

## **ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕКСПЛУАТОВАНИХ БУДИНКІВ І СПОРУД НЕРУЙНІВНИМИ МЕТОДАМИ**

Експлуатовані будинки, конструкції і споруди характеризуються значною розмаїтістю конструкційних будівельних елементів. Вони відрізняються часом експлуатації, рівнем впливу на них кліматичних і різного виду виробничих негативних чинників, фізико-механічними характеристиками, культурною та історичною цінністю. Ці фактори викликають появу дефектів, що відрізняються різним ступенем небезпеки та можливістю їхнього виявлення й усунення (рис. 1.1).

У зв'язку з цим, актуальною задачею є проведення періодичної діагностики, оцінки технічного стану конструкційних елементів з метою прийняття рішень щодо необхідності й визначення обсягу реставраційних, ремонтних, відбудовних робіт. Потреба у дослідженні будівель виникає також при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, оцінці фізичного і морального зносу об'єктів, модернізації чи реконструкції, їх паспортизації, при визначенні вартості основних фондів. Для спрощення задачі діагностики конструкційних елементів, загальної оцінки їх стану розроблена спеціалізована класифікація всієї сукупності дефектів (табл. 1.1) (ГОСТ 15467–79\*).

Дослідження й оцінка технічного стану конструкційних елементів експлуатованих будинків, конструкцій і споруд, що виготовлені з різних будівельних матеріалів, потребують досить високої оперативності одержання кінцевих результатів, їх надійності та вірогідності. Від цьо-

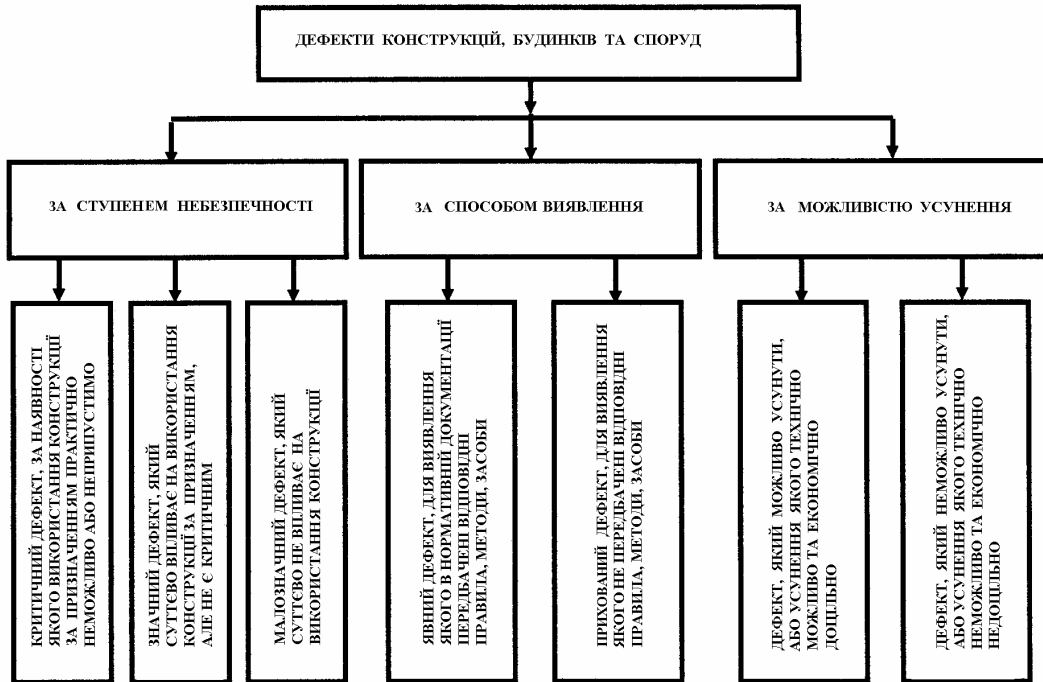


Рис. 1.1 – Класифікація дефектів конструктивних елементів будинків та споруд за ГОСТ 154-79\*

Таблиця 1.1

## Класифікація дефектів і пошкоджень конструкційних елементів будинків та споруд (ГОСТ 1567–79\*)

Вид дефекту, пошкодження	Шифр дефекту	Опис дефекту або пошкодження
Тріщини в бетоні	1-1	Нормальні та похилі тріщини під кутом 60...70° до подовжньої осі елемента по всій ширині перерізу в розтягнутій зоні
	1-2	Те саме, у стисненій зоні
	1-3	Подовжні тріщини
Руйнування поверхні, захисного шару бетону	2-1	Без оголення арматури
	2-2	У розтягнутій зоні з оголенням арматури і без втрати зчеплення
	2-3	Теж саме, у стисненій зоні.
	2-4	В розтягнутій зоні з порушенням зчеплення арматури з бетоном на ділянці анкеровки, стику з напусткою
	2-5	У розтягнутій зоні з порушенням зчеплення арматури з бетоном, крім зони анкеровки
	2-6	Теж саме, що у 2-4, 2-5, у стисненій зоні
Виколі та зколи бетону	3-1	У розтягнутій зоні
	3-2	У стисненій зоні
Каверни, раковини, інеродні вclusions	4-1	В розтягнутій зоні
	4-2	У стисненій зоні
	4-3	У зоні анкеровки та стиків з напусткою
Відсутність зчеплення старого та нового бетону	5-1	На ділянках, крім перерізів, які сприймають зсувні зусилля
	5-2	У стисненій зоні
Пошкодження арматури та закладних деталей	6-1	Розриви хомутів у зоні похилих тріщин
	6-2	Теж саме, у стиснених елементах
	6-3	Розриви робочих стрижнів у розтягнутій зоні
	6-4	Випучування арматури у стисненій зоні
	6-5	Тріщини, які перетинають опорну зону
	6-6	Тріщини, які хлопають при знакозмінних навантаженнях
	6-7	Роздроблення бетону у стисненій зоні
	6-8	Відривання анкерів від закладних деталей
	6-9	Деформація закладних деталей конструкційного елемента
	6-10	Порушення стиків із взаємним зсувом
	6-11	Прогини понад 1/50 прольоту, тріщини понад 0,5 мм
Корозія	7-1	Зміна кольору
	7-2	Візуальна фіксація порушення структури
Корозія арматури та закладних деталей	8-1	Тонкий наліт корозії
	8-2	Окремі плями корозії
	8-3	Суцільна рівномірна корозія
	8-4	Нерівномірна корозія
	8-5	Шарова корозія, пластини іржі

го залежать якість і надійність реконструйованого чи відремонтованого об'єкта, а також правильність оцінки необхідних економічних витрат.

Ряд результатів обстеження таких об'єктів досить скрутно сформулювати без застосування ефективних сучасних методів неруйнівного контролю. Причому, ці методи застосовні на всіх стадіях виробничого циклу: обстеження об'єкта ремонту чи реконструкції, проектування (при необхідності) нових матеріалів, дослідження їхніх фізико-механічних характеристик, виготовлення нових конструкційних елементів, наступної експлуатації. Кожній стадії виробничого циклу, а також конкретному виду конструкційного матеріалу, відповідають певні методи контролю або їх модифікації.

У цьому плані найефективнішими є фізичні методи неруйнівного контролю якості, що дають змогу вирішувати практично всі перераховані вище задачі на основі ряду обмірjованих непрямих характеристик, які відбивають досліджувану властивість матеріалу конкретного конструкційного елемента.

Слід зазначити, що найбільший ефект від використання цих методів досягається саме у випадку застосування їх для контролю якості матеріалів, обстеження експлуатованих об'єктів, а також у дрібносерійному та середньосерійному виробництві, тобто в тих випадках, коли можливо організувати суцільний контроль якості. У багатосерійному виробництві більш ефективним є використання цих методів з відповідними статистичними методами обробки даних вибіркового контролю. При цьому методи контролю якості, залежно від поставленої задачі, розділяються на основні групи за кількісними, якісними чи альтернативними ознаками.

До кількісних методів неруйнівного контролю відносять такі, що дають змогу реєструвати точні чисельні значення параметрів, які визначають якість виробу.

На відміну від кількісних якісні методи дають можливість визначати лише категорію, клас (сорт, рівень якості за ознакою «придатний» чи «непридатний» і т.д.), до якого належить контрольований конструкційний елемент або виріб.

При контролі за альтернативною ознакою визначення якості об'єкта контролю формується за двома якісними рівнями: «придатний» чи «непридатний». Цей вид контролю є окремим випадком контролю за якісною ознакою.

У природі двох абсолютно однакових предметів не існує. Це розходження може бути настільки малим, що його можна визначити лише за допомогою чутливих приладів. Зміна властивостей характерна не

тільки природним явищам, процесам і предметам, але й будь-якому об'єкту, що виготовлений на виробництві та знаходиться в експлуатації. Для визначення ступеня зміни тих чи інших властивостей конструкційного елемента будівельних об'єктів встановлюють відповідні допустимі відхилення, що мають нижні та верхні межі. Визначення відповідності матеріалу або в цілому конструкційного елемента даним умовам експлуатації (фізико-механічним властивостям, за структурою матеріалу, наявності тих чи інших дефектів, розмірам, стану зовнішньої чи внутрішньої поверхні тощо) здійснюється шляхом проведення необхідних вимірів або контролю.

Ступінь адекватності відображення цих характеристик у вимірюваних непрямих параметрах залежить від обраного методу неруйнівного контролю якості. Тому вибір методу та методики контролю є важливим завданням, яке повинне вирішуватися на етапі постановки задачі обстеження конкретного експлуатованого об'єкта дослідження чи його властивостей у процесі виробництва. Чисельні значення допустимих відхилень характеристик матеріалу чи його властивостей і параметрів конструкційного елемента визначають попередньо експериментальним шляхом і, як наслідок – вказують у відповідних технічних умовах (ТУ) на виробі, стандартах підприємства (СТП), галузевих стандартах (ОСТ), державних стандартах (ДСТ) та інших нормативних документах.

Слід зазначити, що змінюваність характеристик, властивостей і параметрів об'єктів контролю може бути двох типів: систематична і випадкова. До систематичної відноситься зміна характеристик і параметрів одного типу виробів, що експлуатуються в однакових умовах, виготовляються з однотипної сировини, одержуваної від різних виробників чи організацій, на різних підприємствах, у різний час, при змінах напруги в мережі живлення і т.п. Ці зміни обумовлені однаковим зовнішнім впливом, типовими відхиленнями технологічних режимів на підприємстві, варіацією характеристик вихідної сировини і т. п.

При усуненні факторів, що зумовлюють зміну характеристик виробу за зазначеними причинами, у будь-якому випадку будуть присутні зміни характеристик і властивостей, що викликаються, як випадковими зовнішніми впливами, так і такими, які мають місце в процесі виготовлення конструкційного елемента чи виробу, споруди в цілому. Такі зміни відносяться до типу випадкових і можуть бути виявлені тільки при статистичній обробці відповідного масиву даних.

У зв'язку з цим однією з важливих задач неруйнівного контролю є забезпечення необхідного ряду кількісних вимірів систематичної зміни характеристик об'єкта контролю і визначення розподілу ймовірностей

випадкових змін. У результаті цього встановлюють в чисельному вигляді ймовірність того, що параметри виробу знаходяться між установленими межами допустимої зміни якості. Наслідком виявлення таких математичних закономірностей є можливість розв'язання задачі щодо встановлення допустимості подальшої експлуатації досліджуваного конструкційного елемента, необхідності ремонту та його обсягів з достатнім ступенем надійності. Виходячи з цього формуються наступні основні вимоги, що ставляться до методів і засобів контролю якості:

1. Чутливість і точність застосовуваних методів і апаратури для їхньої реалізації повинні забезпечувати достатню надійність даних й адекватність відображення контрольованих характеристик об'єкта контролю. При цьому вони повинні забезпечувати мінімально допустиму ймовірність ухвалення помилкового рішення, тобто відбраковування ймовірності конструкційного елемента чи прийняття дефектного.

2. Застосовувані методи контролю й апаратура повинні бути максимально захищені від суб'єктивної погрішності вимірів, тобто мінімально залежати від кваліфікації операторів.

3. Застосовувані метод і апаратура повинні забезпечувати зручність і надійність експлуатації при проведенні натурних вимірів у різних кліматичних умовах.

4. Використовувані методи й апаратура повинні забезпечувати безперервність одержання даних протягом технологічного процесу реконструкції чи виготовлення нового конструкційного елемента, матеріалу для його ремонту.

Контроль, за своїми ознаками по відношенню до стану конструкційного елемента, може бути руйнівним, аналітичним і неруйнівним.

Основне достоїнство руйнівних і аналітичних методів полягає в тому, що вони дають можливість визначити об'єктивні абсолютні характеристики матеріалів і виробів. Наприклад, один з таких визначальних параметрів будівельних конструкційних елементів як міцність, найбільше об'єктивно визначається шляхом його руйнування при виконанні умов дотримання режимів навантаження, її виду і забезпечення умов навколишнього середовища, аналогічних експлуатованому елементу. Однак такі методи також мають ряд недоліків, серед яких одним з основних є економічний аспект – неможливість подальшої експлуатації досліджуваного конструкційного елемента.

Аналітичні методи в більшості випадків є також руйнівними, тому що пов'язані з узяттям проб або виготовленням спеціальних зразків. Ці методи відрізняються досить високою точністю виміру характеристик при дотриманні адекватності параметрів технологічного процесу виготовлення зразків і виробів, а також умов формування структури мате-

ріалу в зразку й конструкційному елементі. Останнє розходження може спостерігатися, наприклад, при їхній різній товщині, загальних геометричних розмірах, що має місце в більшості випадків.

Таким чином, основні недоліки руйнівних і аналітичних методів контролю полягають у наступному:

- обмежена область застосування при обстеженні експлуатованих будинків, конструкцій і споруд через практичну неможливість в більшості випадків їхньої реалізації;
- невиконання всіх вимог, пропонованих до контролю, тому що для цього необхідне руйнування виробу або виготовлення контрольних зразків;
- неможливість розв'язання задачі прогнозування зміни рівня фізико-механічних властивостей матеріалу конструкційного елемента при динамічному впливі на нього зовнішніх факторів (температури, навантажень, вологи, агресивних середовищ і т. п.) у процесі експлуатації, тому що для цього необхідний ряд вимірів у часі на тому самому об'єкті контролю;
- неможливість визначення реальної зміни структури, фізико-механічних властивостей матеріалу безпосередньо у виробі на різних його ділянках без вирізання зразків;
- неможливість виявлення внутрішніх дефектів у матеріалі експлуатованого виробу без його руйнування чи вирізання його частини;
- неможливість забезпечення безперервності вимірів при контролі кінетики формування структури матеріалу чи динаміки технологічних процесів виготовлення виробів.

Методи неруйнівного контролю вільні від ряду зазначених вище недоліків, що властиві руйнівним і аналітичним методам, хоча вони не є універсальним засобом розв'язання всіх задач, що виникають при обстеженні експлуатованих будинків, конструкцій і споруд. Відповідно до ГОСТ 18353-73\* прийнято для практичного застосування десять таких видів неруйнівного контролю: акустичний, радіохвильовий, радіаційний, оптичний, електричний, метод дослідження розтіканням струму, магнітний, електромагнітний, капілярний, тепловий. Причому, кожен з них поділяється на велику кількість підвидів і модифікацій.

Методи неруйнівного контролю є непрямими, тобто вони не дають змоги робити безпосередній прямий чисельний відлік таких параметрів, наприклад, як міцність, щільність, товщина конструкційного елемента, ступінь його тріщинуватості тощо. При цьому досліджувані параметри об'єктів контролю визначають через деякі непрямі величини. Для визначення відповідності чисельних значень таких непрямих величин контрольованим фізико-механічним параметрам, структурним

характеристикам матеріалу конструкційного елемента, в більшості випадків попередньо виконують побудову відповідних кореляційних залежностей (в графічному чи аналітичному вигляді) або відповідне градування спеціалізованих вимірних приладів на основі даних, одержаних за допомогою руйнівних чи аналітичних методів.

Так, наприклад, при контролі міцності матеріалів установлюється кореляційна залежність «параметр неруйнівного контролю – міцність матеріалу». При дефектоскопії конструкційних елементів, для забезпечення необхідної вірогідності даних на етапі розробки методики неруйнівного контролю, виконують градування відповідних вимірних приладів на спеціальних фізичних моделях, перевірку отриманих первинних результатів аналітичними або руйнівними методами.

Отже, точність і чутливість методів неруйнівного контролю залежать не лише від рівня їх реалізації у метрологічному та приладовому забезпеченні, але й від ступеня точності математичних і рівня чутливості аналітичних чи руйнівних методів, за допомогою яких виконують встановлення необхідних залежностей «параметр неруйнівного контролю – досліджувана характеристика матеріалу конструкційного елемента».

Однією з головних задач неруйнівного контролю, що повинна вирішуватися на етапі постановки задачі вимірювального експерименту, є аналіз фізики взаємодії використовуваного зовнішнього впливу (коливань звукової, ультразвукової частоти, радіохвиль, радіації, магнітних чи електричних полів, тощо) на матеріал для дослідження його фізико-механічних чи структурних характеристик. Ступінь адекватності відображення характеристик матеріалу конструкційного елемента, що визначають за допомогою обраного методу неруйнівного контролю, безпосередньо залежить від коректності розв'язання цієї задачі. Вибір того чи іншого методу неруйнівного контролю якості стосовно будівельних конструкційних елементів та матеріалів для їх реставрації чи ремонту додатково визначають за такими наступними основними факторами:

- агрегатним станом контрольованого середовища (тверде чи рідке);
- видом структури контрольованого середовища (великоструктурне, дрібноструктурне, неоднорідне, аморфне, монокристалічне, полікристалічне і т. п.);
- здатністю взаємодіяти з зовнішнім впливом, на якому заснований метод неруйнівного контролю (слабке чи сильне поглинання, розсіювання сигналу, тощо);



- розмірами, конфігурацією та конструктивними особливостями об'єкта контролю (монолітний, мало-, середньо-, великогабаритний, простої чи складної форми, одно- чи багаточаровий, клейовий, і т. п.);
- видом розв'язуваної задачі (вимір і діагностика міцності, дефектоскопія, контроль напружено-деформованого стану, дослідження структури матеріалу конструкційного елемента, вимір щільності, товщини, контроль кінетики тужавлення та ін.).

Будівельні матеріали, що використовують для виготовлення конструкційних елементів, в основному є досить складними об'єктами контролю, тому що здебільшого характеризуються істотною неоднорідністю структури, розмаїтістю типів структур, специфічними фізико-механічними властивостями, великим діапазоном фізико-механічних характеристик.

Тому для розв'язання задачі неруйнівного контролю якості матеріалів експлуатованих конструкційних елементів необхідна розробка чи удосконалення існуючих методів, які б забезпечували універсальність у плані контролю якомога більшої кількості необхідних контрольованих характеристик конструкційних елементів. Це пов'язано з мінімізацією організаційних питань та економічних витрат на контроль – розв'язання поставлених задач мінімальним переліком метрологічного та приладового забезпечення, рівнем кваліфікації персоналу, зручністю, автоматизацією й мобільністю засобів виміру та методів обробки інформації.

У результаті попереднього аналізу й оцінки ефективності існуючих методів, у розрізі неруйнівного контролю якості матеріалів експлуатованих конструкційних елементів, було виявлено, що найефективнішими з них є методи, що використовують взаємозв'язок параметрів пружних коливань, які поширюються в досліджуваному матеріалі конструкційного елемента, з його фізичними характеристиками.

Ці методи можуть забезпечити достатню універсальність, тому що дають змогу досліджувати ряд необхідних характеристик матеріалів, застосовуваних у конструкційних елементах, при достатньому рівні точності та вірогідності вимірів.

Додатковими критеріями, що обумовили вибір даних методів контролю, були такі:

- достатні чутливість методів, точність і відтворюваність результатів вимірів, інформаційна здатність, універсальність контролю;
- порівняльна простота методик контролю;

- порівняно невисока вартість контролю і контрольно-вимірювальної апаратури;
- можливість залучення до проведення контролю, в основному, обслуговуючого персоналу без спеціальної ґрунтовної підготовки;
- можливість механізації й автоматизації контролю, забезпечення безпеки праці обслуговуючого персоналу.

Виділені методи дають можливість вимірювати безпосередньо у виробі через аналіз інформаційного сигналу достатню кількість фізичних характеристик пружних коливань: швидкість і загасання (подовжніх, зсувних, вигинних, поперечних пружних хвиль), їх коефіцієнти відбиття і переломлення та ін. Вказані характеристики, конкретні величини яких обумовлюються безпосередньо фізико-механічними характеристиками матеріалу конструкційного елемента, можуть бути використані для прямої та непрямої оцінки таких параметрів, як ступінь тужавлення, міцність матеріалу у виробі, його пружні, структурні властивості, щільність, геометричні розміри, напружено-деформований стан та ін.

Матеріал Р. 1...8 даної монографії присвячений розв'язанню задач, що ставляться при дослідженні експлуатованих конструкційних елементів, нових та матеріалів, застосовуваних у процесі їх ремонту і реконструкції на основі методів неруйнівного контролю, які ґрунтуються на залежності характеристик пружних хвиль від фізико-механічних характеристик об'єкту контролю.