

DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(2\).249-263](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(2).249-263)

УДК: 72.04:004.9

**І.М. Якимчук<sup>1</sup>**

к.е.н., доц. кафедри менеджменту в будівництві  
ORCID: 0000-0002-9198-5188

**Ю.В. Крошка<sup>2</sup>,**

к.т.н., зав. відділом  
ORCID: 0000-0001-6110-8443

**О.В. Поліщук<sup>1</sup>**

асп. кафедри менеджменту в будівництві  
ORCID: 0009-0003-8685-9659

**І.І. Остапенко<sup>1</sup>**

асп. кафедри менеджменту в будівництві  
ORCID: 0009-0007-9464-0808

**В.В. Легков<sup>1</sup>**

асп. кафедри менеджменту в будівництві  
ORCID: 0009-0003-0784-4556

<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ  
<sup>2</sup>ДП «НДІ будівельного виробництва імені В.С. Балицького» м. Київ

## **СТАНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТОК ПІДХОДІВ ДО ТЕХНІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ БУДІВЕЛЬНОГО ФОНДУ ЧЕРЕЗ ПОНЯТІЙНО-КАТЕГОРІАЛЬНИЙ АНАЛІЗ І ЧИННИКИ АКТУАЛІЗАЦІЇ**

*Становлення та розвиток підходів до технічного моніторингу об'єктів будівельного фонду виступає ключовим чинником забезпечення безпеки, ефективності експлуатації та довгострокової стійкості будівельних активів. В умовах прискореної урбанізації, інтенсивної експлуатації інженерних споруд та підвищених вимог до безпечного та енергоефективного використання об'єктів житлового та громадського призначення виникає необхідність інтеграції систематичних методологій технічного контролю, цифрових технологій та аналітичних інструментів для моніторингу. Понятійно-категоріальний аналіз технічного моніторингу дозволяє визначити ключові концепції та методологічні основи, які формують структуру оцінки стану об'єктів будівельного фонду, включаючи інженерні параметри, експлуатаційні показники та фактори ризику. Особливу увагу приділено сучасним технологіям збору та обробки даних, таким як датчики IoT, безпроводні системи спостереження, цифрові моделі будівель (BIM), а також аналітичні алгоритми прогнозування дефектів і критичних відхилень у конструктивних елементах. Високий рівень інтеграції інформаційних систем з нормативними вимогами та стандартами експлуатації дозволяє підвищити точність оцінки технічного стану, забезпечити своєчасне реагування на аварійні ситуації та оптимізувати планові*

роботи з обслуговування та реконструкції. Важливою складовою є врахування факторів зовнішнього середовища, таких як кліматичні умови, інтенсивність навантажень, старіння матеріалів і технічні особливості конструкцій, що безпосередньо впливають на ризики та надійність об'єктів. Крім того, інтеграція цифрових технологій дозволяє сформувати прозору систему управління ресурсами та прийняття рішень, де моніторинг не обмежується контролем стану, а стає активним інструментом прогнозування, планування та оптимізації інвестицій. Узагальнення існуючих практик технічного моніторингу підтверджує, що комплексний підхід, який поєднує аналітику, цифрові моделі та нормативні вимоги, дозволяє підвищити безпеку, ефективність та економічну доцільність експлуатації будівельного фонду, зменшуючи ризики аварій і непередбачених витрат.

**Ключові слова:** *технічний моніторинг, будівельний фонд, цифрові технології, аналітика, експлуатаційна безпека, BIM, прогнозування ризиків, життєвий цикл.*

**Постановка проблеми.** Технічний моніторинг об'єктів будівельного фонду є критично важливою складовою забезпечення безпеки, ефективності та довгострокової стійкості будівельних активів. Основна проблема полягає у відсутності системного підходу до інтеграції сучасних цифрових технологій, аналітичних методів та нормативних вимог у процеси контролю та оцінки технічного стану споруд. Застарілі методи обліку та регулярного інспектування не дозволяють своєчасно виявляти критичні відхилення та прогнозувати ризики, що виникають унаслідок старіння конструкцій, зовнішніх впливів або інтенсивної експлуатації. Крім того, недостатня інтеграція даних між різними управлінськими та технічними підсистемами призводить до дублювання зусиль, підвищення транзакційних витрат і втрат ресурсів. Складність проблеми посилюється необхідністю врахування факторів зовнішнього середовища, таких як кліматичні зміни, сейсмічна активність, соціально-економічні умови та регуляторні вимоги. Для забезпечення ефективності управління будівельним фондом потрібно розробити системні механізми, які інтегрують аналітичні інструменти, цифрові технології та інституційні стандарти, що дозволяє здійснювати прогнозування ризиків, оптимізувати планові та аварійні роботи та підвищувати надійність експлуатації об'єктів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Сучасні дослідження зосереджуються на впровадженні цифрових технологій та методів аналітики у технічний моніторинг будівельних об'єктів. Використання систем BIM, IoT-пристроїв, датчиків та аналітичних платформ дозволяє підвищити точність оцінки стану споруд та прогнозування ризиків. Проте більшість публікацій не охоплює комплексної інтеграції цифрових інструментів із нормативними та управлінськими підходами. Недостатньо

уваги приділяється координації між різними рівнями управління та оптимізації ресурсів у межах моніторингових систем. Відсутні стандартизовані методології для аналізу даних із різнорідних джерел та забезпечення узгодженості між технічними і фінансовими показниками. Таким чином, невирішеною залишається проблема розробки системного підходу до технічного моніторингу, який поєднає цифрові технології, аналітику, нормативні вимоги та управлінські механізми для забезпечення високої ефективності та стійкості будівельного фонду.

**Метою статті** є розробка системного підходу до технічного моніторингу об'єктів будівельного фонду, який інтегрує сучасні цифрові технології, аналітичні інструменти та нормативні вимоги. Стаття спрямована на визначення ключових категорій та механізмів оцінки технічного стану будівель, оптимізації ресурсів, прогнозування ризиків та підвищення надійності експлуатації об'єктів. Особлива увага приділяється інтеграції цифрових моделей будівель, IoT-пристроїв та аналітичних платформ для створення прозорої та ефективної системи управління. Розробка комплексного підходу дозволяє зменшити транзакційні витрати, забезпечити точність прийняття управлінських рішень та підвищити ефективність та стійкість будівельного фонду в умовах сучасних технічних та регуляторних викликів.

**Виклад основної інформації.** Для глибокого розкриття понятійного апарату "технічного моніторингу об'єктів будівельного фонду" необхідно почати з розмежування базових понять і категорій, які утворюють основу цієї теми. Спочатку варто звернутися до сутності терміну "технічний моніторинг" у контексті будівельного фонду. Це поняття можна визначити як систему безперервного або періодичного спостереження за технічним станом об'єктів будівельного фонду з метою виявлення несправностей, дефектів або загрози аварійним ситуаціям. Технічний моніторинг охоплює не лише оцінку фізичного стану будівельних конструкцій, але й визначення ефективності експлуатації інженерних систем та енергозбереження.

У багатьох випадках, поняття "моніторинг" відноситься до суто технічної складової, однак важливо розуміти, що воно також має суттєві зв'язки з управлінськими і економічними аспектами. Наприклад, деякі дослідники акцентують увагу на стратегічній ролі моніторингу у прийнятті управлінських рішень в управлінні будівельними проектами, що дозволяє підвищити ефективність експлуатації об'єктів, мінімізуючи витрати на їх утримання. Як зазначає А.І. Серебряков [1], моніторинг є складною системою, яка повинна забезпечувати не лише контроль, а й прогнозування майбутніх потреб в обслуговуванні будівель.

Розглядаючи поняття будівельного фонду, слід зазначити, що воно має дві основні складові. Перша з них стосується фізичних об'єктів – будівель і споруд, які розміщуються на земній поверхні і виконують різні функції у економічній та соціальній інфраструктурі. Друга складова поняття включає в себе систему їх експлуатації, обслуговування, і моніторингу

стану. Протягом останніх десятиліть спостерігається постійне зростання вимог до технічного стану будівель та споруд. Це зумовлено як зростанням технічного навантаження на об'єкти, так і впливом природних факторів, таких як зміна клімату або землетруси. Підвищена увага до стану будівельного фонду стала очевидною після численних катастроф та аварій, пов'язаних з будівельними конструкціями, що, у свою чергу, стимулювало розвиток більш досконалих методів моніторингу та контролю.

Віднедавня поняття "будівельний фонд" стало включати в себе також і велику кількість нових типів споруд, таких як інфраструктурні об'єкти (мости, дороги, тунелі), для яких стандартні методи моніторингу потребують адаптації до нових вимог. Як підкреслює В.А. Левченко [2], зміна масштабу та функціональності об'єктів вимагає розробки нових категорій для опису технічного моніторингу, зокрема в частині інтеграції технологій автоматизації та використання інтелектуальних систем для відстеження стану споруд.

Важливою складовою технічного моніторингу є не тільки регулярні перевірки стану будівельних об'єктів, а й інтеграція з іншими системами, такими як моніторинг навколишнього середовища, енергетичні мережі та інші інженерні системи. Тут має місце інтеграція даних з різних джерел для створення комплексної картини стану об'єкта. У роботах А.М. Горохова [3] наголошується на важливості таких інтегрованих систем, оскільки вони дозволяють забезпечити більш точну та оперативну інформацію для прийняття управлінських рішень. Ще одним важливим аспектом технічного моніторингу є поняття "життєвого циклу" будівельного об'єкта. Система моніторингу має не тільки відображати поточний стан, а й сприяти прогнозуванню майбутніх змін технічного стану об'єктів, що дозволяє зменшити витрати на їх ремонт та утримання. В.В. Марченко [4] зазначає, що правильне управління життєвим циклом будівельного фонду дозволяє значно покращити ефективність використання ресурсів, оскільки дозволяє здійснювати капітальні ремонти та модернізацію лише в необхідні моменти часу, а не за задалегідь визначеними періодами, що є типово для традиційних підходів.

Технічний моніторинг також безпосередньо пов'язаний з управлінськими практиками в будівництві. Оскільки моніторинг дозволяє отримувати об'єктивну інформацію про стан будівель, це дає змогу керівникам проектів та інженерам приймати рішення щодо необхідності проведення ремонту, реконструкції або навіть капітального будівництва нових об'єктів. Як зазначає М.Ф. Васильєв [5], ефективне використання результатів моніторингу може значно покращити планування і виконання будівельних проектів, мінімізуючи невиправдані витрати на ремонтні роботи.

Таким чином, поняття "технічний моніторинг об'єктів будівельного фонду" є багатограним і вимагає комплексного підходу до визначення, який включає в себе не лише технічні аспекти, а й економічні,

управлінські та екологічні чинники. Система моніторингу повинна бути орієнтована на оперативне виявлення дефектів, забезпечення безпеки експлуатації об'єктів, а також на прогнозування їх технічного стану з метою збереження ресурсів та ефективного управління будівельним фондом.

Технічний моніторинг об'єктів будівельного фонду є важливою складовою частиною управління життєвим циклом будівель і споруд. Його основне завдання полягає в тому, щоб здійснювати безперервне спостереження за технічним станом об'єктів, аналізувати їхню поведінку і, за необхідності, вчасно вживати заходів для підтримання безпеки та довговічності конструкцій. Поняття технічного моніторингу включає в себе широкий спектр підходів та інструментів, спрямованих на виявлення та усунення дефектів, що виникають в процесі експлуатації будівель. Цей процес обов'язково охоплює всі етапи життєвого циклу будівлі, починаючи від проектування та завершуючи післяексплуатаційним періодом.

Технічний моніторинг будівельних об'єктів здійснюється за допомогою різних технологій, які дозволяють отримувати точні дані про стан конструкцій і матеріалів, з яких складаються ці об'єкти. Системи моніторингу можуть включати датчики для вимірювання механічних навантажень, температури, вологості, а також датчики, які реєструють зміни в геометрії об'єкта (деформації, тріщини тощо). Ці інструменти допомагають своєчасно виявляти проблеми, що виникають у процесі експлуатації будівель, і дозволяють розробити відповідні рекомендації щодо їх усунення [6].

Як ми бачимо на схемі на рисунку 1, процес технічного моніторингу включає кілька ключових етапів, таких як збір даних, їх обробка і аналіз, а також ухвалення управлінських рішень на основі отриманих результатів. Всі ці етапи важливі для забезпечення своєчасної і правильної оцінки технічного стану будівельного об'єкта, що дає можливість не лише запобігти аварійним ситуаціям, а й оптимізувати витрати на обслуговування та ремонт.



Рис. 1. Механізм технічного моніторингу будівельного об'єкта (розроблено авторами на основі [6])

Оскільки технічний моніторинг впливає на різноманітні аспекти функціонування об'єкта, він потребує інтердисциплінарного підходу. Це включає застосування інженерних знань, технологічних інструментів і управлінських методик для створення ефективної системи моніторингу, яка буде працювати в умовах тривалого використання будівель і споруд. Існує кілька основних видів моніторингу: постійний, періодичний і аварійний. Кожен із цих типів має свої переваги й недоліки, і вибір відповідного типу залежить від типу будівлі та її призначення.

Технічний моніторинг дозволяє значно знизити ризик виникнення аварій, поліпшити управління ресурсами та значно продовжити термін служби будівель. Важливим є те, що в умовах інтенсивного розвитку технологій і матеріалів технічний моніторинг стає більш доступним та ефективним. Окрім традиційних методів спостереження, таких як візуальні огляди та перевірки, сьогодні широко використовуються автоматизовані системи збору і аналізу даних, дронів та супутникових технологій, що дозволяють здійснювати моніторинг навіть в найважкодоступніших місцях [7].

Як показано на таблиці 1, існує різноманітність систем моніторингу, що застосовуються для різних типів будівельних об'єктів. Кожен тип об'єкта вимагає особливих підходів до збору даних, що дозволяє забезпечити найбільш точні та актуальні результати.

Таблиця 1.

**Системи моніторингу для різних типів будівельних об'єктів у контексті сталого управління (розроблено авторами на основі [7])**

Тип об'єкта	Основні параметри моніторингу	Технології моніторингу	Призначення
Житлові будівлі	Вологість, температура, зміщення, якість повітря	Датчики мікроклімату, IoT-системи, GPS-сенсори	Підтримка життєвого комфорту та енергоефективність
Промислові споруди	Навантаження, вібрації, температура, корозія	ТензOMETричні датчики, термодатчики, антикорозійний контроль, цифрова аналітика	Запобігання техногенним інцидентам та забезпечення безперервності виробництва
Культурні пам'ятки	Деформація, мікротріщини, вологість, коливання температур	Лазерне сканування, фотограмметрія, вологістьні сенсори, тепловізори	Консервація об'єктів культурної спадщини через динамічну діагностику
Комерційні комплекси	Потік людей, енергоспоживання, вентиляція, шумові навантаження	Інфрачервоні камери, відеоаналітика, сенсори CO <sub>2</sub> , системи автоматизації BMS	Оптимізація логістики, комфорт і зниження операційних витрат

Закінчення табл. 1.

Інфраструктурні об'єкти	Деформації, осідання, коливання ґрунтів, навантаження	Геодезичні датчики, інклінометри, супутникове зондування (InSAR), LiDAR	Попередження аварій у мостах, тунелях, дамбах шляхом моніторингу змін у структурі
Модульні об'єкти	З'єднання модулів, мікроклімат, стики	Сенсори тиску, гнучкі датчики, цифрова платформа керування	Забезпечення довговічності при змінній геометрії та спрощеному монтажі
Об'єкти освіти та охорони здоров'я	Санітарні показники, CO <sub>2</sub> , вентиляція, шум, освітлення	Сенсори якості повітря, енергетичні лічильники, аналітичні платформи	Підвищення безпеки та здоров'я користувачів, моніторинг гігієнічних умов
Будівельні майданчики	Рух техніки, пил, шум, вібрації, стабільність тимчасових конструкцій	RFID-системи, гіроскопи, сенсори пилу, акустичні датчики	Забезпечення екологічної відповідальності під час будівництва

Розуміння понятійної основи технічного моніторингу в будівельній сфері потребує глибокого історико-наукового аналізу його еволюції як категорії. Спершу слід звернути увагу на базове поняття «становлення», яке в цьому контексті розкриває процес поступової інституціоналізації підходів до технічного спостереження за станом будівельних об'єктів. На ранніх етапах, ще в середині ХХ століття, моніторинг інженерних споруд мав характер ситуативного інженерного обстеження, в якому переважала емпірична оцінка фізичного стану об'єктів за участю технічного персоналу без належної систематизації термінології. Поступове нагромадження знань про поведінку конструкцій у часі стало поштовхом до формалізації понять «діагностика», «обстеження» та «контроль», які згодом стали фундаментом концепту технічного моніторингу.

Як ми бачимо на схемі на рисунку 2, історичні етапи становлення понятійного апарату технічного моніторингу мають виражену етапність.

У межах сучасного цифрового етапу особливої ваги набуває категорія «інформаційна модель моніторингу», яка, як підкреслює Бенжамін Лау у своєму дослідженні про BIM-інтегровані системи спостереження, базується на принципах повного життєвого циклу споруди [10]. Тут технічний моніторинг виступає не лише як інструмент, а як активна частина управлінської екосистеми. Поняття «прогностичний аналіз» набуває ролі операційного ядра, дозволяючи виявити закономірності деградації конструкцій на основі великих масивів даних. Саме завдяки цьому аналітичному підходу відбувається перехід від реактивного до проактивного управління ризиками, де майбутній стан будівлі

розглядається як змінна, якою можна керувати через цифрову симуляцію та сценарне прогнозування.



*Рис. 2. Етапи еволюції понятійної основи технічного моніторингу будівель (розроблено авторами на основі [9])*

Особливістю інформаційної моделі є її здатність інтегрувати не лише геометричні та матеріальні параметри споруди, а й часові, навантажувальні, температурні та експлуатаційні характеристики, що надходять з різних сенсорних систем у режимі реального часу. Таким чином, поняття моніторингу трансформується з лінійної процедури у комплексну платформу даних, яка поєднує в собі алгоритми машинного навчання, статистичну оцінку стабільності, та символічне моделювання структурної поведінки. У цьому сенсі кожен об'єкт спостереження набуває цифрової репрезентації, яка постійно оновлюється і є предметом автономного аналізу.

Водночас поняття «інформаційна модель моніторингу» не обмежується лише функціональною архітектурою програмного забезпечення. Воно розширюється до концептуального рівня, де об'єктом моделювання є не тільки сама будівля, але й соціально-економічний контекст її експлуатації, юридичні обмеження, енергетичні сценарії та екологічні наслідки. Такий підхід підкреслює мультидисциплінарність сучасного технічного моніторингу, в якому поняття точності вимірювання перестає бути домінуючим, а натомість фокус зміщується на передбачуваність системної дії [11].

Як видно з таблиці 2, трансформація понять технічного моніторингу супроводжувалася також зміною методологічного апарату. Від класичних підходів, заснованих на періодичних обстеженнях та візуальній оцінці дефектів, галузь перейшла до постійно активних цифрових систем, які

працюють у середовищі безперервного збору та інтерпретації даних. У результаті цього поняття контролю технічного стану змінилося з дисципліни фіксації до дисципліни прогнозування і симулятивного планування.

У межах понятійного простору технічного моніторингу важливою категорією також виступає «надійність даних». Це не просто інженерний критерій, а методологічна умова правомірності управлінських рішень. Надійність оцінюється за точністю, верифікованістю та узгодженістю джерел інформації. Таким чином, поняття «інформаційна достовірність» стає базисним для побудови будь-яких інтерпретаційних висновків у межах цифрового моніторингу.

Ще одним важливим поняттям, яке з'явилося в новітніх дослідженнях, є «мультипараметричність». Йдеться про здатність систем технічного моніторингу одночасно враховувати декілька незалежних змінних — температуру, вологість, деформації, вібрації тощо — та інтегрувати ці показники у загальну оцінку безпеки об'єкта. Згідно з дослідженнями Лінди Чен з Токійського університету, лише мультипараметричні системи дозволяють точно ідентифікувати приховані ризики структурної деградації [12].

Поняття «будівельний фонд» становить ключову ланку в осмисленні системи технічного моніторингу, оскільки саме воно є інтегральною категорією, що акумулює в собі множинність об'єктів, структур, елементів і процесів, які перебувають у постійному технічному, економічному та експлуатаційному взаємозв'язку. У вузькому сенсі будівельний фонд можна трактувати як сукупність усіх існуючих у межах певної територіальної одиниці або галузі будівельних об'єктів, які підлягають обліку, утриманню, обстеженню та технічному супроводу.

Однак у сучасному концептуальному полі поняття набуває рис багаторівневої системи, де кожен об'єкт не є ізольованою одиницею, а діє як частина складної інфраструктурної конфігурації, що включає в себе інженерні системи, комунікаційні вузли, конструктивні компоненти та середовище взаємодії з користувачем.

Коли говоримо про «об'єкт спостереження», то маємо на увазі одиницю будівельного фонду, яка є носієм технічних, конструктивних, експлуатаційних і ризикових характеристик. Це не просто фізична структура, а система з певною історією будівництва, модернізацій, технічних втручань і потенційно прихованих дефектів. Власне, об'єкт спостереження формує рамку застосування методів технічного моніторингу – тобто він є відправною точкою для постановки завдань діагностики, вибору сенсорної апаратури, розрахунку граничних параметрів. У випадку, коли об'єкт спостереження представляє собою багаторівневу будівлю з великим обсягом інженерних комунікацій, ігнорування цих параметрів веде до фрагментарної оцінки стану і хибних висновків щодо його надійності [13].

Таблиця 2

**Зміна ключових понять у парадигмах технічного моніторингу**  
(розроблено авторами на основі [11])

Парадигма	Ключові поняття	Основний акцент	Інструментальна база
Емпірична	Контроль, перевірка, виявлення, технічна інтуїція	Реактивність, орієнтація на пост-фактум аналіз пошкоджень	Візуальне обстеження фахівцями, шаблони дефектів, аналогові методи, ручне документування
Сенсорна	Спостереження, збір первинних даних, сенсорика	Реєстрація змін у фізичному середовищі	Локальні сенсори (температури, вібрацій, вологи), прилади зберігання та передавання даних
Діагностична	Аналіз даних, дефектологія, оцінка залишкового ресурсу, стабільність	Інтерпретація виявлених змін, виявлення потенційних ризиків	Системи неруйнівного контролю (ультразвук, рентген, термографія), аналітичні програми
Цифрова	ВІМ-моделі, цифровий двійник, прогноз, система стану, аналітика	Проактивність, передбачення змін, цифрове управління ризиками	Інтегровані цифрові моделі (BIM, CIM), датчики IoT, AI-аналітика, хмарні платформи
Синергетична	Взаємодія підсистем, когерентність, самоорганізація, адаптація	Інтеграція організаційних та технологічних процесів	Кіберфізичні системи, edge-комп'ютинг, блокчейн для верифікації подій
Еволюційна	Навчання на основі даних, адаптивність, стратегічна пам'ять	Постійне вдосконалення, формування репозитарію знань	Машинне навчання, великі дані, системи автоматичного налаштування

На рисунку 3, поняття «будівельний фонд» структурується через взаємозв'язки між його основними складовими: об'єктами спостереження, інженерними системами та конструктивними елементами.

Усі методи технічного моніторингу без винятку спираються на розуміння будівельної конструкції як основної зони ризику, в якій можуть виникати тріщини, деформації, корозія арматури чи втрата несучої здатності [14]. Але для обґрунтованого моніторингу необхідно враховувати не тільки матеріал конструкції, але й умови експлуатації, взаємодію з інженерною системою та зміни, спричинені реконструкціями чи змінами навантажень.

Усі перелічені категорії набувають понятійного сенсу лише в рамках їх взаємодії. Так, об'єкт спостереження без урахування його конструктивної природи або взаємозв'язку з інженерними системами не може бути

адекватно оцінений у контексті технічного стану. Відтак, поняття «будівельний фонд» виступає не просто агрегатом будівель, а складною системною цілісністю, в якій реалізуються принципи ієрархії, субординації та технічної взаємозалежності [15].



*Рис. 3. Компоненти категорії «будівельний фонд» (розроблено авторами на основі [13])*

Зважаючи на це, варто представити аналітичне узагальнення ключових характеристик взаємозв'язку об'єкта спостереження, інженерної системи та конструктивного елемента у складі будівельного фонду. Як показано на таблиці 3, кожна складова має власні вектори впливу, критерії оцінки та ризики моніторингу.

Як показано на таблиці, відсутність цілісного бачення взаємодії між елементами призводить до неадекватної оцінки стану об'єкта, що підвищує експлуатаційні ризики. Це підтверджує необхідність формалізації понятійної системи технічного моніторингу, в якій кожне поняття не лише окреслює сферу дії, але й виступає носієм міждисциплінарного змісту.

Сучасна технічна практика пропонує дедалі складніші моделі представлення будівельного фонду — цифрові двійники, BIM-моделі, автоматизовані аналітичні системи, які синтезують інформацію про всі рівні об'єкта. Це означає, що поняття технічного моніторингу вже не можна сприймати як ізольовану інженерну процедуру — воно стає категорією стратегічного управління будівельними активами [16].

Поступове ускладнення понятійного апарату технічного моніторингу, розширення смислових меж термінів і розвиток нових підходів до інтерпретації взаємодії між інженерними, конструктивними та експлуатаційними параметрами формує підґрунтя для нових концепцій контролю технічного стану. Таким чином, поняття «будівельний фонд» перетворюється на аналітичну одиницю в системі управління ризиками, а кожне його підпорядковане поняття вимагає чіткої структуризації та фахового осмислення в межах міждисциплінарного дискурсу [17].

У межах наукової та інженерної практики, питання категоріального розрізнення між поняттями «моніторинг технічного стану», «технічна діагностика» та «контроль технічного стану» набуває принципового значення, особливо в умовах ускладнення інженерної інфраструктури, цифровізації процесів і трансформації підходів до управління життєвим циклом об'єктів. У цьому контексті кожне із зазначених понять не є взаємозамінним, а відображає окрему методологічну функцію в системі забезпечення надійності та безпеки інженерних споруд.

Таблиця 3

**Порівняльна характеристика складових будівельного фонду в контексті технічного моніторингу (розроблено автором на основі [15])**

Категорія	Ключові характеристики	Критерії моніторингу	Ризики при недиагностуванні
Об'єкт спостереження	Історія експлуатації, типологія, локація, вік, класифікація	Комплексна оцінка за групами показників: технічних, соціальних, екологічних	Хибні управлінські рішення, аварійність, невідповідність регламентам
Інженерна система	Мережеве забезпечення, навантаження, типи комунікацій	Перевірка функціональності, стабільності, енергоспоживання, гідравлічних втрат	Втрата функціональності будівлі, аварії комунікацій, неекономне споживання ресурсів
Будівельна конструкція	Матеріали, тип з'єднань, геометрія, несучі елементи	Деформаційні, вібраційні, міцнісні тести, ультразвукова діагностика	Ризик обвалів, руйнування, втрата ресурсу, неможливість реконструкції
Оздоблювальні елементи	Стан поверхонь, термоізоляція, обробка	Візуальна інспекція, термографія, замір вологості	Поява плісняви, погіршення мікроклімату, втрати естетичної привабливості
Інформаційно-керуюча інфраструктура	Система BMS, датчики, контролери, зв'язок	Перевірка точності вимірювання, безперервності обміну даними	Неправильна інтерпретація даних, збої в автоматизованому керуванні
Енергосистема	Тип джерел живлення, навантаження, резервні джерела	Аналіз стабільності електропостачання, теплових втрат	Збої в роботі систем життєзабезпечення, порушення стандартів енергозбереження
Фундамент та основа	Тип ґрунту, глибина закладення, сейсмостійкість	Геодезичний моніторинг осідань, інклінометрія	Тріщини, перекоси конструкції, порушення геометрії, просідання
Пожежна безпека	Засоби виявлення, системи сповіщення, евакуаційні маршрути	Тестування сигналізації, резерву живлення, стану шляхів евакуації	Затримка евакуації, зростання збитків у разі пожежі, порушення норм безпеки

Важливо підкреслити, що моніторинг не робить діагностичних висновків самостійно, але формує інформаційну базу для прийняття рішень про подальше обстеження чи технічне втручання. У цьому сенсі поняття моніторингу тотожне до концепції «інтелектуального спостереження», яке перебуває на перетині автоматизації, інформатики та інженерії [18].

Таким чином, контроль технічного стану виконує функцію нормативного бар'єру — його мета полягає не в прогнозуванні, а у виявленні відхилень, які вже відбулися або відбуваються [19].

**Висновок.** Аналіз стану та розвитку підходів до технічного моніторингу об'єктів будівельного фонду демонструє, що ефективне управління будівельними активами потребує комплексного інтегрованого підходу, який поєднує сучасні цифрові технології, аналітичні інструменти та нормативно-правові вимоги. Технічний моніторинг виступає ключовим механізмом забезпечення безпеки, надійності та довгострокової стійкості об'єктів, оскільки дозволяє своєчасно виявляти відхилення від нормативних параметрів, прогнозувати потенційні ризики та оптимізувати планові й аварійні роботи. У цьому контексті цифровізація процесів, зокрема використання BIM-моделей, IoT-пристроїв, датчиків та автоматизованих систем збору даних, забезпечує підвищення точності оцінки технічного стану будівель, дозволяючи інтегрувати інформацію з різних джерел та створювати єдину платформу управління.

### References

1. Serebryakov, A. I. Monitoring of the Technical Condition of Buildings and Structures. – Kyiv: Naukova Dumka, 2020. – 240 p.
2. Levchenko, V. A. Innovative Approaches to Technical Monitoring of Building Assets. – Kharkiv: Budivelynyk, 2019. – 198 p.
3. Gorokhov, A. M. Integrated Monitoring Systems in Construction. – Moscow: Nauka, 2018. – 312 p.
4. Marchenko, V. V. Life Cycle of Buildings and Structures: Theoretical and Practical Aspects. – Lviv: Osvitnya Dumka, 2021. – 276 p.
5. Vasilyev, M. F. Management Practices in Construction: Monitoring and Control. – Odesa: Budivelynyk, 2017. – 224 p.
6. Bogachenko, S. V. Monitoring of the Technical Condition of Buildings and Structures Based on Information Technologies: Dissertation for Doctor of Philosophy in Philosophy: 05.23.01 / S. V. Bogachenko. – Dnipro, 2024. – 172 p.
7. Loboda, R. I. Research on High-Speed Data Transmission Technologies from Unmanned Aerial Vehicles: Master's Thesis: 05.12.17 / R. I. Loboda. – Kyiv: NTUU "KPI", 2022. – 97 p.
8. Marr, P. Urban Structural Monitoring. – Oxford: Clarendon Press, 1982. – 310 p.

9. Hervé, J.-P. Structural Analysis of Buildings: Methods and Applications. – Paris: Presses de l'École des Ponts, 1996. – 284 p.
10. Lau, B. BIM-Integrated Structural Health Monitoring Systems // Journal of Building Performance. – 2017. – Vol. 12, No. 3. – P. 233–249.
11. Kovalchuk, O. V. Development of an Information Model for Managing the Technical Condition of Buildings: Dissertation for Candidate of Technical Sciences: 05.23.07 / O. V. Kovalchuk. – Kyiv, 2020. – 182 p.
12. Chen, L. Multiparametric Models in Building Safety Monitoring. – Tokyo: Institute of Structural Systems, 2021. – 198 p.
13. Melnyk, I. S. Monitoring of Building Structures: Dissertation for Doctor of Technical Sciences: 05.23.07 / I. S. Melnyk. – Kharkiv, 2018. 320 p.
14. Lysenko, I. P. Monitoring of Engineering Structures in the Context of Intensive Technological Development. – Kyiv: KPI Publishing, 2020. – 210 p.
15. Chupryna, Y. A. Strategies for Reconfiguring Business Processes of Construction Enterprises / H. M. Chupryna, M. V. Borodavko, D. O. Havrykov // Management of Complex Systems Development. 2020. No. 41. P. 169–174.
16. Vasilyev, A. V. Digital Technologies in Construction Project Management. – Kyiv: NTUU “KPI” Publishing, 2020. – 192 p.
17. Chernenko, O. V. Innovative Approaches to Monitoring the Technical Condition of Buildings. – Kharkiv: KhNURE Publishing, 2021. – 218 p.
18. Stepanova, I. O. Technical Monitoring of Building Structures: Methods and Technologies. – Kyiv: Naukova Dumka, 2020. – 254 p.
19. Chupryna, Y., Petrenko, H., Hrynenko, I., Nikolaieva, M., Pokolenko, V., & Savchuk, T. Methodological Regulation and Analytical-Information Support for Process-Oriented Management in the Modern System of Construction Development. Management of Complex Systems Development, (48), 125–134, 2021.

***I. M. Yakymchuk, Y.V. Kroshka, O. V. Polischuk, I. I. Ostapenko, V. V. Legkov***

***Establishment and development of approaches to technical monitoring of building assets through conceptual-categorical analysis and factors of actualization***

*The establishment and development of approaches to technical monitoring of building assets is a key factor in ensuring safety, operational efficiency, and long-term sustainability of construction resources. In the context of accelerated urbanization, intensive use of engineering structures, and increased requirements for the safe and energy-efficient utilization of residential and public buildings, there is a need to integrate systematic methodologies of technical control, digital technologies, and analytical tools for monitoring. Conceptual-categorical analysis of technical monitoring allows identifying the key concepts and methodological foundations that form the structure for assessing the condition of building assets, including engineering parameters, operational indicators, and risk factors.*

*Particular attention is paid to modern data collection and processing technologies, such as IoT sensors, wireless surveillance systems, digital building models (BIM), as well as analytical algorithms for predicting defects and critical deviations in structural elements. A high level of integration of information systems with regulatory requirements and operational standards allows increasing the accuracy of technical condition assessments, ensuring timely response to emergency situations, and optimizing planned maintenance and reconstruction works.*

*An important component is the consideration of external environmental factors, such as climatic conditions, load intensity, material aging, and technical features of structures, which directly affect the risks and reliability of assets. Furthermore, the integration of digital technologies enables the formation of a transparent resource and decision-making management system, where monitoring is not limited to state control but becomes an active tool for forecasting, planning, and investment optimization.*

*Generalization of existing technical monitoring practices confirms that a comprehensive approach, combining analytics, digital models, and regulatory requirements, allows improving safety, efficiency, and economic feasibility of building asset operation, reducing risks of accidents and unforeseen costs.*

**Keywords: technical monitoring, building assets, digital technologies, analytics, operational safety, BIM, risk forecasting, lifecycle.**

#### **Посилання на статтю:**

**APA:** Yakymchuk I.M., Kroshka Y.V., Polischuk O.V., Ostapenko I.I., Legkov V.V. (2024). Stanovlennya ta rozvytok pidkhodiv do tekhnichnoho monitorynhu ob'ektiv budivel'noho fondu cherez ponyatiyno-katehorial'nyy analiz i chynnyky aktualizatsiyi. [Establishment and development of approaches to technical monitoring of building assets through conceptual-categorical analysis and factors of actualization]. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 54 (2), С. 249-263.

**ДСТУ:** Якимчук І.М., Крошка Ю.В., Поліщук О.В., Остапенко І.І., Легков В.В. Становлення та розвиток підходів до технічного моніторингу об'єктів будівельного фонду через понятійно-категоріальний аналіз і чинники актуалізації. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2024. № 54 (2). С. 249-263.