

**Олена ДЕМИДОВА,**

доцент, к.т.н.

ORCID 0000-0003-4636-1535

*Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ*

**Костянтин МІЛЦЬКИЙ,**

аспірант

ORCID 0009-0008-8170-1680

*Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ*

## **ТЕОРЕТИКО МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ КЛАСИФІКАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВІДМОВ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬ**

У статті досліджено теоретико-методичні засади забезпечення експлуатаційної надійності будівель через впровадження концепції функціональної відмови конструкцій та їх елементів. Актуальність роботи зумовлена необхідністю модернізації інструментарію технічного обстеження об'єктів, що зазнали впливів не передбаченими унаслідок бойових дій, де характер навантажень суттєво відхиляється від стандартних розрахункових сценаріїв. В статті наголошено на важливості переходу до системного аналізу фізичних механізмів руйнування.

Метою дослідження є наукове обґрунтування та систематизація видів функціональних відмов несучих конструкцій за більш розширеним підходом. У роботі функціональна відмова розглядається як стан, за якого конструкція втрачає здатність відповідати проектним вимогам і допускам, навіть за умови збереження задовільного візуального стану. Наукова новизна полягає у розробці комплексної класифікації, що базується на аналізі технологічного характеру, причин виникнення, швидкості деградації та масштабу наслідків відмов.

Аналіз технологічного характеру дозволив виокремити рівні деградації: від початкового погіршення експлуатаційних параметрів до виникнення наднормативних деформацій та критичної втрати несучої здатності. Особливу увагу приділено поділу та розширенню внутрішніх чинників, пов'язаних із проектно-технологічними помилками, та зовнішніх факторів, зумовлених екстремальними механічними навантаженнями та вибуховими хвилями. Доведено, що швидкість переходу системи у стан відмови визначає модель подальшого моніторингу, де поступові процеси дозволяють здійснювати превентивні заходи, а раптові відмови вимагають специфічних методів миттєвої діагностики.

Класифікація за наслідками дозволяє оцінити ступінь ризику для експлуатації, розмежовуючи локальні дефекти, обмеження працездатності та повну системну дестабілізацію, спричинену ланцюговою реакцією втрати стійкості ключових несучих конструкцій. Практичне значення результатів полягає у створенні теоретичного підґрунтя для підвищення об'єктивності експертних висновків та прогнозування залишкової несучої здатності споруд. Запропонована типізація слугує фундаментом для вибору обґрунтованих стратегій відновлення, підсилення або демонтажу об'єктів у процесі повоєнної відбудови України.

Системний підхід до класифікації дозволяє враховувати не лише візуальні пошкодження, а й поступове зношення структурної цілісності, забезпечуючи механічну безпеку будівельних об'єктів у повоєнний період.

**Ключові слова:** експлуатаційна надійність, функціональна відмова, технічне обстеження, несуча здатність, наднормативні деформації, бойові пошкодження, конструктивні елементи, системний підхід, підсилення, демонтаж.

**Постановка проблеми.** Забезпечення експлуатаційної надійності будівель та їх конструктивних елементів вимагає чіткого розуміння механізмів переходу системи з повністю функціонально придатного стану до стану повної функціональної відмови [1]. У даній статті під функціональною відмовою розуміється явище яке характеризується порушенням несучої здатності та припиненням виконання конструкціями заданих функцій, які встановлюються з відповідними допусками. Слід зауважити, що на відміну від повного фізичного зношення конструкції, функціональна відмова є здатністю конструктивних елементів відповідати встановленими проектом вимогам. Якщо певний параметр конструкції (наприклад армування чи його захисний шар) виходить за межі встановленого допуску конструктивний елемент вважається таким, що втратив працездатність, навіть за умови збереження задовільного візуального стану [2-3].

Класифікація функціональної відмови конструкцій дозволить систематизувати процес обстеження та перейти від простої фіксації дефектів до розуміння механізму руйнування конструктивних елементів будівлі. Це особливо важливо при розробці методичного інструментарію для обстеження будівель, що зазнали пошкоджень внаслідок бойових дій, де характер навантажень часто виходить за межі стандартних розрахункових сценаріїв, тобто пошкоджень непередбаченими проектними рішеннями.

**Аналіз останніх досліджень в публікації.** В своїй статті Берчун Я.О., Теличко Р.І. та Клименков О.А [4] обґрунтовують науково-методичний підхід до експрес-оцінки технічного стану пошкоджених багатоповерхових будівель із застосуванням гібридних моделей штучного інтелекту та нейронних мереж (CNN, LSTM). Автори пропонують алгоритмізацію процесу прийняття рішень через інтеграцію дистанційного зондування та математичного моделювання, що дозволяє мінімізувати ризики прогресуючого колапсу та оптимізувати стратегії відновлення в умовах інформаційної невизначеності. Робота формує підґрунтя для створення автоматизованих систем моніторингу структурної цілісності об'єктів цивільної інфраструктури, що зазнали бойових уражень. Демешкант Є. М. у своїй статті [5] запропонував комплексну класифікацію пошкоджених будівель у складі житлових утворень, яка базується на системному аналізі функціонального призначення, поверховості, періоду зведення та історико-культурної цінності об'єктів. Автор обґрунтовує необхідність територіального підходу до відновлення на рівні кварталу, інтегруючи технічні параметри руйнувань (категорія та локалізація) із нормативними вимогами щодо щільності забудови та соціальної інфраструктури. Розроблений класифікаційний інструментарій створює науково-методичне підґрунтя для типізації проектних рішень із реконструкції та модернізації міського середовища в умовах повоєнної відбудови України. Тимур Кузьмін [6] запропонував системно-структурний підхід до оцінювання наслідків руйнувань територій, що базується на інтеграції методів дистанційного зондування, ГІС-

технологій та математичного моделювання топологічної зв'язності інфраструктурних мереж. Автори пропонують методику розрахунку індексів системної стійкості та функціональної цілісності яка враховує стратегічну вагу різних класів об'єктів і каскадні ефекти від пошкодження критичних вузлів, зокрема енергетичних та транспортних хабів. Розроблений інструментарій дозволяє не лише верифікувати фізичні масштаби деструкції, а й здійснювати науково обгрунтоване прогнозування пріоритетних напрямів відновлення урбанізованих систем для підвищення їхньої ефективності.

Аналіз праць провідних вітчизняних фахівців, зокрема В.В. Савйовського, І.Г. Іваника, П.Є. Григоровського [7-9] та їхніх колег, свідчить про сформовану наукову базу в галузі обстеження будівель, пошкоджених під час збройної агресії чи терористичних актів. Проте стрімка зміна характеру руйнувань диктує необхідність подальшої модернізації існуючих підходів та переосмислення методичного інструментарію експертної оцінки, але не розкривають в повній мірі види та умови пошкоджень при яких виникає функціональна відмова конструктивних елементів будівлі.

**Метою статті** є теоретичне узагальнення та систематизація видів функціональних відмов несучих конструкцій за їхнім походженням, характером прояву та наслідками для створення наукового підґрунтя при прийнятті рішень щодо стратегій відновлення, підсилення або демонтажу пошкодженого об'єкта.

**Основний матеріал** Аналіз технічного стану об'єкта починається з виявлення функціональних відмов за їхнім технологічним характером. Це дозволяє визначити, який саме аспект життєвого циклу будівлі було порушено. Першим рівнем такої деградації є погіршення експлуатаційних характеристик. Цей процес стосується насамперед здатності будівлі забезпечувати комфортне та безпечне перебування людей або належні умови для технологічних процесів. До таких проявів належать порушення герметичності огорожувальних конструкцій, втрата звукоізоляційних властивостей або зниження енергоефективності. Хоча такі функціональні відмови не завжди загрожують негайним руйнуванням конструктивних елементів будівлі, вони свідчать про початкову стадію втрати функціональності будівлі. Більш небезпечним проявом є наднормативні деформації. Вони виникають тоді коли геометричні параметри несучих конструкцій - прогини, нахили, осідання перевищують значення, встановлені будівельними нормами чи за прогнозовані проектом. Наднормативні деформації змінюють характер розподілу внутрішніх зусиль у системі несучих конструкцій, що може призвести до виникнення небажаних напружень у суміжних вузлах. Найгіршим ступенем технологічної відмови є погіршення несучої здатності. У цьому стані конструкція втрачає здатність чинити опір прикладеним зовнішнім навантаженням. Це критична фаза, що безпосередньо загрожує механічній безпеці об'єкта та вимагає негайних заходів з підсилення або демонтажу.

Для розробки ефективного плану відновлення необхідно чітко розмежовувати функціональні відмови в залежності від причин виникнення. Сучасні підходи виокремлюють внутрішні та зовнішні чинники впливу. До внутрішньої групи належать функціональні відмови, викликані недоліками конструкцій. Сюди відносяться помилки, допущені на етапах розробки проектної документації (невірний вибір розрахункової схеми, помилки в армуванні), використання матеріалів з характеристиками нижче нормативних, а також порушення технології виконання будівельно-монтажних робіт. Такі функціональні відмови часто мають

прихований характер і можуть не проявлятися протягом тривалого часу експлуатації. На противагу їм, відмови через зовнішні причини є результатом впливу середовища або надзвичайних обставин. У сучасних умовах це можуть бути сейсмічні поштовхи, агресивне хімічне середовище, а також екстремальні механічні дії, такі як вибухові хвилі або прямі імпульсні зусилля. Останні викликають миттєву зміну стану конструкції, що вимагає специфічного підходу до діагностики, оскільки такі впливи часто призводять до виникнення прихованих пошкоджень у вузлах з'єднань, які на перший погляд здаються справними але можуть призвести до демонтажу об'єкту обстеження.

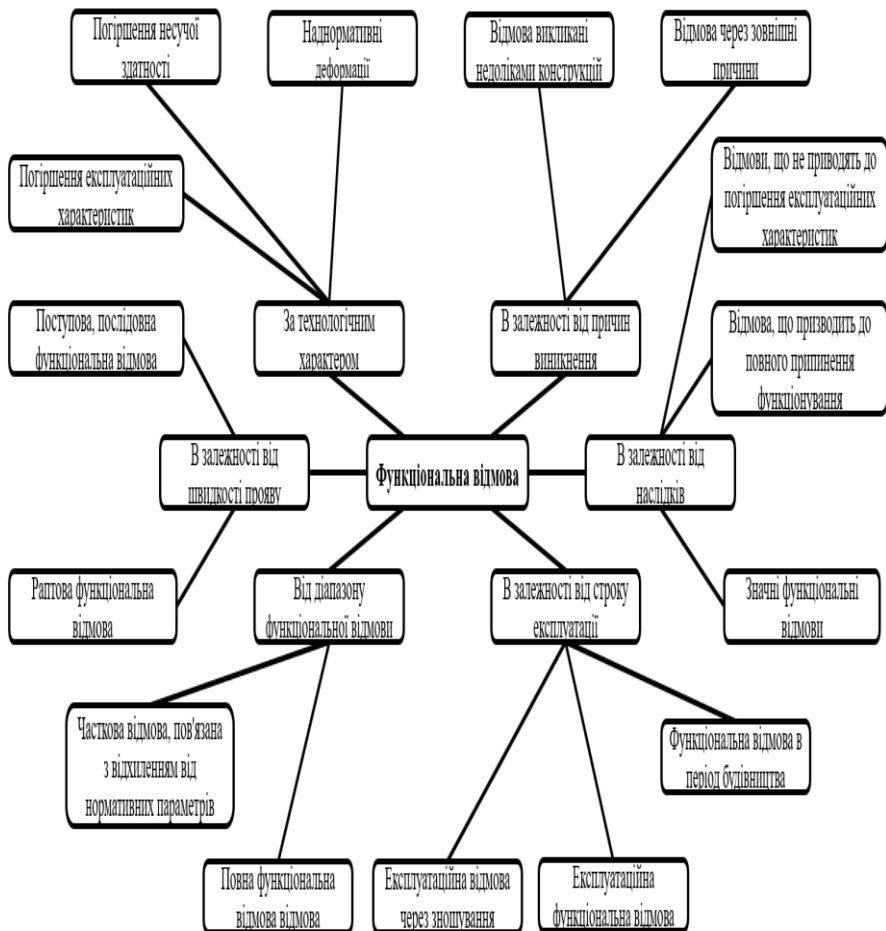


Рис. 1 Класифікація функціональних відмов. Узасальнено авторами

Швидкість, з якою конструкція переходить зі задовільного стану в стан функціональної відмови, визначає модель технічного моніторингу. Поступова, послідовна функціональна відмова є результатом довготривалих процесів, таких як корозія металу, карбонізація бетону або втома матеріалу під дією циклічних навантажень. Характерною особливістю таких процесів є можливість їхнього прогнозування на основі періодичного моніторингу технічного стану конструкцій, це дозволить вчасно вжити превентивних заходів. На протигагу поступовим процесам, раптова функціональна відмова стається миттєво і часто без видимих попереджувальних ознак. Вона характерна для крихкого руйнування матеріалів або раптової втрати стійкості елементів каркаса. Такі функціональні відмови є найбільш небезпечними, оскільки вони виключають можливість евакуації або локалізації пошкоджень у реальному часі. У практиці обстеження пошкоджених будівель раптові відмови зазвичай являються дією вибухових навантажень, що миттєво змінюють статичну схему споруди.

Класифікація в залежності від наслідків дозволяє оцінити ступінь ризику для подальшої експлуатації будівлі. Існують функціональні відмови, що не приводять до погіршення експлуатаційних характеристик у короткостроковій перспективі. Це локальні дефекти, які не впливають на загальну стійкість, але потребують уваги для запобігання розвитку більш складних процесів. Більш вагомими є значні функціональні відмови, що призводять до обмеженої експлуатації окремих частин об'єкта дослідження. Найбільш критичним наслідком є функціональна відмова, що призводить до повного припинення функціонування. У такому стані будівля стає непридатною для перебування людей, а її відновлення часто є економічно недоцільним. Загальний аспект проблеми розглядається через масштабу функціональної відмови конструкцій. Часткова функціональна відмова, пов'язана з відхиленням від нормативних параметрів, зачіпає лише окремі вузли або елементи, зберігаючи загальну життєздатність системи завдяки резервуванню несучих конструкцій. Проте повна функціональна відмова та подальший її демонтаж свідчить про вичерпання ресурсу надійності всієї будівлі чи її конструктивних елементів як цілісної системи. Це стан, коли пошкодження одного ключового елемента (наприклад, центральної несучої опори) викликає ланцюгову реакцію втрати стійкості інших несучих конструкцій.

Важливим вектором аналізу є розподіл функціональних відмов в залежності від строку експлуатації. Функціональна відмова в період будівництва зазвичай пов'язана з технологічними помилками, передчасним навантаженням бетонних конструкцій або невідповідністю монтажних схем проектним рішенням. Такі пошкодження часто виявляються на етапі приймання робіт. Експлуатаційна функціональна відмова виникає в процесі нормативного використання будівлі. Вона відображає баланс між якістю проектування та реальним режимом використання об'єкта. Останнім етапом є експлуатаційна відмова через зношування. Це закономірний процес фізичного старіння матеріалів, коли конструкції втрачають свої властивості внаслідок вичерпання природного ресурсу. У цьому випадку відмова є неминучою, і завдання інженера полягає в точному визначенні моменту, коли подальша експлуатація стає небезпечною.

**Висновки.** Системний підхід до класифікації функціональних відмов є фундаментом для розробки сучасного організаційно-методичного інструментарію для технічного обстеження. Чіткий розподіл та класифікація функціональних відмов за їхнім походженням, характером прояву та наслідками дозволяє

підвищити точність технічних висновків та обґрунтованість рекомендацій щодо відновлення будівель. Це набуває особливого значення в контексті відновлення об'єктів, демонтаж або підсилення, що зазнали пошкодження у наслідок бойових дій, оскільки дозволяє системно оцінювати як прямі механічні руйнування, так і приховані процеси втрати або зношування несучої здатності і дозволить розширити та вдосконалити класифікацію пошкоджених будівель [10].

### **Список літератури:**

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. Київ: Мінрегіон України, 2018. 31 с.
2. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість: ДСТУ 9273:2024. – [На заміну ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016; Чинні від 01.09.2024]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2024. .
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 5 квітня 2022 р. № 423. Про внесення змін до Порядку проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва.
4. Я.О. Берчун, Р.І. Теличко, О.А. Клименков Оцінка зміни технічного стану понівечених багатопверхових будівель за допомогою штучного інтелекту. Екологічна безпека та природокористування 2025 випуск 54.ст 186-198
5. Демешкант, Є. (2024). КЛАСИФІКАЦІЯ ЗРУЙНОВАНИХ БУДІВЕЛЬ В СТРУКТУРІ ЖИТЛОВИХ МІСЬКИХ УТВОРЕНЬ. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, (70), 181–191. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2024.70.181-191>
6. KUZMIN, T. . (2026). Systemic–structural analysis of the scale of destruction and the spatial–functional characteristics of damaged objects. Ways to Improve Construction Efficiency, 1(57), 33–47. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57\(1\).33-4](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57(1).33-4)
7. Савійовський В. В., Молодід О.С., Дослідження особливостей підсилення залізобетонних балкових конструкцій зовнішнім, Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - 2017. - № 4. - С. 29-36. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vpabia\\_2017\\_4\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vpabia_2017_4_5)
8. І.Г.Іваник, С.І.Віхоть, Р.С.Пожар, Я.І.Іваник, Ю.Ю.Вибранець;. Основи реконструкції будівель і споруд: навч. посіб.,за ред. І.Г.Іваника – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 276 с
9. Григоровський П.Є., Черв'якова Ю.М., Басанський В.О., Крошка Ю.В., Мурашова О.В., Чуканова Н.П. Інформаційне моделювання організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань при створенні та утриманні будівельних об'єктів. Будівельне виробництво : наук.-техн. зб. Київ: Вид-во «Ліра-К». 2019. № 67. С. 7–16.
10. Порядок виконання невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків збройної агресії російської федерації, пов'язаних із пошкодженням будівель та споруд, затверджено постановою Кабінетом Міністрів України №473 від 19 квітня 2022 р. із змінами

**Olena DEMYDOVA, Kostiantyn MILITSKYI**

***Theoretical and methodological principles of classification of functional failures of buildings and their structural elements during theoretical inspection***

*The article explores the theoretical and methodological principles of ensuring the operational reliability of buildings through the implementation of the concept of functional failure of buildings or their structural systems. The relevance of the work is due to the need to modernize the tools for technical inspection of objects that have been exposed to unforeseen impacts as a result of hostilities, where the nature of the loads significantly deviates from standard design scenarios. The article emphasizes the importance of transitioning to a systematic analysis of physical failure mechanisms.*

*The purpose of the study is to scientifically substantiate and systematize the types of functional failures of load-bearing structures using a more expanded approach. In the work, functional failure is considered as a state in which the structure loses its ability to meet design requirements and tolerances, even if a satisfactory visual condition is maintained. The scientific novelty lies in the development of a comprehensive classification based on the analysis of the technological nature, causes of occurrence, rate of degradation and the scale of the consequences of failures.*

*The analysis of the technological nature allowed us to distinguish the levels of degradation: from the initial deterioration of operational parameters to the occurrence of excessive deformations and critical loss of bearing capacity. Special attention was paid to the separation and expansion of internal factors associated with design and technological errors and external factors caused by extreme mechanical loads and blast waves. It was proven that the speed of the system's transition to a failure state determines the model of further monitoring, where gradual processes allow for preventive measures, and sudden failures require specific methods of instant diagnostics.*

*Classification by consequences allows us to assess the degree of risk for operation, distinguishing between local defects, limitations in performance and complete systemic destabilization caused by a chain reaction of loss of stability of key load-bearing structures. The practical significance of the results lies in creating a theoretical basis for increasing the objectivity of expert conclusions and predicting the residual bearing capacity of structures. The proposed typification serves as a foundation for choosing sound strategies for the restoration, strengthening or dismantling of objects in the process of post-war reconstruction of Ukraine.*

*A systematic approach to classification allows us to take into account not only visual damage, but also the gradual deterioration of structural integrity, ensuring the mechanical safety of construction objects in the post-war period.*

***Keywords: operational reliability, functional failure, technical inspection, load-bearing capacity, excessive deformations, combat damage, structural elements, system approach, reinforcement, dismantling.***