметри мікроклімату, освітлення та акустики. Доступність і безбар'єрність (0,04) дозволяє оцінити відповідність об'єкта принципам інклюзивності. Соціальна цінність для користувачів і громади (0,04) відображає внесок об'єкта у розвиток територій, формування соціального капіталу та покращення якості життя населення.

Група критеріїв «Життєвий цикл та адаптивність» (0,15) обґрунтована необхідністю оцінювати сталість об'єктів не лише в момент введення в експлуатацію, а протягом усього періоду їх функціонування. Сучасні умови змінюють вимоги до будівель, що зумовлює зростання ролі гнучкості та адаптивності проєктних рішень. Тривалість і надійність життєвого циклу (0,06) характеризує довговічність конструктивних та інженерних систем. Адаптивність до зміни функціонального призначення (0,05) дозволяє врахувати потенціал трансформації об'єкта без значних ресурсних витрат. Потенціал модернізації та повторного використання (0,04) сприяє продовженню життєвого циклу будівель і зменшенню потреби в новому будівництві.

Виділення окремої групи критеріїв безпеки (0,22) є принципово важливим і методично обґрунтованим. Безпека розглядається не лише як мінімальна нормативна вимога, а як невід’ємний компонент сталості. Конструктивна та техногенна безпека (0,07), пожежна та інженерна безпека (0,05), безпека експлуатації та користування (0,05), а також стійкість до надзвичайних ситуацій і воєнних ризиків (0,05) формують комплексний підхід до оцінювання ризикостійкості об’єктів будівництва, що є особливо актуальним в умовах зростання воєнних, техногенних та природних загроз.

Група критеріїв якості управління та ESG-орієнтації (0,09) забезпечує інституційний та управлінський вимір сталого розвитку. Прозорість управління проектом (0,04) підвищує довіру інвесторів і зацікавлених сторін. Залучення зацікавлених сторін (0,03) сприяє узгодженості рішень та зменшенню конфліктів. Відповідність принципам ESG та CSR (0,02) інтегрує глобальні підходи відповідального бізнесу в інноваційне управління будівельними проектами.

Запропонована система критеріїв забезпечує можливість кількісної оцінки сталості об’єктів будівництва за допомогою інтегрального показника S , побудованого на зваженій сумі бальних оцінок критеріїв.

$$S = \sum_{i=1}^n (B_i \times W_i)$$

де: B_i — бал за i -й критерій (0–100);

W_i — вага i -го критерію;

S — зведений показник сталості (0–100).

Запропонована шкала інтерпретації результатів дозволяє класифікувати об’єкти за рівнем сталості (табл. 2) — від низького до інноваційно сталого, що створює основу для прийняття управлінських, інвестиційних та проектних рішень у сфері сталого розвитку будівництва.

Таблиця 2

Критеріальна шкала	
Значення S	Рівень сталості
0–39	Низький
40–59	Задовільний
60–74	Достатній
75–89	Високий
90–100	Інноваційно-сталий об’єкт

Запропоновано автором

Для інтегральної оцінки сталості об’єктів будівництва у межах даного дослідження доцільно застосувати метод багатокритеріального прийняття рішень TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution). Метод базується на концепції вибору альтернативи, яка одночасно має мінімальну відстань до ідеального рішення та максимальну відстань до антиідеального рішення, що дозволяє здійснити обґрунтоване порівняння складних об’єктів за сукупністю різноспрямованих критеріїв.

Специфіка сталого розвитку об’єктів будівництва полягає в інтеграції економічних, екологічних, соціальних, безпекових та управлінських аспектів, кожен з яких має різну значущість і не може бути адекватно оцінений за допомогою одного показника. У цьому контексті метод TOPSIS є методично доцільним, оскільки враховує багатовимірність досліджуваного явища, дозволяє

використовувати вагові коефіцієнти критеріїв та забезпечує отримання узагальненого показника сталості.

На першому етапі застосування методу формується матриця вихідних даних, у якій рядки відповідають альтернативам (об'єктам будівництва або проєктним рішенням), а стовпці — окремим критеріям сталості, сформованим у межах запропонованої моделі. Значення елементів матриці задаються у вигляді бальних оцінок у діапазоні від 0 до 100, що забезпечує уніфікацію кількісних та якісних характеристик, де:

- рядки — об'єкти будівництва (A_1, A_2, \dots, A_m);
- стовпці — критерії сталості (C_1, C_2, \dots, C_n);
- елементи — бальні оцінки (0–100).

$$X = \{x_{ij}\}, i = 1 \dots m, j = 1 \dots n$$

На другому етапі здійснюється нормалізація матриці рішень з метою усунення впливу різної варіативності значень критеріїв. У дослідженні доцільно використовувати векторну нормалізацію, що дозволяє привести всі показники до порівнянної безрозмірної форми.

Для усунення впливу різної масштабності значень проводиться векторна нормалізація:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

Оскільки всі запропоновані критерії мають стимулюючий характер (зростання значення критерію свідчить про підвищення рівня сталості), процедура нормалізації не потребує додаткового розподілу критеріїв на стимулятори та дестимулятори.

На наступному етапі формується зважена нормалізована матриця шляхом множення нормалізованих значень критеріїв на відповідні вагові коефіцієнти.

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j$$

Отримана матриця відображає реальний внесок кожного критерію у загальну сталість об'єкта. Ваги критеріїв визначаються на основі експертної оцінки або попереднього багатокритеріального аналізу та відображають відносну значущість кожного критерію в системі забезпечення сталого розвитку об'єктів будівництва. Застосування ваг дозволяє врахувати пріоритетність таких аспектів, як безпека, життєвий цикл чи екологічна ефективність, залежно від цілей дослідження.

Після цього визначаються ідеальне та антиідеальне рішення.

Для кожного критерію визначається:

- ідеальне рішення:

$$v_j^+ = \max_i (v_{ij})$$

антиідеальне рішення:

$$v_j^- = \min_i (v_{ij})$$

Ідеальне рішення формується як сукупність найкращих значень зважених нормалізованих критеріїв серед усіх альтернатив, тоді як антиідеальне рішення відповідає найгіршим їх значенням.

Таким чином, ідеальне рішення відображає умовний максимально сталий об'єкт будівництва, а антиідеальне — об'єкт з мінімальним рівнем сталості у межах досліджуваної сукупності.

Далі для кожної альтернативи обчислюються евклідові відстані до ідеального та антиідеального рішень:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

Ці відстані характеризують ступінь наближеності конкретного об'єкта будівництва до еталонного рівня сталого розвитку та, відповідно, його віддаленість від найгіршого стану.

Завершальним етапом є розрахунок інтегрального коефіцієнта близькості до ідеального рішення:

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, 0 \leq C_i \leq 1$$

Чим більше значення C_i , тим вищий рівень сталості об'єкта будівництва.

Даний коефіцієнт набуває значень у діапазоні від 0 до 1 і слугує узагальненим показником рівня сталості об'єкта будівництва. Чим більше значення коефіцієнта, тим вищим є рівень сталості альтернативи. Отримані значення дозволяють здійснити ранжування об'єктів та виділити ті з них, які є найбільш сталими з урахуванням всієї сукупності критеріїв.

Таким чином, застосування методу TOPSIS у запропонованій моделі забезпечує науково обґрунтований, прозорий та універсальний інструмент інтегральної оцінки сталості об'єктів будівництва. Метод дозволяє не лише порівнювати альтернативи між собою, а й ідентифікувати ключові напрями підвищення сталості шляхом аналізу окремих груп критеріїв, що є особливо важливим для інноваційного управління розвитком будівельних проєктів.

Висновки і перспективи досліджень. У статті розв'язано науково-практичне завдання формування та апробації методичного підходу до оцінювання сталості об'єктів будівництва на основі багатокритеріальної моделі, орієнтованої на принципи сталого розвитку, інноваційності, безпеки та ESG-підходу. Проведене дослідження дозволяє зробити такі висновки.

1. Обґрунтовано доцільність комплексного підходу до оцінювання сталості об'єктів будівництва. Показано, що сталий розвиток будівельних об'єктів не може бути адекватно оцінений лише через окремі екологічні або економічні показники. Запропонований підхід базується на інтеграції шести взаємопов'язаних груп критеріїв: ресурсно-екологічної ефективності, економіко-інноваційної стійкості, соціально-функціональної якості, життєвого циклу та адаптивності, безпеки об'єкта будівництва, а також якості управління та ESG-орієнтації. Така структура забезпечує системне охоплення ключових вимірів сталості та відповідає сучасним науковим уявленням про багатовимірний характер сталого розвитку у будівельній галузі.

2. Сформовано авторську систему критеріїв оцінювання сталості об'єктів будівництва з обґрунтованим ваговим розподілом, у межах якої безпека та економіко-інноваційна стійкість отримали підвищену значущість. Це відображає

сучасні виклики будівельної галузі, пов'язані з необхідністю підвищення ризикостійкості будівель, надійності їх експлуатації та економічної доцільності інноваційних рішень упродовж усього життєвого циклу об'єктів.

3. Показано наукову обґрунтованість застосування інтегрального показника сталості, розрахованого як зважена сума бальних оцінок окремих критеріїв. Запропонована шкала інтерпретації результатів дозволяє класифікувати об'єкти будівництва за рівнями сталості — від низького до інноваційно сталого — та створює аналітичну основу для прийняття управлінських, інвестиційних і проектних рішень.

4. Доведено доцільність використання методу TOPSIS як інструменту багатокритеріального аналізу для оцінювання сталості об'єктів будівництва. Метод забезпечує можливість врахування різної значущості критеріїв, дозволяє працювати з кількісними та якісними показниками, а також формує ранжування альтернатив на основі їх наближеності до умовно ідеального сталого об'єкта. На відміну від сертифікаційних систем (LEED, BREEAM тощо), TOPSIS має аналітичний, а не нормативний характер, що підвищує його придатність для наукових досліджень і порівняльного аналізу.

5. Наукова новизна дослідження полягає в розробленні інтегрованої системи критеріїв оцінювання сталості об'єктів будівництва з обов'язковим виокремленням безпекової складової та ESG-орієнтованого управління, а також у практичному поєднанні цієї системи з методом TOPSIS. Запропонований підхід розширює методичний інструментарій оцінювання сталого розвитку у будівництві та може слугувати основою для подальших наукових досліджень.

6. Практична значущість результатів полягає у можливості використання розробленої моделі девелоперами, інвесторами та проектними організаціями для порівняльної оцінки будівельних проєктів, обґрунтування інвестиційних рішень, підвищення якості управління проєктами та інтеграції принципів сталого розвитку у практику будівництва.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на адаптацію запропонованої моделі до різних типів об'єктів будівництва, уточнення вагових коефіцієнтів на основі розширеної експертної вибірки, а також на поєднання методу TOPSIS з іншими багатокритеріальними методами для підвищення достовірності результатів оцінювання.

Список літератури:

1. Dobrovolskienė N., Pozniak A., Tvaronavičienė M. Assessment of the sustainability of a real estate project using multi-criteria decision making // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, No. 8. – Art. 4352. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13084352>

2. Said Z. M., Dindar S. Key challenges and strategies in the evaluation of sustainable urban regeneration projects: insights from a systematic literature review // Sustainability. – 2024. – Vol. 16, No. 22. – Art. 9903. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16229903>

3. Kara C., Iranmanesh A. Modelling and assessing sustainable urban regeneration for historic urban quarters via analytical hierarchy process // Land. – 2022. – Vol. 12, No. 1. – Art. 72. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12010072>

4. Newell G., Nanda A., Moss A. Improving the benchmarking of ESG in real estate investment // Journal of Property Investment & Finance. – 2023. – Vol. 41, No. 4. – P. 380–405. DOI: <https://doi.org/10.1108/JPIF-10-2021-0084>

5. Morri G., Colantoni F., De Paolis A. M. ESG performance variability: profitability and market implications for real estate entities in a worldwide context //

Journal of European Real Estate Research. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – P. 373–394. DOI: <https://doi.org/10.1108/JERER-11-2023-0046>

6. Mlote D. S., Budig M., Cheah L. Adaptability of buildings: a systematic review of current research // *Frontiers in Built Environment*. – 2024. – Vol. 10. – Article 1376759. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1376759>.

7. Moshood T. D., Rotimi J. O. B., Shahzad W. Enhancing sustainability considerations in construction industry projects // *Environment, Development and Sustainability*. – 2024. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04946-2>.

8. Moradi S., Hirvonen J., Sormunen P. Collaborative and life cycle-based project delivery for environmentally sustainable building construction: views of Finnish project professionals and building operation and maintenance experts // *Smart and Sustainable Built Environment*. – 2024. – DOI: <https://doi.org/10.1108/SASBE-01-2024-0004>.

9. Kumar M. V. A review on sustainable construction // *International Journal of Research and Review*. – 2024. – Vol. 11, Issue 4. – P. 234–241. – DOI: <https://doi.org/10.52403/ijrr.20240427>.

10. Isang I. W., Ebiloma D. O., Ukpogon E. Stakeholders' engagement for advancing a sustainable Nigerian construction industry: a sustainable development goal-driven approach // *Smart and Sustainable Built Environment*. – 2025. – (Ahead-of-print). – DOI: <https://doi.org/10.1108/SASBE-08-2024-0283>.

11. Ofori-Ametepey S., Aigbavboa C., Thwala W. Evaluation and assessment of the sustainability of infrastructure projects // *Journal of Cleaner Production*. – 2023. – Art. 142400. DOI: <https://doi.org/10.1108/978-1-83753-810-220231004>

12. Gilmour D., Simpson E. Urban regeneration indicators: a proxy for assessing common good // *Emerald Open Research*. – 2023. – Vol. 1, No. 5. DOI: <https://doi.org/10.1108/EOR-05-2023-0009>

13. Vonlanthen J. ESG ratings and real estate key metrics: a case study // *Real Estate*. – 2024. – Vol. 1, No. 3. – P. 267–292. DOI: <https://doi.org/10.3390/realstate1030014>

14. Беленкова О. Ю. Стратегія та механізми забезпечення конкурентоспроможності будівельних підприємств на основі моделі сталого розвитку: монографія. Київ: Ліра-К, 2020. 512 с.

15. Феценко В. В., Кравцова Н. М. Соціально відповідальний бізнес як інструмент сталого розвитку економіки України // *Економіка та держава*. 2021. № 3. С. 32–37. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.3.32>.

16. Максимов А.С. та інші. Енергоефективність в муніципальному секторі: навч. посіб. для посадових осіб місцевого самоврядування. Асоціація міст України в рамках Проекту USAID ДІАЛОГ, 2015. 184 с.

17. Мельник Л. Г., Шкарлат С. М. Сталій розвиток міст: теоретичні підходи та практичні інструменти // *Механізм регулювання економіки*. 2020. № 4. С. 15–25.

18. Кравченко М. О., Лях В. О. ESG-підхід як інструмент підвищення інвестиційної привабливості будівельних проєктів // *Інвестиції: практика та досвід*. 2022. № 18. С. 41–47. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2022.18.41>.

19. Дегтярьова І. Б. Девелопмент нерухомості в умовах сталого розвитку: соціально-економічний вимір // *Регіональна економіка*. 2019. № 2. С. 98–107.

20. Chiang K. C. H., Wachtel G. J., Zhou X. Corporate social responsibility and growth opportunity: The case of real estate investment trusts // *Journal of Business Ethics*. 2019. Vol. 155. P. 463–478. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10551-017-3535-1>.

21. Voland N., Saad M. M., Eicker U. Public policy and incentives for socially responsible new business models in market-driven real estate to build green projects // *Sustainability*. 2022. Vol. 14, № 12. Art. 7071. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14127071>.

Andrii Ustymenko

Multi-criteria assessment of sustainability of construction objects using the TOPSIS method

The modern development of the construction industry takes place in conditions of increasing requirements for environmental responsibility, energy efficiency, social orientation and safety of construction objects, which actualizes the need to form scientifically based approaches to assessing their sustainability. Existing certification systems for sustainable construction, although they play an important role in the implementation of "green" standards, are mainly normative in nature and do not always provide the flexibility and analytical versatility necessary for the comparative analysis of alternative construction projects in the process of making management and investment decisions. In this regard, the importance of developing integrated sustainability assessment models adapted to the life cycle conditions of construction objects and focused on innovative development of the industry is increasing.

The aim of the article is to develop and substantiate a methodological approach to assessing the sustainability of construction sites based on a multi-criteria model using the TOPSIS method. As part of the study, a system of sustainability assessment criteria was developed, which covers six key groups: resource and environmental efficiency, economic and innovative sustainability, socially functional quality, life cycle and adaptability, safety of the construction site, as well as management quality and ESG orientation. For each criterion, weighting coefficients were determined that reflect their relative importance in ensuring the sustainable development of construction sites. An integral indicator of the sustainability of a construction site was proposed, which is calculated as a weighted sum of the criteria scores, and a scale for interpreting the results, which allows classifying sites by the level of sustainability - from low to innovatively sustainable. The TOPSIS method was used to perform a comparative assessment of alternatives, which provides a determination of the degree of proximity of each site to a conditionally ideal sustainable solution and its distance from an anti-ideal state.

The practical applicability of the proposed approach was demonstrated by testing the model on the example of residential complexes, which allowed them to be ranked by the level of sustainability and to identify key factors that most affect the increase or decrease in the integral indicator. The results obtained confirm that the proposed model is an effective analytical tool for a comprehensive assessment of the sustainability of construction objects and can be used in the practice of development, investment analysis and construction project management.

The scientific novelty of the study lies in the formation of a comprehensive system of criteria for assessing the sustainability of construction objects with an emphasis on safety and ESG-oriented management, as well as in the application of the TOPSIS method as a tool for integrated assessment within the framework of an innovation-oriented model of sustainable development.

Keywords: sustainable development; construction objects; development project; life cycle management; integrated approach; construction; development; sustainability assessment; system of criteria; multi-criteria analysis; TOPSIS method; innovations in construction; building safety; ESG orientation; life cycle of objects, investment attractiveness; BIM; investment efficiency.