

Михайло МАЛИХІН

Канд. техн. наук.

ORCID: 0000-0001-5634-4900

Тимур КУЗЬМІН

аспірант

ORCID: 0009-0004-6170-7197

Валентин ГИРЯ,

аспірант

ORCID: 0009-0007-6288-5325

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ АНАЛІЗУ ТА ВИБОРУ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ РЕКОНСТРУКЦІЇ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

Статтю присвячено обґрунтуванню методичних засад аналізу та вибору інвестиційних проєктів реконструкції будівель, що зазнали пошкоджень або деструкцій унаслідок тривалої експлуатації чи зовнішніх впливів. У центрі дослідження — формування інтегрованого підходу до оцінювання технічного стану об'єктів, визначення рівня їх деградації та прогнозування потреб у аварійно-відновлювальних роботах. Розкрито значення обстежень, неруйнівних методів діагностики та систем моніторингу як базових інструментів фіксації фактичного стану конструкцій, їхніх деформацій, порушень структури та зниження несучої здатності. Здійснено класифікацію пошкоджень і деструкцій із визначенням їх впливу на експлуатаційні властивості та безпеку об'єкта.

Особливу увагу приділено ролі цифровізації та BIM-моделювання як ключових чинників підвищення якості та узгодженості проєктних рішень у процесах реконструкції. Показано, що створення цифрових моделей та інформаційних баз даних дозволяє інтегрувати результати обстежень, дані моніторингу, інженерні розрахунки й організаційно-технологічні параметри в єдине інформаційне середовище. Це забезпечує значно точніше визначення обсягів реконструкційних робіт, достовірне оцінювання технічного стану та обґрунтоване інвестиційне проєктування. Наголошено на можливостях BIM-моделювання щодо автоматизованого виявлення просторових колізій, оптимізації технологічних рішень та підвищення ефективності управління в мультипроєктному середовищі.

Запропонований методичний підхід включає поетапну діагностику технічного стану, аналіз ризиків, ідентифікацію критичних деструкцій, побудову моделей витрат і формування багатокритеріальної бази для оцінювання ефективності проєктів реконструкції. Доведено, що інтеграція технічної, економічної та організаційної інформації сприяє прийняттю обґрунтованих рішень, підвищує достовірність інвестиційних

розрахунків і мінімізує ймовірність помилок у проєктуванні та реалізації відбудовних робіт.

Ключові слова: *життєвий цикл, аварійно-відновлювальні роботи, обмеження, деструкції, категорії технічного стану конструкцій, неруйнівні методи, моніторинг, організаційно-технологічний і економічний інструментарій, оцінювання ефективності проєктів реконструкції, інвестиційне проєктування, ефективність проєкту, BIM-моделювання, якість і узгодженість проєктних рішень, інструментарій, цифровізація, мультипроєктне середовище, будівельний девелопмент.*

Вступ. У сучасних умовах розвитку економіки питання підвищення ефективності управління інвестиціями у реконструкцію об'єктів набуває особливої значущості. Значна частина виробничих фондів та інфраструктурних систем України характеризується високим ступенем фізичного і морального зношення, що зумовлює зростаючу потребу у їх модернізації. Водночас обмеженість фінансових ресурсів, зростання вартості будівельно-монтажних робіт і посилення конкуренції на ринку інвестиційних проєктів визначають необхідність науково обґрунтованого вибору пріоритетів реконструкції.

Розроблення методичних підходів до аналізу інвестиційних проєктів реконструкції є актуальним через необхідність комплексного урахування технічного стану об'єктів, який безпосередньо впливає на їхню подальшу експлуатаційну надійність, безпеку та економічну результативність. Наявні методики оцінювання здебільшого акцентують увагу на фінансово-економічних показниках, проте недостатньо інтегрують параметри технічної деградації, ризики аварійності та витрати, пов'язані з відстроченням реконструкції.

Виклики, пов'язані з необхідністю відновлення критичної інфраструктури, реалізації програм енергоефективності та адаптації об'єктів до сучасних технологічних стандартів, посилюють потребу у формуванні методичних засад, що забезпечують системний аналіз варіантів інвестування. Інтеграція показників технічного стану з економічними критеріями дозволяє підвищити точність прогнозування ефективності реконструкційних заходів і сприяє оптимізації управлінських рішень.

Таким чином, розроблення науково обґрунтованих методичних підходів до вибору інвестиційних проєктів реконструкції з урахуванням технічного стану об'єктів є важливим для забезпечення раціонального використання ресурсів, мінімізації ризиків і підвищення стійкості соціально-економічних систем. Це визначає високу актуальність теми та її значущість для теорії і практики інвестиційного менеджменту, технічного регулювання та стратегічного планування розвитку підприємств і інфраструктури.

Аналіз досліджень і публікацій. Розвиток методичних засад аналізу та відбору інвестиційних проєктів реконструкції житлового фонду спирається

на широкий науковий масив, що охоплює екологічні, технічні, технологічні, економічні й організаційні аспекти управління реконструкційними процесами. Системний аналіз літератури дозволяє виокремити кілька ключових напрямів еволюції наукової думки, які формують основу сучасних підходів до оцінювання ефективності проектів реконструкції.

У дослідженнях, присвячених екологічній і ресурсній ефективності в будівництві, аналіз життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA) розглядається як ключовий інструмент прийняття рішень. Зокрема, робота Hosseini et al. [1] демонструє важливість оцінювання впливу перероблення будівельних відходів на енергоспоживання та викиди CO₂ у різних країнах, що підкреслює роль LCA у стратегіях реконструкції.

Bragadin et al. [2] доводять необхідність інтеграції LCA у всі стадії розроблення проектних рішень, акцентуючи, що реконструкція може забезпечити кращі екологічні результати порівняно з демонтажем і новим будівництвом.

У роботі Fnais et al. [3] підкреслено наявність дослідницьких прогалин у сфері LCA, зокрема недостатню цифровізацію процесів та потребу у створенні динамічних моделей, що дозволяють оцінювати вплив забудови з урахуванням часу, ризиків і зміни експлуатаційних параметрів.

Ці праці спільно демонструють, що застосування LCA є науково обґрунтованою передумовою для вибору інвестиційних проектів реконструкції, оскільки дозволяє оцінювати довгострокові наслідки та мінімізувати екологічний слід.

Цифровізація є провідним напрямом розвитку будівельної галузі, що значно впливає на ефективність організаційно-технологічних процесів реконструкції. Tran et al. [4] наголошують, що BIM-моделювання є інструментом підвищення точності, узгодженості та прозорості рішень, особливо в умовах мультипроектного середовища.

BIM забезпечує можливість створення цифрових двійників будівель, що дозволяє коректно враховувати технічний стан, прогнозувати ризики й моделювати сценарії реконструкції, а також оптимізувати витрати та строки. Таким чином, цифрові моделі стають інтегральною частиною сучасного інвестиційного аналізу.

Комплексна оцінка технічного стану будівель — ключовий елемент прийняття реконструкційних рішень. У роботах [5], [6], [7], [8] представлено широкий спектр неруйнівних методів контролю, зокрема ультразвукові методи, лазерне сканування, інфрачервону термографію, акустичну емісію, оптоволоконні сенсори.

Дослідження [6] демонструє сучасні тенденції в автоматизації та цифровому аналізі даних технічного моніторингу, що дозволяє значно підвищити точність діагностики стану конструкцій. Праця [7] має прикладну значущість, оскільки зосереджується на оцінюванні технічного стану бетонних конструкцій — основного матеріалу житлового фонду України.

Методи, описані в [5–8], створюють основу для об'єктивної оцінки ресурсної придатності об'єктів реконструкції, визначення обсягів аварійно-відновлювальних робіт і прогнозування ризиків, що безпосередньо впливає на інвестиційну доцільність.

У роботах [9] і [10] розглянуто комплексні підходи до оцінки економічної ефективності та соціально-економічних аспектів реконструкції.

Bezuglyi et al. [9] пропонують узагальнену методику аналізу інвестиційних витрат і ефективності з урахуванням соціальних і екологічних критеріїв. Це формує багатокритеріальну основу для інвестиційного відбору проєктів.

Bieliienkova та Koval [10] вводять соціально орієнтовану модель оцінки, що враховує доступність житла, соціальну захищеність населення та системи підтримки, що важливо в умовах повоєнної реконструкції.

У працях Слободенюка [11], [12] сформовано цілісний підхід до методичного забезпечення вибору інвестиційних проєктів реконструкції житлового фонду.

У статті [11] визначено алгоритм вибору оптимального проєкту реконструкції, що включає аналіз технічного стану, маркетингові дослідження, фінансово-економічні розрахунки та багатокритеріальне оцінювання.

Робота [12] розвиває концепцію інвестиційної привабливості, описуючи систему кількісних і якісних показників, що дозволяють коректно оцінювати ризики, дохідність, ліквідність та соціальну значущість проєктів.

Таким чином, українські дослідження суттєво доповнюють міжнародні підходи, адаптуючи їх до специфіки житлового фонду України, соціально-економічних умов та потреб повоєнного відновлення.

Аналіз літератури засвідчує, що методичні засади аналізу та вибору інвестиційних проєктів реконструкції ґрунтуються на інтегрованому підході, який охоплює:

- екологічну оцінку та життєвий цикл будівель — [1–3];
- цифровізацію та BIM-моделювання в управлінні реконструкцією — [4];
- оцінювання технічного стану з застосуванням сучасних неруйнівних методів — [5–8];
- економічну та соціальну ефективність реконструкції — [9–10];
- національні методичні підходи до відбору проєктів та оцінки їх привабливості — [11–12].

Сукупність цих аспектів забезпечує формування науково обґрунтованої системи вибору інвестиційних проєктів реконструкції, що враховує технічні, економічні, екологічні та соціальні параметри й відповідає сучасним викликам будівельного девелопменту та повоєнного відновлення.

Метою дослідження є обґрунтування та розроблення методичних засад аналізу й вибору інвестиційних проєктів реконструкції на основі

комплексного урахування технічного стану об'єктів, що забезпечить підвищення точності оцінювання їх економічної ефективності, зменшення ризиків та оптимізацію управлінських рішень щодо пріоритетизації інвестиційних рішень.

Основна частина. Ефективне управління реконструкційними процесами вимагає застосування комплексного, структурованого та науково обґрунтованого підходу до оцінювання інвестиційних проєктів. Запропонована методика базується на системному розгляді технічних, економічних, організаційних і соціальних аспектів реконструкції та передбачає поетапне формування інструментарію оцінювання, що забезпечує прийняття обґрунтованих рішень у складних умовах відновлення пошкоджених будівель.

Методичний підхід складається із семи взаємопов'язаних етапів, логічна послідовність яких дозволяє діагностувати стан об'єкта, побудувати формальну модель оцінювання та сформувані практичні рекомендації для замовників і девелоперів (рис.1).

1. Формування концепції та постановка завдання оцінювання

Перший етап включає визначення об'єкта, предмета та меж оцінювання, що формує концептуальний каркас подальших досліджень. Формуються мета, дослідницькі завдання, обґрунтовується актуальність реконструкції як інструменту підвищення безпеки та експлуатаційної придатності будівель. На цьому етапі встановлюються критерії, за якими оцінюватимуться параметри пошкоджених об'єктів, а також визначаються методи, що будуть застосовані для їх аналізу.

Зміст етапу забезпечує визначення методологічної парадигми дослідження та підготовку до збору й оброблення інформації.

2. Аналітична діагностика технічного стану об'єкта реконструкції

На другому етапі здійснюється всебічна діагностика технічного стану будівель, що зазнали пошкоджень або руйнувань. Вона включає:

- збір первинних технічних і експлуатаційних даних;
- класифікацію об'єктів за ступенем пошкодження;
- визначення основних витратних елементів реконструкції;
- виявлення проблем, що впливають на безпечність і відновлюваність об'єкта.

Результати діагностики формують технічну описову модель об'єкта, на основі якої встановлюється обсяг необхідних робіт та визначаються вимоги до подальшого проєктування.

3. Теоретико-методологічне обґрунтування інструментарію оцінювання

Третій етап включає аналіз наявних методів оцінювання вартості реконструкції та визначення їх обмежень, таких як:

- відсутність урахування невизначеності;
- спрощені моделі амортизації пошкоджених конструкцій;
- недостатня інтегрованість технічних і економічних параметрів;
- нечутливість до ризиків і соціальних чинників.

Обґрунтовується доцільність застосування інструментів, що забезпечують високу точність і адаптивність оцінювання, зокрема

багатокритеріальних моделей, методів нечіткої логіки, сценарного аналізу, цифрового моделювання (BIM), LCA тощо. На цьому етапі формується система показників, що комплексно відображає технічний стан, економічну ефективність, екологічні ризики й соціальну значущість реконструкції.



Рис.1. Методичний підхід до оцінювання проєктів реконструкції та відновлення зруйнованих або пошкоджених об'єктів (розроблено Кузьміним Т.)

4. Розроблення моделі оцінювання вартості реконструкції

На четвертому етапі створюється формалізована модель оцінювання, яка включає:

- побудову моделі витрат із деталізацією елементів реконструкції;
- формування системи змінних, що характеризують технічний стан, зношеність, обсяги відновлювальних робіт, логістику та ресурсні потреби;
- агрегування оцінок за допомогою обраних методів (нечіткі моделі, вагові коефіцієнти, ймовірнісні підходи);
- узгодження результатів у вигляді інтегрального показника вартості.

На цьому етапі здійснюється математичне формування алгоритму, що дозволяє кількісно порівнювати альтернативні варіанти реконструкції та забезпечує прозорість інвестиційних рішень.

5. Формування прикладного інструментарію моделі

П'ятий етап передбачає апробацію моделі на реальних або умовних кейсах. Це включає:

- тестування моделі в умовах різного ступеня пошкоджень;
- перевірку чутливості параметрів до змін зовнішніх умов;
- адаптацію моделі для використання у практичному управлінні;
- верифікацію результатів шляхом порівняння прогнозних і фактичних даних.

Цей етап забезпечує практичну достовірність та застосовність інструментарію.

6. Завершальний етап присвячений розробленню рекомендацій щодо:

- вибору оптимальних проектів реконструкції;
- оптимізації інвестиційних витрат;
- визначення пріоритетних напрямів відновлення;
- можливостей інтеграції моделі в цифрові платформи (BIM, GIS);
- підвищення якості управління процесами реконструкції.

Практичні висновки дозволяють перенести модель у реальний управлінський простір, забезпечуючи підвищення ефективності реставраційних, модернізаційних та відбудовних робіт.

Запропонований методичний підхід являє собою комплексну багатетапну систему, що охоплює весь життєвий цикл оцінювання реконструкційного проекту — від первинної діагностики будівель до розроблення практичних рекомендацій. Його впровадження дозволяє:

- зменшити невизначеність у прийнятті інвестиційних рішень;
- забезпечити об'єктивність оцінювання технічного стану та вартості реконструкції;
- інтегрувати технічні, економічні, екологічні та соціальні фактори в єдину модель;
- оптимізувати пріоритети відновлення у посткризових і повоєнних умовах.

Розроблений підхід може бути адаптований до різних типів об'єктів, характеризується гнучкістю та придатністю до цифрової інтеграції, що робить його ефективним інструментом сучасного інвестиційного менеджменту в галузі реконструкції.

У межах сучасної реконструкційної практики оцінювання технічного стану будівель розглядається як цілісний аналітичний процес, що охоплює визначення ступеня деструкції конструкцій, виявлення пошкоджень та встановлення їхнього впливу на подальший життєвий цикл об'єкта. Оцінювання спирається на поєднання польових обстежень, неруйнівних методів діагностики та цифрових технологій, що забезпечують високу точність і можливість прогнозування поведінки конструкцій у часі.

У науковій практиці технічний стан будівель визначають через аналіз змін фізико-механічних властивостей матеріалів та конструктивних елементів, ступеня їх зношеності й накопичених дефектів. Деструкції розглядаються як результат тривалого напружено-деформованого стану, впливу експлуатаційних факторів і зовнішніх навантажень, а також аварійних подій, що призводять до прогресуючих структурних порушень. Класифікація рівня деструкцій та категорій технічного стану конструкцій дає змогу визначити доцільність реконструкції, потребу в аварійно-відновлювальних роботах і вибір методів відновлення, заміни, підсилення тощо (табл. 1).

Таблиця 2

Класифікація пошкоджень конструктивних елементів

Рівень пошкоджень	Характерні ознаки	Вплив на несучу здатність	Необхідні заходи
Незначні (I рівень)	Мікротріщини, поверхнева корозія, локальні відшарування	Не впливають на конструктивну безпеку	Регламентне технічне обслуговування, дрібні ремонтні роботи
Помірні (II рівень)	Тріщини до середньої глибини, локальні пошкодження бетону, корозія арматури на початковій стадії	Частково знижують міцність, але не створюють аварійності	Часткове підсилення, ремонт конструктивних елементів
Значні (III рівень)	Глибокі тріщини, значна корозія арматури, локальне руйнування елементів	Суттєве зниження несучої здатності, ризик розвитку аварійного стану	Комплексне підсилення, реконструкція окремих фрагментів
Критичні (IV рівень)	Пошкодження несучих вузлів, деформації, що прогресують, суттєві втрати перерізу	Високий ризик часткового руйнування	Негайні аварійно-відновлювальні роботи, локальна евакуація
Руйнування (V рівень)	Втрата стійкості, значні деформації, обвалення окремих ділянок	Критична загроза повного руйнування	Евакуація, аварійне підсилення або демонтаж, повна реконструкція

За результатами обстежень і цифрового моніторингу об'єкти поділяють на такі категорії технічного стану:

1. Справний стан — не потребує реконструкції, лише планового ремонту.
2. Працездатний стан із локальними дефектами — можливі часткові ремонтні заходи.
3. Обмежено працездатний стан — потрібна реконструкція або підсилення конструкцій.

4. Аварійний стан — необхідні негайні аварійно-відновлювальні роботи.
5. Передруйнівний стан — рішення про демонтаж або повну реконструкцію.

Категоризація технічного стану є ключовою для формування інвестиційних пріоритетів, визначення вартості робіт, вибору технологій реконструкції.

Цифровізація суттєво трансформує традиційні підходи до оцінювання стану будівель (табл.2).

Таблиця 2

Методи оцінювання технічного стану будівель і конструкцій

Група методів	Сутність методу	Що дозволяє визначити	Переваги у контексті цифровізації
Візуальні методи обстеження	Огляд конструкцій, фото- та відеофіксація	Поверхневі дефекти, тріщини, корозія, деформації	Можливість інтеграції в BIM як «паспорт дефектів», використання дронів для огляду
Ультразвукові методи	Поширення хвиль у матеріалі	Внутрішні дефекти, тріщини, порожнини, порушення структури бетону	Автоматизований збір даних, можливість аналізу у цифрових моделях
Інфрачервона термографія	Вимірювання теплового випромінювання поверхонь	Зони втрат тепла, вологість, порожнини, приховані дефекти	Створення теплових карт для BIM-моделі або цифрового двійника
Акустичні	Реєстрація хвиль, що виникають під дією руйнування	Активні зони прогресуючих деструкцій, розвиток тріщин	Можливість безперервного моніторингу в режимі реального часу
Електромагнітні методи (GPR, вихрові струми)	Взаємодія полів із матеріалом	Положення арматури, корозія, пошкодження сталевих елементів	Висока точність, можливість автоматичної інтерпретації
Лазерне 3D-сканування	Створення хмар точок та цифрової геометрії	Геометричні деформації, осідання, відхилення у положенні елементів	Пряма інтеграція у BIM/цифрові двійники,

Використання технологій інформаційного моделювання (BIM) і цифрових двійників забезпечує інтеграцію результатів обстежень, даних неруйнівного контролю та систем моніторингу в єдиний інформаційний простір. Це дозволяє формувати високоточні цифрові копії об'єктів, у яких фіксуються прояви деструкцій, деформацій і пошкоджень, а також моделюються сценарії їх подальшого розвитку. Такий підхід дає змогу

управляти реконструкційними рішеннями на основі об'єктивних даних, що відображають реальний технічний стан конструкцій протягом усього життєвого циклу.

Застосування неруйнівних методів – ультразвукового контролю, інфрачервоної термографії, лазерного сканування, акустичної емісії, електромагнітних методів – дозволяє отримувати глибинну інформацію про стан матеріалів без порушення їхньої цілісності. Ці методи суттєво підвищують точність і достовірність діагностики, особливо у випадках, коли традиційні руйнівні випробування неможливі або недоцільні.

Моніторинг, як складова оцінювання технічного стану, передбачає запровадження сенсорних систем для безперервного відстеження деформацій, вібрацій і змін напруженого стану. Поеднання моніторингових даних із цифровими моделями дозволяє прогнозувати розвиток деструкцій і своєчасно визначати потребу в аварійно-відновлювальних роботах.

Інвестиційне проектування та будівництво, які здійснюються без застосування цифрових моделей, особливо у складних умовах реконструкції, характеризуються значним рівнем інформаційної фрагментації, що призводить до технічних, технологічних та організаційних проблем. Відсутність інтегрованих даних, властива традиційним підходам, створює низку критичних неузгодженостей:

1. Інформаційні розриви між учасниками проекту

Без цифровізації дані передаються у вигляді розрізнених креслень, таблиць і текстових пояснень. Це спричиняє втрату важливої інформації, неоднозначність трактувань та суперечливість технічних рішень. У мультипроектному середовищі, характерному для будівельного developmentу, такі розриви накопичуються та масштабуються.

2. Помилки у моделюванні технічного стану та оцінюванні деструкцій

Без цифрових моделей неможливо інтегрувати результати обстежень, неруйнівних методів та моніторингу в єдину аналітичну систему. Це призводить до помилок у визначенні категорій технічного стану конструкцій та неправильного планування обсягів аварійно-відновлювальних робіт.

3. Колізії між архітектурними, конструктивними та інженерними рішеннями

Традиційні двовимірні креслення не дозволяють виявити просторові конфлікти (зіткнення інженерних мереж, невідповідності геометрії). Це знижує якість і узгодженість проектних рішень, веде до значних витрат на переробки під час будівництва.

4. Втрата точності кошторисів та відсутність актуальних даних для інвестиційного проектування

Інвестиційні розрахунки виконуються на основі застарілої або неповної інформації, що погіршує оцінювання ефективності проектів реконструкції. Через відсутність інтегрованого організаційно-технологічного та економічного інструментарію зростає кошторисна невизначеність, а ризики недофінансування — збільшуються.

5. Низька керованість процесами відновлення

За відсутності цифрових даних значно ускладнюється моніторинг виконання робіт, розподіл ресурсів і контроль строків. Це особливо проблемно в умовах відновлення пошкоджених об'єктів, де темпи та точність робіт є критичними для безпеки.

Нижче подано переписаний фрагмент у науковому стилі, без маркованих пунктів, у формі цілісного логічного викладу, зберігаючи зміст та терміни.

ВІМ-моделювання виступає ключовим інструментом цифрової трансформації в будівельному девелопменті та забезпечує інтеграцію технічних, технологічних і економічних даних у межах єдиного інформаційного середовища. Використання ВІМ у проєктах реконструкції сприяє усуненню неузгодженостей, притаманних традиційним підходам до проєктування та реалізації будівельних робіт, зокрема тих, що виникають внаслідок фрагментарності інформації, різномірності вихідних даних та відсутності системної координації між учасниками проєктного процесу.

Однією з ключових переваг ВІМ є створення інтегрованої цифрової платформи, у якій акумулюються всі дані про об'єкт: результати технічних обстежень, графічні моделі, конструктивні рішення, вартісні показники та зміни, що відбуваються у процесі проєктування. Такий підхід усуває інформаційні розриви та забезпечує високу якість і узгодженість проєктних рішень, що особливо важливо у мультипроєктному середовищі реконструкції й відбудови.

ВІМ також дозволяє інтегрувати результати моніторингу технічного стану конструкцій та неруйнівних методів діагностики, зокрема дані лазерного сканування, інфрачервоної термографії, ультразвукового контролю та сенсорних систем. Завдяки цьому формується реалістична модель технічного стану будівлі, що відображає фактичні деструкції та пошкодження, а отже, забезпечує точніше планування аварійно-відновлювальних заходів і реконструкційних рішень.

Особливо важливою функцією ВІМ є автоматизоване виявлення просторових колізій (clash detection). Ця можливість дає змогу на ранніх стадіях проєктування виявити невідповідності між архітектурними, інженерними та конструктивними системами, що у традиційних умовах проявляються вже під час виконання будівельно-монтажних робіт. Виявлення та усунення таких колізій у цифровій моделі значно скорочує кількість переробок, зменшує часові та фінансові витрати і підвищує точність реалізації проєктних рішень.

Інтеграція ВІМ із системами кошторисування забезпечує автоматичне оновлення економічних параметрів проєкту відповідно до змін у моделі. Це підвищує достовірність інвестиційного проєктування та дозволяє більш об'єктивно оцінювати ефективність проєктів реконструкції. У такий спосіб ВІМ формує сучасний організаційно-технологічний та економічний інструментарій, який підтримує прийняття рішень на основі точних і взаємоузгоджених даних.

На основі ВІМ-моделі можливе моделювання послідовності будівельних процесів, визначення тривалості технологічних операцій,

ресурсних потреб та логістичних сценаріїв. Це значно підвищує рівень керованості проектами реконструкції, особливо в умовах відновлення, коли дотримання строків і оптимізація ресурсів є критично важливими для забезпечення функціональної безпеки об'єктів.

Окрім того, BIM сприяє підвищенню якості управлінських рішень у сфері будівельного девелопменту завдяки використанню інструментів візуалізації, побудові цифрових двійників та можливості моделювати різні сценарії реконструкції й прогнозувати їхні технічні, економічні та експлуатаційні наслідки. Це забезпечує формування стратегічно обґрунтованих підходів до комплексної відбудови та реконструкції будівельного фонду.

Узагальнюючи, відсутність цифрових моделей у проектах реконструкції спричиняє численні неузгодженості, пов'язані з інформаційними втратами, колізіями між проектними рішеннями, неточністю оцінювання технічного стану, низькою ефективністю моніторингу та помилками інвестиційного проектування. Використання BIM-моделювання гарантує цілісність і узгодженість управлінських процесів, забезпечує інтеграцію організаційно-технологічного та економічного інструментарію, підвищує ефективність проектів реконструкції та покращує якість реалізації відновлювальних робіт.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У результаті проведеного дослідження встановлено, що ефективне управління проектами реконструкції потребує інтеграції технічних, економічних та організаційно-технологічних підходів, заснованих на даних обстежень, системному оцінюванні технічного стану та застосуванні сучасних цифрових інструментів. Визначено, що деструкції конструкцій, їхній технічний стан та специфіка пошкоджень безпосередньо впливають на обсяг, вартість і доцільність реконструкційних заходів, що потребує використання точних методів діагностики й моніторингу.

Доведено, що цифровізація, зокрема BIM-моделювання, є ключовим чинником підвищення узгодженості та якості проектних рішень, мінімізації неузгодженостей та формування науково обґрунтованого організаційно-технологічного й економічного інструментарію. Запропонований методичний підхід забезпечує комплексність оцінювання, підтримує інвестиційне проектування та підвищує ефективність реконструкції в умовах обмеженості ресурсів і підвищених вимог до безпеки.

Отримані результати можуть слугувати підґрунтям для удосконалення механізмів планування, вибору та реалізації проектів реконструкції, а також для подальшого розвитку цифрових практик у сфері будівельного девелопменту та відновлення пошкоджених об'єктів.

Список літератури:

1. Hosseini S. A., Asghari V., Liu X., Hsu S.-C., Poon C.-S. Cross-country life cycle assessment of construction and demolition waste recycling with

evaluation of energy use, carbon emissions, and regional trade-offs. *Scientific Reports*, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-25387-5>

2. Bragadin M. A., Guardigli L., Calistri M., Ferrante A. Demolishing or Renovating? Life Cycle Analysis in the Design Process for Building Renovation: The ProGETonE Case. *Sustainability*, 2023, 15(11). <https://doi.org/10.3390/su15118614>

3. Fnais A., Rezgui Y., Petri I., Beach T., Yeung J., Ghoroghi A., Kubicki S. The application of life cycle assessment in buildings: challenges, and directions for future research. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02058-5>

4. Tran T. V., Tran H. V. V., Nguyen T. A. A Review of Challenges and Opportunities in BIM Adoption for Construction Project Management. *Engineering Journal*, 2024, 28(8), 79–98. <https://doi.org/10.4186/ej.2024.28.8.79>

5. Nondestructive Testing and Health Monitoring Techniques for Structural Effective Prestress. *Structural Control and Health Monitoring*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/>

6. Kot P., Muradov M., Gkantou M., Kamaris G. S., Hashim K., Yeboah D. Recent Advancements in Non-Destructive Testing Techniques for Structural Health Monitoring. *Applied Sciences*, 2021, 11(6). <https://doi.org/10.3390/app11062750>

7. Naga Sreenivasa Rao K., Santhosh G., Ruksana P., Vijay Bhaskar Reddy V., Koteswarao S. Structural Health Monitoring using Non-Destructive Testing of Concrete. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, 2024, 10(03). <https://doi.org/10.46501/IJMTST1003004>

8. Kundu T. Recent Developments in Non-destructive Testing and Structural Health Monitoring Technology. In: *Earthquake Resistant Design, Protection, and Performance Assessment in Earthquake Engineering* (AERS 2023). Springer, 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-65407-7_8

9. Bezuglyi A., Stasiuk B., Yanchuk M., Zakharova T., Ivanchenko V. Comprehensive Evaluation of Investment Efficiency Indicators of Construction, Reconstruction and Repairing of Roads: Scientific-Methodical Aspect. *Дороги і мости*, 2022. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.017>

10. Bielienkova O., Koval O. System for evaluating investment projects for reconstruction of the housing stock as a component of social protection of the population. *Ways to Improve Construction Efficiency*, 2025. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55\(1\).285-295](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(1).285-295)

11. Слободенюк О.В. Методичні засади аналізу та вибору інвестиційних проєктів реконструкції житлового фонду. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023. № 52(3). С. 179-187. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52\(3\).179-187](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(3).179-187)

12. Слободенюк О.В. Інвестиційна привабливість проєктів реконструкції житлового фонду. *Економічний дискурс*. 2024. № 3-4. С. 96–103. <https://doi.org/10.36742/2410-0919-2024-2-9>

Mykhailo Malykhin, TimurKuzmin, Valentyn Hyria
Methodological principles of analysis and selection of investment projects for reconstruction taking into account their technical condition

The article is devoted to the substantiation of the methodological principles of analysis and selection of investment projects for the reconstruction of buildings that have been damaged or destroyed due to prolonged operation or external influences. The focus of the study is the formation of an integrated approach to assessing the technical condition of objects, determining the level of their degradation and predicting the needs for emergency restoration work. The significance of surveys, non-destructive diagnostic methods and monitoring systems as basic tools for recording the actual state of structures, their deformations, structural violations and reduction in bearing capacity is revealed. The classification of damage and destruction is carried out with the determination of their impact on the operational properties and safety of the object.

Particular attention is paid to the role of digitalization and BIM modeling as key factors in improving the quality and consistency of design solutions in reconstruction processes. It is shown that the creation of digital models and information databases allows integrating survey results, monitoring data, engineering calculations and organizational and technological parameters into a single information environment. This provides a much more accurate determination of the scope of reconstruction work, a reliable assessment of the technical condition and justified investment design. The capabilities of BIM modeling for automated detection of spatial collisions, optimization of technological solutions and increased management efficiency in a multi-project environment are emphasized. The proposed methodological approach includes phased diagnostics of the technical condition, risk analysis, identification of critical destructions, construction of cost models and formation of a multi-criteria base for assessing the effectiveness of reconstruction projects. It has been proven that the integration of technical, economic and organizational information contributes to making informed decisions, increases the reliability of investment calculations and minimizes the likelihood of errors in the design and implementation of reconstruction works.

Keywords: life cycle, emergency and restoration works, inspection, destruction, categories of technical condition of structures, non-destructive methods, monitoring, organizational, technological and economic tools, assessment of the effectiveness of reconstruction projects, investment design, project effectiveness, BIM modeling, quality and consistency of design solutions, tools, digitalization, multi-project environment, construction development.