

## СУЧАСНІ МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НЕБЕЗПЕК РУЙНУВАННЯ БУДІВЕЛЬ, СПОРУД ТА КОНСТРУКЦІЙ У РЕАЛЬНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Василь КЛЮЄВ<sup>1</sup>, Євгеній БАКУЛІН<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Національний університет біоресурсів і природокористування України,  
вул. Горіхуватський шлях 15, м. Київ, Україна, 03041

<sup>1</sup> v.klyuyev@nubip.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0001-7982-8075>

<sup>2</sup> bakulin\_evgeniy@nubip.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-0238-5384>

**Анотація.** Проблема ідентифікації небезпек руйнації будівель, споруд та конструкцій в умовах реальної експлуатації об'єкта виникає за необхідності забезпечення безпеки людей і майна. Дана проблема особливо актуальна у зв'язку із постійним збільшенням обсягів будівництва та експлуатації будівельних об'єктів різного функціонального призначення.

Важливість ідентифікації небезпек руйнації експлуатованих об'єктів полягає в тому, щоб заздалегідь виявити потенційні загрози руйнування та прийняти відповідні заходи з їх локалізації. Ця проблема вимагає комплексного підходу, який охоплює постійний моніторинг технічного стану, визначення реальних умов експлуатації, аналіз структурної міцності конструктивних елементів та розробку відповідних стратегій з технічного обслуговування, підсилення або заміни конструкцій, проведення ремонтно-відновлювальних робіт чи реконструкції.

Небезпеки руйнувань можуть виникати з різних причин і можуть представляти серйозну загрозу для життя, здоров'ю людей та цілісності майна.

Деякі з основних факторів, які можуть призвести до руйнування, включають: старіння та фізичний знос; природні реологічні процеси (деградація матеріалів); зміна проектних умов і умов експлуатації.

Крім того, безпека може збільшуватися внаслідок природних катаклізмів, таких як землетруси, повені, урагани тощо. Потенційні



**Василь КЛЮЄВ**

аспірант кафедри  
будівництва



**Євгеній БАКУЛІН**

доцент кафедри будівництва,  
к.т.н.

загрози руйнувань становлять скриті дефекти та пошкодження, які закладені помилками в проектуванні, невідповідністю конструктивних елементів технічним умовам, неякісним виконанням будівельно-монтажних (ремонтних) робіт, що в остаточному результаті в процесі експлуатації збільшує рівень небезпеки руйнації.

Необхідно відзначити, що у процесі експлуатації об'єкта недоліки у технічній експлуатації, зміна проектних умов нормальної експлуатації, порушення регламентних умов та системи планово-запобіжних ремонтів можуть призвести до накопичення проблем, які з часом можуть спричинити руйнування.

Дослідження методів ідентифікації небезпек руйнування експлуатованих об'єктів, детальний аналіз причин та механізмів виникнення аварійних ситуацій, впровадження відповідних заходів на основі здобутих даних дозволяє постійно покращувати стратегію попередження руйнувань.

© В. КЛЮЄВ, Е. БАКУЛІН, 2024

**Ключові слова:** ідентифікація небезпек; руйнування; загрози; стійкість; міцність; деформація.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Об'єкти будівництва мають різні функціональні призначення, конструктивні схеми, класи відповідальності та умови експлуатації, а їхні складові конструктивні елементи мають різні параметричні значення, терміни служби і інші відмінності для яких притаманний складний характер взаємодії між собою і оточуючим середовищем.

Згідно з Міжнародними нормами (EN 1990:2001/ Eurocode — Basis of structural design) надійність будівельних конструкцій розглядається в єдиному зв'язку умов забезпечення безпеки об'єкта (на стадії проектування) та придатність до нормальної експлуатації і довговічності (у продовж життєвого циклу об'єкта). В цьому зв'язку безпечність є залежністю зберігати задані проектні умови нормальної експлуатації впродовж визначеного терміну служби без настання граничного стану.

Але, на об'єкт в стані його експлуатації діють не тільки навантаження та впливи передбачені проектом, але й невраховані фактори. Тобто змінюються проектні умови силового та деформаційного опору, утворюється невизначеність його технічного стану. За даних умов необхідна комплексна система оцінювання фактичного технічного стану об'єктів на основі проведення натурних досліджень, статистичного аналізу змін параметричних значень, моделювання напружено-деформованого стану з умов реальної експлуатації.

Досвід будівництва та експлуатації засвідчує, що однотипні будівлі та споруди, що знаходяться на однакових стадіях експлуатації та працюють в аналогічних умовах, виходять з ладу (виникають відмови, аварійні ситуації, відбувається часткове або повне руйнування) в різні випадкові моменти. Тобто не можливо конкретно передбачити час і місце виникнення небезпечної події або остаточно визначити час настання граничного стану.

Можливо лише надати оцінку фактичному технічному стану і на основі цих даних спрогнозувати виникнення небезпечних руйнівних тенденцій, ймовірних відмов, чи аварійних ситуацій.

Слід зазначити, що на даний час не розроблено досконалої інженерної методики з визначення фактичного технічного стану експлуатованих об'єктів будівництва. Ця методика повинна передбачати ідентифікацію небезпечних тенденцій, розвиток яких створює ризики руйнування та надавати об'єктивну оцінку експлуатаційної надійності з позиції гарантії безпечності об'єктів, з умов реальної експлуатації та фактичного технічного стану.

Для запобігання загроз руйнувань, аварійних ситуацій, а також для зменшення заподіяної шкоди з умов їх виникнення, необхідна розробка наукових підходів і досліджень, які б, максимально точно характеризували та прогнозували технічний стан об'єкта на різних часових стадіях його експлуатації.

Тільки на основі достовірно визначеного фактичного технічного стану, враховуючи реальні умови експлуатації, можливо спрогнозувати виникнення небезпечних факторів, надати імовірнісну оцінку їх виникнення та прийняті відповідні заходи щодо попередження руйнування.

Фундаментальні основи теорії надійності та ризиків мають спільну мету – забезпечити безпечність об'єкта протягом всього терміну експлуатації.

Відповідно, подальше сумісне дослідження концептуально спільних наукових підходів теорій надійності та ризику вирішить ряд проблематичних питань стосовно ідентифікації небезпек руйнування об'єктів будівництва в реальних умовах експлуатації, що забезпечить гарантовану безпечність, знизить рівень аварійності, зменшить матеріальні збитки, запобігатиме соціальним та людським втратам.

## ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження присвячене ідентифікації потенційних небезпек руйнування будівель,

споруд та їхніх конструктивних елементів в реальних умовах експлуатації. В роботі використовуються методи та підходи зі аналізу поведінки конструкцій, механіки руйнування, статистики та інженерні методики визначення технічного стану будівельних конструкцій які знаходяться в реальних умовах експлуатації. Основна увага приділяється виявленню ключових факторів, що впливають на стійкість об'єктів до руйнування, а також розробці рекомендацій з мінімізації ризиків руйнування.

Результати дослідження можуть бути використані для підвищення безпечності будівельних об'єктів і розробки ефективних стратегій попередження аварійних ситуацій експлуатованих будівель та споруд.

Ще у 1988 році Директивою Ради Європейського Союзу 89/106/ЄЕС було запропоновано новий підхід до питань технічного регулювання будівельної діяльності, а постановою Кабінету Міністрів України від 20.12. 2006 р., № 1764 «Про затвердження Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд» було встановлено принципи технічного регулювання, що стосується забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій і основ. ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського» були розроблені ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» [1]. У нормах чітко визначено класифікацію будівельних об'єктів за класами наслідків (відповідальності) будівель і споруд.

Проектування та експлуатація будівельних конструкцій здійснюється за методикою граничних станів. Метод граничних станів полягає в тому, що оцінка надійності конструкції за несучою здатністю та за деформаціями базується на порівнянні зусилля, що руйнують конструкцію  $\Phi$  або з аварійною деформацією  $S_{np}$  із розрахунковим діючим зусиллям  $N$  чи розрахунковою деформацією  $S$ . При цьому  $\Phi$ ,  $N$ ,  $S_{np}$ ,  $S$  розглядаються як випадкові величини з відомим розподілом ймовірності. У розрахунках дані величини приймаються

детермінованими. При цьому повинні виконуватись умови [1, 2]:

$$\Phi_{\min} \geq N_{\max}; S_{np} \geq S. \quad (1)$$

Детерміністичний підхід складається з двох етапів. На першому етапі розраховуються зусилля, деформації та переміщення, які знаходяться під впливом навантажень або визначаються деякі граничні значення цих навантажень. Для вирішення цієї задачі використовуються методи будівельної механіки, теорії пружності, теорії пластичності. На цьому етапі вирішується питання про те, чи зможе конструкція досить надійно працювати протягом встановленого терміну. Другий етап полягає у зіставленні розрахованих деформацій та переміщень з деякими нормативно припустимими значеннями або виконується порівняння розрахункових навантажень з граничними навантаженнями. Саме на цьому етапі, фактично непрямыми методами, обирається надійна, довговічна та економічна конструкція. Методикою розрахунку враховується статичний характер показників та передбачається врахування дії різних експлуатаційних чинників, що вводяться в розрахунок відповідними коефіцієнтами запасу. Основна формула в загальному вигляді [1, 2]:

$$\sum S_i n_i \leq m_i \Phi(K_1, R_1, K_2, R_2 \dots), \quad (2)$$

де  $S_i$  – навантаження на конструкції;

$n_i$  – коефіцієнти перевантаження;

$m_i$  – коефіцієнти умов роботи;

$R_1, R_2$  – нормативні межі міцності матеріалів;

$K_1, K_2 \dots$  – коефіцієнти однорідності матеріалів.

У методиці чітко визначено дві групи граничних станів. До I-шої групи включені граничні стани, які ведуть до повної непридатності об'єкта до подальшої експлуатації. До II-гої групи віднесені граничні стани, що заважають нормальної експлуатації або зменшують його довговічність.

На даний час для дослідження експлуатованих будівельних конструкцій за допо-

могою ЕОМ широкого поширення набув метод скінчених елементів (Finite Element Method, FEM). Його розвиток почався ще в середині 1950-х минулого століття для потреб структурного аналізу в будівельній галузі. А розроблені ключові концепції матриці жорсткості та збір елементів практично в такій же формі, застосовуються і зараз. Метод засовується для аналізу поведінки конструкцій під впливом різних навантажень та умов експлуатації. Він дозволяє моделювати складні геометричні форми та матеріали об'єкта будівництва, проводити детальний аналіз напружень та деформацій [3, 4].

Метод прогнозування та моделювання руйнування (Failure Prediction and Modeling) дозволяє експертам з експлуатації приймати відповідні заходи та зменшувати потенційні ризики руйнування. Аналізуючи історично часові ряди, контекстуальні дані, фактичні умови експлуатації об'єкта і інші індикатори, виявляються закономірності на основі яких створюються різноманітні алгоритми та моделі прогнозування відмов (руйнувань) [5, 6].

Методика оцінки стійкості до руйнування (Safety Assessment Methodology). Дана методика включає в себе оцінку різних аспектів стійкості будівельних об'єктів, таких як міцність матеріалів, структурна цілісність та вплив зовнішніх факторів [7,8, 9].

Метод аналізу залишкових ризиків (Residual Risk Analysis) [9, 11, 12]. Даний підхід спрямований на оцінку ризику руйнування будівельної конструкції після врахування заходів з попередження та мінімізації ризиків її руйнування. Фактично це метод ідентифікації небезпеки, оцінювання ризику та впровадження заходів з контролю по його мінімізації. Тобто, це не що інше, як процес управління ризиками, що, складається з п'яти складових, які супроводжують метод стандартизованого управління або системного аналізу:

- визначення небезпек;
- оцінювання ризиків;
- прийняття рішення;
- впровадження заходів.

– проведення контролю реалізації заходів.

Метод аналізу надійності систем (Reliability Analysis) дозволяє оцінювати ймовірність виникнення руйнування будівельної конструкції на основі натурних обстежень, статистичних даних, інженерних розрахунків та оцінок [13, 14, 15].

Останнім часом особливу увагу привертає і все більше застосовуються різні системи, що працюють на основі комп'ютерного зору. Вони дозволяють отримувати інформацію з цифрових комп'ютерних зображень і на їх основі вживати певні заходи або давати рекомендації. Такі системи застосовуються в різних галузях і їх використання продовжує постійно зростати [16].

За останні роки досягнення в алгоритмах комп'ютерного зору на базі глибокого навчання показали багато-обіцяючі результати в різноманітних завданнях. Особливістю таких систем для виявлення і розпізнавання різних об'єктів є застосування в них штучних нейронних мереж, а також алгоритмів і методів, що працюють на їх основі. Подібні методи можна використувати для вирішення проблеми з визначення технічного стану експлуатованих об'єктів (накопичення дефектів і пошкоджень у часі при певних умовах експлуатації). Але процес виявлення певних ознак в реальному часі на відеозаписі, дуже складний через обмежену пам'ять, великий обсяг обробки інформації та необхідність великої обчислювальної потужності [17, 18].

Одним із сучасних методів виявлення руйнувань є система на основі згорткованих нейронних мереж Convolutional Neural Networks, або CNN яка використовуються в завданнях комп'ютерного зору: генерації і класифікації зображень, розпізнавання об'єктів тощо. Вона являє собою метод автоматизованого вилучення ознак із певної множини на основі вейвлетів [18].

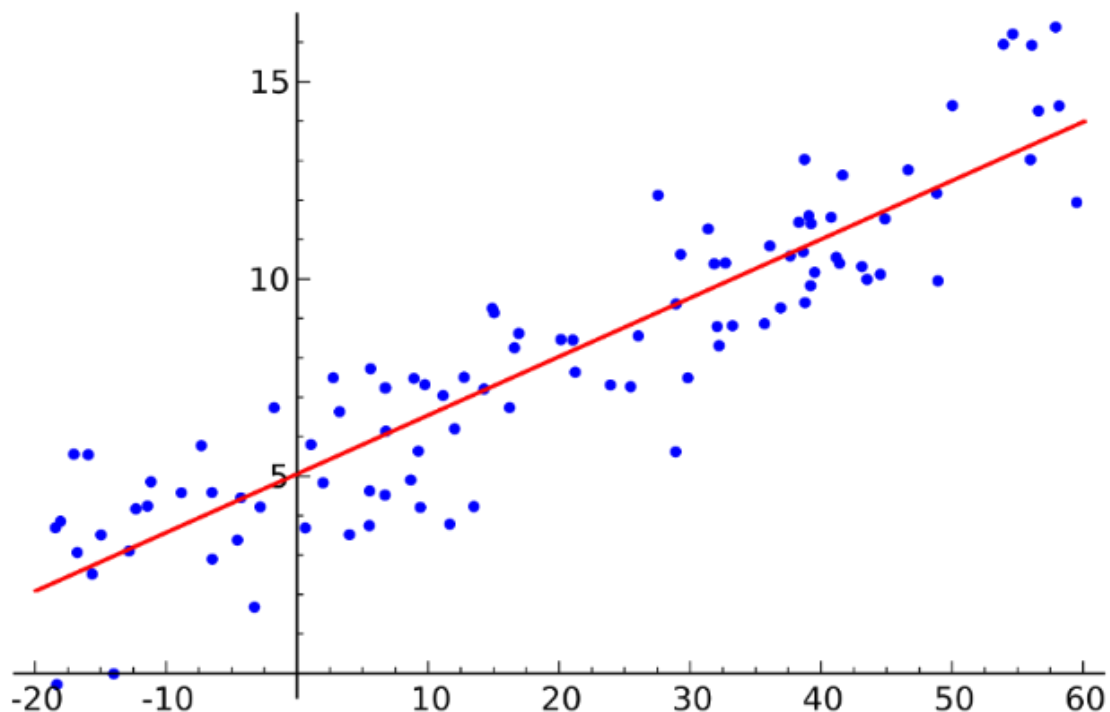
Застосування вейвлет – перетворень досить широке. Вейвлет – перетворення використовуються для обробки сигналів та зображень, у комп'ютерній графіці, мультимедіальному аналізу. Це одна із перспектив-

них технологій аналізу даних, причому область застосування не має обмежень. Необхідно відзначити, що дана технологія позбавлена надлишковості, дозволяє проводити обробку мультимедійної та статистичної інформації. Створення системи функцій «вейвлетів» в теорії обробки та збереження сигналів, дозволило стискати інформацію у 100-150 разів без суттєвої втрати якості. Це і є головним призначенням та досягненням використання вейвлет-перетворень [19].

Фактично, це математично-статистичний метод аналізу часових рядів призначений для виявлення їх структурних рядів та їхнього подальшого прогнозування. Аналіз часових рядів дозволяє не тільки передбачати майбутні значення часового ряду, а і

управляти його поведінкою, що дуже важливо для аналізу поведінки конструкцій при певних умовах експлуатації. Метод аналізу часового ряду має ймовірнісну природу формування значень.

Тому виявлення структури часового ряду потрібно для побудови математичної моделі, того явища, що є джерелом аналізованого часового ряду. А прогноз майбутніх значень часового ряду цілком можливо використовувати для прийняття певних рішень відносно подальшої експлуатації об'єкта. Необхідно відзначити, що в аналіз часових рядів входить метод регресійного аналізу (рис. 1).



**Рис. 1.** Математична модель регресійного аналізу.

**Fig. 1.** The mathematical model of regression analysis.

Регресійний аналіз – це метод залежності однієї величини від іншої. Саме такий аналіз займається пошуком моделі цього зв'язку, що відображається у функції регресії.

Класичний лінійний регресійний аналіз опирається на систему положень про властивості регресійної моделі, а виконання цих

положень гарантує отримання значень параметрів і функції регресії [20, 21].

Такі лінійні регресійні моделі у загальному вигляді можливо записати:

$$Y(x) = \eta(x, \beta) + \varepsilon = \sum_{j=1}^m \beta_j f_j(x) + \varepsilon, \quad (3)$$

де  $f_j(x) \cong f(x_1, \dots, x_k)$  – деякі відомі функції пояснюючих змінних, що не включають в себе невідомі коефіцієнти  $\beta_j$ . Функції  $f_j(x)$  називають регресарами.

У плані прогнозування технічного стану експлуатованого об'єкта особливого значення набуває моделювання та прогнозування динаміки змін його параметричних показників. На сьогодні розроблено багато програмних комплексів, які надають можливості детального аналізу інформаційних даних, у яких сучасні методи моделювання та прогнозування реалізуються з використанням новітніх комп'ютерних технологій чисельного та графічного відображення.

Будь-яка модель створюється на основі певних алгоритмів і правил, які визначають порядок та послідовність проведення математичних розрахунків необхідних для обробки здобутої інформації. Така модель повинна відображати статистичну сукупність множин значень параметричних характеристик об'єкта дослідження, що включає:

- вибір одиничного конструктивного елемента, який впливає на властивості об'єкта дослідження (з точки зору дослідника);
- визначити часові межі моделювання;
- провести уніфікацію типів ознак, привести їх до одного виду;
- визначити фактичні значень об'єкта;
- формувати однакові множини моделі дослідження.

Формально, сукупність такої множини, можливо представити у вигляді впорядкованого набору даних з певними відомими параметрами:  $N$ , де  $N$  – кількість елементів сукупності ( $n = 1, 2, \dots, N$ );  $I$ , ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) – кількість зареєстрованих у  $n$ -го елемента

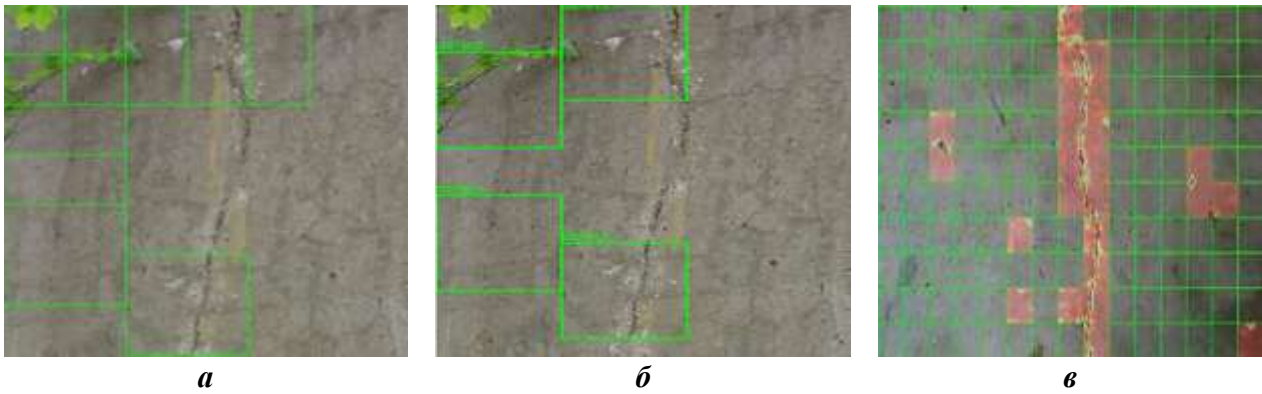
ознак;  $T$ , ( $t = 1, 2, \dots, T$ );  $T$  – термін експлуатації за певний проміжок часу. Відповідно інформаційна одиниця об'єкта моделювання буде значення  $i$ -ої ознаки у  $n$ -го елемента сукупності у  $t$ -му періоді. А інформація буде представлена:

- у статистиці матриця буде мати розмірність  $N \times I$  (просторові дані);
- у динаміці матриця розмірності  $N \times I \times T$  (панельні дані).

При формуванні ознакової множини важливу роль відіграють значення оцінки технічного стану окремих ознак конструктивних елементів враховуючи їх належність до певних функціональних ознак, типів, рангів, категорій тощо. Для цього потрібно зібрати повну достовірну інформацію про параметричні значення досліджуемого об'єкта, тобто провести виміри фактичних чисельних показників.

Але, необхідно відзначити, що при будь-яких точних вимірах чисельних показників не можливо отримати їх абсолютно точні значення так-як у всесвіті не існує нічого абсолютного та ідеального. Тому отримані фактичні дані об'єкта завжди будуть розглядатись як випадковий стохастично непередбачуваний процес. А це означає, що можливо провести тільки ймовірнісне оцінювання отриманих результатів вимірів.

Основним завданням програмного забезпечення для системи комп'ютерного зору є задача - як із заданою ймовірністю виявляти дефекти конструкцій. Головним критерієм якості такої моделі пропонується використовувати метрику *precision*, яка визначає класифікацію дефектів і пошкоджень на цифрових зображеннях (рис. 2), [22, 23].



**Рис. 2.** Виділення елементів зображення:

*a* – початкова область, *b* – додаткова обробка, *c* – бінарна класифікація зображення з розбиттям на фрагменти

**Fig. 2.** Image segmentation:

*a* – initial area, *b* – additional processing, *c* – binary image classification with segmentation into fragments

Складність такої задачі полягає в створенні єдиного електронного каталогу для ідентифікації дефектів і пошкоджень конструктивних елементів згідно їх належності до певних функціональних ознак, типів, рангів, категорій тощо.

### ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Представлений огляд засвідчив, що на даний час ще не розроблено досконалої інженерної методики визначення фактичного технічного стану експлуатованих об'єктів. Така методика повинна передбачати ідентифікацію небезпечних руйнівних тенденцій, розвиток яких спричиняє руйнування [24–26]. Відобразити об'єктивну оцінку експлуатаційної надійності з позиції гарантії безпечності об'єкта з умов реальної експлуатації і фактичного технічного стану [27, 28].

Науково-дослідницькі розробки проблем ідентифікації небезпек руйнування будівель, споруд, конструктивних елементів експлуатованих об'єктів в реальних умовах експлуатації [27–29, 31] неможливі без використання досить складного математичного інструментарію [30]. В якості інструментарію досліджень повинні використовуватись моделі, в яких формалізованою мовою

описуються їх властивості, а наявний апарат математичних методів повинен знайти чисельні розв'язки побудованих моделей, спрогнозувати по-дальший розвиток можливих сценарії розвитку подій на основі імітаційних розрахунків.

Імовірнісна оцінка величини ризику відображати не тільки фактичний ступінь опору конструкцій та зміну зовнішніх і внутрішніх впливів, але й враховує оцінку безпечності експлуатованого об'єкта. Саме такий підхід дозволяє розглядати експлуатаційну надійність об'єктів з позиції забезпечення безпечності об'єкта, враховуючи фактичний технічний стан та прогнозувати розвиток подальших небезпечних руйнівних тенденцій на основі зміни регламентованих параметричних показників об'єктів [27, 28, 31].

Імовірнісні результати аналізу потенційних ризиків руйнування це основне підґрунтя для прийняття обґрунтованих рішень. Розуміючи природу та механізм розвитку ризиків, оцінюючи його небезпеку ми зможемо приймати зважене обґрунтоване рішення.

Подальші дослідження проблеми ідентифікації небезпек руйнування, як міра ризику будівель [27, 28], споруд, конструктивних елементів експлуатованих об'єктів в реальних умовах експлуатації, безумовно надасть позитивний результат у плані забезпечення подальшої безпечної експлуатації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. **ДБН В.1.2–14:2018.** Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1. Київ: Мінрегіон України, 2022, 81 с.
2. **ISO 2394:2015.** International standard. General principles on reliability for structures. *ISO 2015, 112 p.*
3. **Карпіловський В.С.** Метод скінченних елементів і задачі теорії пружності: *монографія.* Київ : Софія А, 2022. 275 с.
4. **Заякін Д.К., Мікуліч О.А.** Особливості застосування чисельних методів для аналізу напруженого стану пористих будівельних матеріалів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, 2023. Вип. 19. С. 76–83.*
5. **Гуськова В.Г., Бідюк П.І., Гасанов А.С.** Ймовірно-статистичні методи моделювання і прогнозування : *монографія.* Київ: Видавництво НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2022. 456 с.
6. **Pichugin S.F., Klochko L.A.** Structural system collapse risk limitation strategy (Стратегія обмеження ризику обвалення конструктивної системи). *Academic journal Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. Полтава, 2020. Т.1(54). С. 19–25.*
7. **ISO 21929-1:2011.** Стійкість в будівництві – індикатори стійкості. Частина 1: Платформа розробки індикаторів і базового набору індикаторів для будівель. 46 с.
8. **Резнікова О.О., Войтовський К.С., Лепіхов А.В.** Національні системи оцінювання ризиків і загроз: кращі світові практики, нові можливості для України : *аналіт. доп. / за заг. ред. О. О. Резнікової.* Київ : НІСД, 2020. 84 с.
9. **Резнікова О.О.** Національна стійкість в умовах мінливого безпекового середовища : *монографія.* Київ : НІСД, 2022. 456 с.
10. **Березуцький В.В., Адаменко М.І.** Небезпечні виробничі ризики та надійність : *навч. посіб.* Харків : ФОП Панов А.М., 2016. 385 с.
11. **ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013.** Керування ризиком Методи загального оцінювання ризику. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 80 с.
12. **Авен Т.** Оцінка та управління ризиками: огляд останніх досягнень на їх основі. *Європейський журнал операційних досліджень, 2016. Вип. 253(1). С. 1–13.*
13. **Lysnytska K., & Pershakov, V. (2018).** Оцінка надійності будівлі на прикладі житлового будинку. Будівельні конструкції. *Теорія і практика, 1(3), 58–67.*  
URL: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.3.2018.58-67>
14. **Терентьєв О.О., Полторак О.Б.** Інформаційні технології оцінки технічного стану будівельних конструкцій із застосуванням нечітких моделей. *Нові технології у будівництві. 2013. №25–26. С. 57–61.*
15. **Терентьєв О.О., Шабала Є.Є., Малина Б.С.** Основи організації нечіткого виведення для задачі діагностики технічного стану будівель та споруд. *Управління розвитком складних систем : зб. наук. пр. 2015. № 22. С. 138–143.*
16. **Kvasnikov V., Ornatskyi D., Graf M., Shelukha M.** Designing a computerized information processing system to build a movement trajectory of an unmanned aircraft vehicle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. №1/9(109). P. 33–42.*
17. **Mao Q., Sun H., Liu Y., Jia R.** Mini-YOLOv3 : Real-Time Object Detector for Embedded Applications. *IEEE Access. 2019. № 7. P. 133529–133538.*
18. **Adeli H.** Neural Networks in Civil Engineering: 1989-2000. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2001. Vol. 16. P. 126–142.*  
URL: <http://dx.doi.org/10.1111/0885-9507.00219>.
19. **Polishchuk V.** Fuzzy Method for Evaluating Commercial Projects of Different Origin. *Journal of Automation and Information Sciences. 2018. Vol. 50. Iss. 12. P. 60–73.*
20. **Калюга Б.В., Задерей Н.М.** Застосування вейвлет-перетворення в сучасній науці та техніці. *Наукові записки молодих вчених. 2019. №4. 9 с.*
21. **Літнарівич Р.М.** Побудова і дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу : *навч. посіб.* Рівне : МЕТУ, 2011. 140 с.
22. **Albawi S., Mohammed T.A., Al-Zawi S.** Understanding of a convolutional neural network // International Conference on Engineering and Technology (ICET) (Antalya, Turkey, 2017). *Antalya, 2017. P. 1–6.* URL: <https://doi.org/10.1109/ICEngTech-no1.2017.8308186>
23. **Галаган Р.М., Андрєєв С.М., Петрик В.Ф., Баженов В.Г., Лисенко Ю.Ю.** Виявлення дефектів бетонних конструкцій на основі



- аналізу зображень за допомогою згорткових нейронних мереж. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2023. Том 34(73). № 2. С. 138–144.
24. **Бакулін Є.А., Яковенко І.А., Бакуліна В.М.** Визначення параметрів напружено-деформованого стану споруди башти силосу та її конструктивних елементів за наслідками руйнування // *Achievements of Ukraine and EU countries in technological innovations and invention : coll. mon. Riga: "Baltija Publishing", 2022. P. 1–43.*  
URL : <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-254-8-1>
25. **Бакулін Є.А., Яковенко І.А., Дмитренко Є.А., Бакуліна В.М.** Результати аналізу причин руйнування сталевих ферм покриття конверторного цеху. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: зб. тез доп. 9-ої міжн. наук.-техн. конф. (Харків, 17–19 листопада, 2021 р.). Харків, УкрДУЗТ, 2021. С. 87–88.*
26. **Бакулін Є.А., Яковенко І.А.** Наслідки руйнування та надання комплексної оцінки можливості подальшої експлуатації будівлі корівника у смт. Немішаєво. *Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування конструювання та дизайн: зб. тез доп. XXI міжн. онлайн-конф. наук.-пед. працівн., наук. спів. та асп. (Київ, 25–26 березня 2021 р.). К. : НУ-БіП України, 2021. С. 67–69.*
27. **Бакулін Є.А.** Критерії надійності та ризиків при оцінюванні технічного стану експлуатованих будівель. *Будівництво України. 2013. №1. С. 2–4.*
28. **Бакулін Є.А.** Деформації як індикатори небезпек та ризику руйнування експлуатованих будівель. *Будівництво України. 2013. №5. С. 2–5.*
29. **Костира Н.О., Малишев О.М., Бакуліна В.М.** Особливості технічного обстеження та паспортизації прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. 2019. Vol. 10. № 1. P. 165–169. URL: <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019.01.165>
30. **Kolchunov V.I., Yakovenko I.A.** About the violation solid effect of reinforced concrete in reconstruction design of textile industry enterprises. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2016. Vol. 363. Iss. 3. P. 258–263.
31. **Костира, Н., Бакуліна, В. (2022).** Особливості технічного обстеження об'єктів прилеглих до існуючої забудови. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, (12), 105–114. URL: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.105-114>

## REFERENCES

1. **DBN V.1.2–14:2018.** (2022) Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktivnoi bezpeky budivel i sporud. Zi Zminoiu № 1. Kyiv: *Minrehion Ukrainy*, 81 p. (diiuchy)
2. **ISO 2394:2015.** (2015). International standard. General principles on reliability for structures.
3. **Karpilovskyi, V.S.** (2022). *Metod skinchennykh elementiv i zadachi teorii pruzhnosti*. Kyiv: *Sofia A.275 p/*
4. **Zaiakin, D.K. & Mikulich, O.A.** (2023). Osoblyvosti zastosuvannya chyselnykh metodiv dlia analizu napruzhеноho станu porystykh budivelnykh materialiv. *Modern technologies and calculation methods in construction*, 19, 76–83.
5. **Huskova, V.H., Bidiuk, P.I. & Hasanov, A.S.** (2022). *Ymovirnisno-statystychni metody modeliuвання i prohnozuvannya*. Kyiv: *Vydavnytstvo NPU im. M.P. Drahomanova*. 456 p.
6. **Pichugin, S.F., Klochko, L.A.** (2020). Structural system collapse risk limitation strategy. *Academic journal Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1(54), 19–25.
7. **ISO 21929-1:2011.** Stiikest v budivnytstvi – indykatory stiikesti. Chastyna 1: Platforma rozrobky indykatoriv i bazovoho naboru indykatoriv dlia budivel. 46 p.
8. **8.Reznikova, O.O. (Eds.), Voitovskyi, K.Ie. & Lepikhov, A.V.** (2020) Natsionalni systemy otsiniuvannya ryzykiv i zahroz: krashchi svitovi praktyky, novi mozhlyvosti dlia Ukrainy. Kyiv: *NISD*. 84 p.
9. **Reznikova, O.O.** (2022). *Natsionalna stiikest v umovakh minlyvoho bezpekovoho seredovyscha*. Kyiv: *NISD*. 456 p.
10. **Berezutskyi, V.V. & Adamenko, M.I.** (2016). *Nebezpechni vyrobnychi ryzyky ta nadiinist. Kharkiv: FOP A.M. Panov*. 385 p.
11. **DSTU IEC/ISO 31010:2013.** (2015). Keruvannya ryzykom Metody zahalnoho otsiniuvannya ryzyku. Kyiv: *Minekonomrozvytku Ukrainy*. 80 p.

12. **Aven, T.** (2016). Otsinka ta upravlinnia ryzykamy: ohliad ostannikh dosiahnen na yikh osnovi. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1–13.
13. **Lysnytska, K. & Pershakov, V.** (2018). Otsinka nadiinosti budivli na prykladi zhytlovoho budynku. *Building constructions. Theory and Practice*, 1(3), 58–67. URL: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.3.2018.58-67>
14. **Terentiev, O.O. & Poltorak, O.B.** (2013). Informatsiini tekhnolohii otsinky tekhnichnogo stanu budivnykh konstruksii iz zastosuvanniam nechitkykh modelei. *New technologies in construction*, 25–26, 57–61.
15. **Terentiev, O.O., Shabala, Ye.Ie., Malyna, B.S.** (2015). Osnovy orhanizatsii nechitkoho vyvedennia dlia zadachi diahnostryky tekhnichnogo stanu budivel ta sporud. *Management of the development of complex systems*, 22, 138–143.
16. **Kvasnikov, V., Ornatskyi, D., Graf, M. & Shelukha, M.** (2021). Designing a computerized information processing system to build a movement trajectory of an unmanned aircraft vehicle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/9(109), 33–42.
17. **Mao, Q., Sun, H., Liu, Y. & Jia, R.** (2019). Mini-YOLOv3 : Real-Time Object Detector for Embedded Applications. *IEEE Access*, no 7, 133529–133538.
18. **Adeli, H.** (2001). Neural Networks in Civil Engineering: 1989-2000. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 16, 126–142. URL: <http://dx.doi.org/10.1111/0885-9507.00219>.
19. **Polishchuk, V.** (2018). Fuzzy Method for Evaluating Commercial Projects of Different Origin. *Journal of Automation and Information Sciences*, 50(12), 60–73
20. **Kaliuha, B.V. & Zaderei, N.M.** (2019). Zastosuvannia veivlet-peretvorennia v suchasni nauki ta tekhnitsi. *Scientific notes of young scientists*, 4, 9 p.
21. **Litnarovych R.M.** (2011) Pobudova i doslidzhennia matematychnoi modeli za dzherelamy eksperymentalnykh danykh metodamy rehresiinoho analizu : *navch. posib.* Rivne : MEHU. 140 p.
22. **Albawi S., Mohammed T.A., Al-Zawi S.** (2017) Understanding of a convolutional neural network // International Conference on Engineering and Technology (ICET) (Antalya, Turkey, 2017). *Antalya*. P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.1109/ICEngTech-no1.2017.8308186>
23. **Halahan R.M., Andreiev S.M., Petryk V.F., Bazhenov V.H., Lysenko Yu.Yu.** (2023) Vyivlennia defektiv betonnykh konstruksii na osnovi analizu zobrazhen za dopomohoiu zghortkovykh neironnykh merezh. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky*. 34(73). № 2.138–144.
24. **Bakulin, Ye.A., Yakovenko, I.A., Bakulina, V.M.** (2022). Vyznachennia parametriv napruzheno-deformovanoho stanu sporudy bashty sylosu ta yii konstruktyvnykh elementiv za naslidkamy ruinovannia. *Achievements of Ukraine and EU countries in technological innovations and invention (p. 1–43)*. Riga: Baltija Publishing. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-254-8-1>
25. **Bakulin, Ye.A., Yakovenko, I.A., Dmytrenko, Ye.A. & Bakulina, V.M.** (2021). Rezultaty analizu prychnyn ruinovannia stalevykh ferm pokryttia konvertornoho tsekhu/ *Problemy nadiinosti ta dohovichnosti inzhenernykh sporud ta budivel na zaliznychnomu transporti, UkrDUZT. Kharkiv, Ukraine*. P. 87–88.
26. **Bakulin, Ye.A. & Yakovenko, I.A.** (2021). Naslidky ruinovannia ta nadannia kompleksnoi otsinky mozhlyvosti podalshoi ekspluatatsii budivli korivnyka u smt. Nemishaievo. *Problemy ta perspektyvy rozvytku tekhnichnykh ta bioenerhetychnykh system pryrodokorystuvannia konstruiuvannia ta dyzain: zb. tez dop. KhXI mizhn. onlain-konf. nauk.-ped. pratsivn., nauk. spiv. ta asp.* «» (Kyiv, 25–26 bereznia 2021 r.). K. : NUBiP Ukrainy. C. 67–69.
27. **Bakulin, Ye.A.** (2013). Kryterii nadiinosti ta ryzykiv pry otsiniuvanni tekhnichnogo stanu ekspluatovanykh budivel. *Budivnytstvo Ukrainy*, 1, 2–4.
28. **Bakulin, Ye.A.** Deformatsii yak indykatory nebezpek ta ryzyku ruinovannia ekspluatovanykh budivel. *Budivnytstvo Ukrainy*, 5, 2–5.
29. **Kostyra, N.O., Malyshev, O.M. & Bakulina, V.M.** (2019). Osoblyvosti tekhnichnogo obstezhennia ta pasportyzatsii pryiniatykh v ekspluatatsiiu obektiv budivnytstva. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*, 10(1), 165–169. URL: <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019.01.165>
30. **Kolchunov, V.I. & Yakovenko, I.A.** (2016). About the violation solid effect of reinforced concrete in reconstruction design of textile industry enterprises. *Izvestiya Vysshikh*

*Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 363(3), 258–263.

31. **Kostyra, N.O. & Bakulina, V.M.** (2023).

Osoblyvosti tekhnichnoho obstezhennia ob'ektiv prylehlykh do isnuiuchoi zabudovy. *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka*, 12, 105–114. URL:

<https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.105-114>

## **MODERN METHODS OF IDENTIFYING THE HAZARDS OF DESTRUCTION OF BUILDINGS, STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS IN REAL OPERATING CONDITIONS**

*Vasyl KLIUIEV,  
Yevhenii BAKULIN*

**Summary.** The problem of identifying the hazards of buildings, constructions and structural elements destruction in the conditions of actual operation arises from the need to ensure the safety of people and property. This problem is especially relevant in connection with the constant increase in the volume of construction and operation of building objects of various functional purposes.

The importance of identifying the hazards of the destruction of operated objects is to identify potential threats of destruction in advance and to take appropriate measures to localize them. This challenge requires an integrated approach, encompassing continuous monitoring of the technical condition, assessment of actual operating conditions, analysis of design resistance of structural elements, and the development of suitable strategies for maintenance, strengthening or replacement of structures, carrying out repair and restoration work or reconstruction.

Destruction hazards can arise for various reasons and can induce a serious threat to life, human health, and property integrity.

Some of the main factors that can lead to failure include: aging and physical wear; natural rheological processes (material degradation) and changes in design and operating conditions.

In addition, the danger may increase due to natural disasters, such as earthquakes, floods, hurricanes, etc. Potential threats of destruction are hidden defects and damages caused by design errors, non-compliance of structural elements with technical conditions, poor-quality construction and installation (repair) work, which ultimately increases the level of danger of destruction during operation.

It should be noted that during the building object operation, deficiencies in technical operation, changes in the design conditions of normal operation, violations of regulatory conditions and the system of planned preventive repairs can lead to the accumulation of problems that can cause destruction over time.

Studying methods to identify hazards, conducting a detailed analysis of the causes and mechanisms of emergencies, and implementing appropriate measures based on these findings are crucial for the continuous improvement of destruction prevention strategies.

Research methods for identifying hazards of operated building objects destruction, detailed analysis of the causes and mechanisms of emergency situations, and implementation of appropriate measures based on the data obtained allow for continuous improvement of the destruction prevention strategy.

**Keywords.** identification of hazards; destruction; threats; stability; strength; deformation

*Стаття надійшла до редакції 15.07.2024*