

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з дисципліни Основи теорії надійності будівель та споруд
Загальні положення теорії надійності. (опорний конспект лекцій)
для здобувачів вищої освіти спеціальності G19 «Будівництво та цивільна
інженерія»
(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
будівництва, урбаністики та
просторового планування
Протокол № 6 від
27.01.2026 р.

Київ, 2026 р.

УДК 624.046

Методичні вказівки конспект лекцій з дисципліни «Основи теорії надійності будівель та споруд» для здобувачів вищої освіти спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія» (Електронне видання) / Уклад.: В.М. Соколенко – Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2026. – 100 с.

Методичні вказівки опорний конспект лекцій (загальні положення теорії надійності) з дисципліни «Основи теорії надійності будівель та споруд» призначені для вивчення загальних положень теорії надійності будівель та споруд. Забезпечення надійності об'єкта (будівлі та споруди, конструктивного елемента) – це сукупність організаційно-технічних та науково-методичних умов, вимог та правил, які необхідно виконувати у процесі проєктування, будівництва та експлуатації об'єкта для досягнення або підтримання заданого рівня надійності на усіх стадіях існування об'єкта.

Розглядаються питання, пов'язані з підходами та розрахунками надійності будівель та споруд у завданнях проєктування об'єктів.

Рецензент:

О.А. Черних, доц., к.т.н.

Укладачі:

В.М. Соколенко, доц., к.т.н.

ЛЕКЦІЯ 1

ТЕОРІЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ БУДІВЕЛЬ.

Вступ.

Надійність - властивість об'єкта, що полягає у його здатності виконувати певні завдання за певних умов експлуатації, зберігаючи у часі значення встановлених експлуатаційних показників. У вузчому розумінні надійність - це міра збереження необхідних властивостей споруди або об'єкта і здатність протистояти випадковим факторам різноманітних, що порушують ці властивості. Таким чином, поняття надійності пов'язане з випадковою природою величин, що кількісно характеризують працездатність об'єкта, і пов'язане з теорією ймовірності.

З терміном надійність стикаються постійно – надійна авторучка, стілець, міст, причал, кран тощо. Ця властивість застосовується до будь-яких виробів. Нікому не потрібні ненадійні речі, об'єкти, системи, які можуть бути причиною аварій та катастроф.

Однак у матеріальному світі нічого не можна зробити абсолютно надійним. Реальна система завжди відрізняється від її ідеалізованої моделі, закладеної у проекті. Ця відмінність обумовлена технологічними недосконаlostями, дефектами та неоднорідністю матеріалу, відхиленням у геометричних параметрах, некондиційністю комплектуючих елементів, наближеним описом діючих навантажень, ідеалізацією граничних умов, умов сполучення окремих елементів тощо. Тому завжди зберігається ймовірність того, що система вийде з ладу.

Основне завдання теорії надійності - розробка таких методів розрахунку, за яких ймовірність виходу виробу з ладу була б мінімальною. Буває так, що прагнення досягти максимальної надійності призводить до невиправдано більших витрат, в той же час, як багато разів менші витрати дозволяють досягти надійності в розумних межах.

Явище, після якого відбувається порушення працездатності системи, називається відмовою. Відмова може наступити під час виготовлення та монтажу та в початковий період її експлуатації, або протягом усього терміну її служби. Залежно від характеру відмов визначаються такі властивості надійності системи:

- безпека - у разі відмови окремих елементів не створювати загрози для здоров'я та життя людей та навколишнього середовища;

- живучість - у разі відмови окремих елементів система здатна зберігати обмежену працездатність.

Антиподом надійності є ненадійність - ймовірність відмов протягом заданого проміжку часу експлуатації конструкції або окремих її частин. Для будівельних та гідротехнічних споруд ненадійність – це настання їх граничних станів (за міцністю та деформаціями) при якому технічно неможлива або недоцільна їх подальша експлуатація.

Надійність будівель і споруд одна з найважливіших завдань сучасної техніки, яка дається взнаки протягом останніх десятиліть. Це обумовлено двома основними причинами по-перше, системи споруд значно ускладнилися (сучасні споруди можуть мати дуже багато елементів зі складним різноманітним характером взаємодій), по-друге, багато будівель та споруд мають особливу цінність у національних масштабах і також у загальнолюдських масштабах (Унікальні споруди, переважно атомні станції, теплові та гідроелектричні станції, реактивно - космічні комплекси і т.д. споруди, порушення яких може призвести до великих матеріальних і моральних втрат, а також до великих людських жертв)

Розробка методів оцінки надійності систем та створення нових систем, які мають задані показники надійності та довговічності у цьому є сенс теорії надійності.

Забезпечення надійності об'єкта (будівлі та споруди, конструктивного елемента тощо) – це сукупність організаційно-технічних та науково-методичних умов, вимог та правил, які необхідно виконувати у процесі проектування, будівництва та експлуатації об'єкта для досягнення або підтримання заданого рівня надійності. усім стадіях існування об'єкта.

Надійність - комплексна властивість і включає наступні параметри:

- безвідмовність - здатність об'єкта працювати без відмов протягом заданого проміжку часу напрацювання (часу безперервної роботи);
- довговічність – тривалість безвідмовної роботи системи з моменту зведення до повної втрати експлуатаційних властивостей;
- ремонтпридатність - здатність відновлення працездатного стану об'єкта шляхом його технічного обслуговування та ремонту;

Надійність - збереженість - здатність зберігати працездатний стан після зберігання та транспортування.

Особливості теорії надійності будівель та споруд.

Теорія надійності будівель та споруд суттєво відрізняється від теорії надійності машин, апаратів, техніки, що можна пояснити такими причинами:

1. Великий термін служби несучих огорожувальних конструкцій та їх елементів, систем технічних пристроїв, що вимірюються не роками, а десятиліттями, а це особливо ускладнює об'єктивність технічної економічної

інформації поведінки конструкцій та систем пристроїв за певний термін служби в конкретних умовах та режимах експлуатації.

2. Необхідністю оцінки в конкретний момент часу технічного стану однотипних конструкцій експлуатованих практично в однакових умовах, але з різним віком, це дозволяє побудувати випадковий процес функціонування за попередній період Т.

3. Наявності великої кількості конструкцій та систем пристроїв (стіни, перекриття, ліфти тощо з різною відповідальністю, яка залежить не тільки від економічних та моральних витрат у випадки відмови, а також можливості спричинити травми і навіть людські жертви).

4. Обмеженою можливістю використання структурного резервування ефективного способу створення системи з надійністю, що перевищує надійність використання елементів чи систем.

5. Значною трудомісткістю вирішення проблем морального зносу та розробки моменту модернізації або заміни об'єкта в порівнянні, наприклад, з машинами, апаратами та іншою технікою, де термін служби 5-10 років.

6. Низька ремонтпридатність багатьох будівельних конструкцій та систем пристроїв, умовної їх послідовним з'єднанням, жорстким взаємозв'язком з іншими елементами, системами (системи санітарно-технічних пристроїв, електропроводок, складних конструкцій стін, покриттів тощо виготовлені з виробів різного терміну служби).

7. Великий вплив на власну безпеку довговічності та безвідмовності конструкцій в результаті умовних характеристик матеріалу та виробів протягом тривалого часу зобов'язаних з транспортуванням, монтажем до завершення будівництва.

8. Джерелом відмов не механічного походження безпосередньо не пов'язаних з пошкодженнями - зміна середовища, що відрізняється від проектного (зміна мікроклімату температурного характеру та вологості).

Показники надійності

Оцінка надійності це кількісна характеристика однієї або декількох ймовірностей, які забезпечують надійність об'єкта. Цей показник кількісно характеризує міру конкретного об'єкта через ймовірність його надійності.

Надійність описується сімома ознаками:

- безвідмовність
- довговічність
- ремонтпридатність
- ймовірність безаварійної роботи
- середнє напрацювання до першої відмови
- середнє напрацювання на відмову

-інтенсивність потоку відмов

-параметр потоку відмов.

Ймовірність безвідмовної роботи визначає яка ймовірність того, що в межах заданого напрацювання відмова об'єкта не порушена (підкранова балка напрацювання на відмову 2 млн циклів).

Ймовірність безаварійної роботи(функція надійності) через заданий інтервал від 0 до t

$$P(t) = P(0, t) = \{T \geq t\} = 1 - F(t)$$

$F(t)$ -функція розподілу випадкових змінних.

Інтенсивність потоку відмов в певний час t :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$$

$\lambda(t)$ - ймовірність виникнення відмови об'єкта за час t за умови, що досі відмова не відбулася.

$f(t)$ - ймовірність відмови в даний момент t .

Середнє напрацювання до першої відмови T_m

$$T_m = \int_0^{\infty} P(x) dx$$

Середній термін служби або середній ресурс (середній термін збереження)

до певного стану об'єкта називають $T_m = \int_0^{\infty} P(x) dt$

Розрахункова схема

Розрахунок конструкцій та основ повинен по можливості найбільш достовірно відображати характер дійсної поведінки та умови експлуатації об'єкта, що відповідає розглянутій ситуації, що розглядається.

Розрахунок повинен виконуватися на підставі розрахункової моделі, яка може враховувати всі фактори, що істотно впливають на напружений і деформований стан конструкцій або основ.

Довговічність та ремонтпридатність споруд.

Допустимо, що проектуються дві естакади однакового прольоту, висоти під мостові крани однакової вантажопідйомності. Одна з них призначена для транспортування матеріалів та обладнання з річкового причалу на будівельний майданчик під час будівництва якогось об'єкта та термін її служби обмежується тривалістю будівництва цього об'єкта, тобто. місяцями чи роками. Інша естакада повинна обслуговувати чинне підприємство протягом усього періоду його роботи та термін її служби обчислюється десятиліттями.

Вочевидь, що вимоги початкової безвідмовності до обох естакад будуть однаковими, оскільки початкова міцність та стійкість конструкції визначається

вихідною міцністю матеріалів, габаритами, конструктивною схемою та вантажопідйомністю крана. Однак вимоги до довговічності, які визначаються заданим терміном служби конструкцій, будуть різними. Відповідно і ремонтпридатність конструкцій різна. При цьому під ремонтпридатністю конструкції розумітимемо пристосованість його до періодичних оглядів та профілактичних ремонтів. Ремонтпридатність є регулятором довговічності. У першому випадку немає необхідності передбачати можливість проведення профілактичних чи капітальних ремонтів, а у другому – це необхідно.

Як зазначалось, довговічність - це тривалість безвідмовної роботи з зведення до повної втрати експлуатаційних властивостей. Необхідні терміни служби споруд встановлюються за ДБН відповідно до їх функціональних призначень та інших факторів. Термін служби споруди може бути обумовлений також його моральним зношуванням.

Для того, щоб оцінити довговічність елементів необхідно ввести параметри, пов'язані з часом.

Термін служби об'єкта – календарна тривалість експлуатації об'єкта до переходу його до граничного стану. Необхідні терміни служби споруд встановлюються за ДБН відповідно до їх функціональних призначень та інших факторів.

Напрацювання - тривалість роботи об'єкта без урахування перерв у роботі протягом терміну служби. Якщо перерви відсутні, то наробіток дорівнює терміну служби.

Імовірність безвідмовної роботи - ймовірність того, що в межах заданого напрацювання відмова не виникає.

Довговічність об'єкта визначається двома факторами:

- поступові (деградаційні) відмови, пов'язані зі старінням та зносом матеріалів;

- катастрофічні навантаження (перевантаження), що виникають при різкому збільшенні інтенсивностей навантажень у короткий проміжок часу внаслідок стихійного лиха, неправильного монтажу або ремонту, випадкового збігу за часом пікових значень кількох навантажень.

Висновок.

Надійність будівель і споруд одне з найважливіших завдань сучасної техніки, яка дається взнаки протягом останніх десятиліть. Це обумовлено двома основними причинами по-перше, системи споруд значно ускладнилися (сучасні споруди можуть мати дуже багато елементів зі складним різноманітним характером взаємодій), по-друге, багато будівель та споруд мають особливу цінність у національних масштабах і також у загальнолюдських масштабах (унікальні споруди, переважно атомні станції, теплові та гідроелектричні станції,

реактивно - космічні комплекси і т.д. споруди, порушення яких може призвести до великих матеріальних і моральних втрат, а також до великих людських жертв).

Розробка методів оцінки надійності систем та створення нових систем, які мають задані показники надійності та довговічності у цьому є сенс теорії надійності.

ЛЕКЦІЯ 2

ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДІЙНОСТІ

Введення.

1. Поняття надійності та її властивості
1. Основний метод розрахунку надійності конструкцій будівель і споруд.
1. Оцінка надійності будівельних конструкцій за їх пошкодженням.

Висновок.

Введення.

При експлуатації будівель і споруд для оцінки технічного стану конструкцій широко використовуються візуальне обстеження. У зв'язку з цим виникає необхідність встановлення надійності досліджуваних конструкцій за зовнішніми ознаками пошкодження.

Як показали спостереження, в процесі експлуатації конструкцій відбувається циклічна зміна їх надійності, що пов'язано з мінливістю значень навантаження і зміною несучої здатності внаслідок різних пошкоджень.

При досягненні конструкцій певного рівня надійності в ньому будуть спостерігатися незворотні пошкодження: тріщини, втрата стійкості стиснених елементів, пластичні деформації, корозійні пошкодження і т.д. З урахуванням впливу цих пошкоджень на надійність конструкції будівель і споруд узагальнюється в даній роботі.

Для зручності оцінки надійності складені докладні таблиці для різних типів конструкцій, а також окремих інженерних споруд. Своєчасна оцінка технічного стану конструкцій і споруд дозволить своєчасно ремонтувати і зміцнювати і тим самим забезпечувати їх надійність в процесі експлуатації.

Не менш важливим питанням є експертиза конструкції будівлі або споруди на схильність до аварії. Ідентифікація таких об'єктів за методикою, запропонованою в рекомендаціях, дозволить експерту або автору проекту критично підійти до оцінки їх надійності і при необхідності вжити додаткових заходів контролю якості, що в кінцевому підсумку сприятиме підвищенню надійності.

Поняття надійності та її властивості

Звичайний детермінований підхід до структурного аналізу складається з двох етапів:

- 1) Розраховуються напруги, деформації і зміщення в конструкціях, що піддаються зовнішнім навантаженням. Ця проблема вирішується

методами структурної механіки, теорією еластичності, теорією пластичності і т.д.

- 2) Обчислювані значення порівнюються з нормативно допустимими значеннями. При цьому вирішується проблема надійності, довговічності і економічності конструкції.

Однак фактична система і умови її експлуатації відрізняються від ідеалізованої системи і умов, розглянутих на етапі проектування. Насправді, напруги, деформації та зміщення є випадковими змінними через випадковий характер зовнішніх впливів, сили та інших зовнішніх умов. Тому надійність конструкції можна визначити за допомогою методів математичної та статистичної теорії ймовірностей.

У теорії ймовірностей основним завданням є знати склад загальної популяції, вивчати розподіли за складом випадкової вибірки. Це пряме завдання теорії ймовірностей. Зворотна проблема полягає в тому, коли відомий склад вибірки і необхідно визначити, якою була загальна популяція. Завдання математичної статистики виконано. Або, точніше, в теорії ймовірностей ми, знаючи природу певного явища, з'ясуємо, як будуть вести себе ті характеристики, які ми вивчаємо, які можна спостерігати в експериментах (як розподілені). У математичній статистиці, навпаки, експериментальні дані є вихідними даними (зазвичай спостереження за випадковими змінними), і потрібно зробити те чи інше судження про природу розглянутого явища.

Надійність - властивість об'єкта підтримувати в часі в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах використання, обслуговування, ремонту і транспортування. Або *надійність* також є стабільністю якості по відношенню до всіх можливих порушень. Надійність - це кількісний показник (часовий інтервал, кількість робочих циклів, кількість кілометрів і т.д.).

Залежно від призначення системи і умов її роботи надійність включає в себе наступні властивості:

- 1) безвідмовність;
- 2) довговічність;
- 3) ремонтнопридатність;
- 4) сохранный і будь-яка їх комбінація.

Безвідмовність - ймовірність безаварійної роботи конструкції протягом певного періоду часу.

Довговічність - ймовірний період часу для безаварійної експлуатації конструкції.

Ремонтпридатність - ймовірність того, що несправна система може бути відремонтована протягом певного часу.

Змістом теорії надійності є розробка методів оцінки надійності систем і створення систем з заданими показниками надійності і довговічності.

Завдання розрахунку надійності полягають у визначенні ймовірності виходу конструкції з ладу в заданих умовах, пошуку необхідних розмірів конструкції, допустимих навантажень або оптимального терміну служби відповідно до заданої економічно обґрунтованої надійності, а також оцінці надійності системи за наявними оцінками надійності її складових елементів. Завдання теорії надійності будівельних конструкцій також включає в себе обґрунтування процедур нормування конструктивних характеристик. Специфіка теорії надійності будівельних конструкцій полягає в необхідності враховувати випадкові властивості навантажень і вплив на конструкції, а також враховувати спільну дію випадкових навантажень на систему з випадковими характеристиками міцності.

Основною концепцією теорії надійності є *збій*, подія, що полягає в порушенні працездатності системи. Поняття невдачі близьке за змістом до поняття граничного стану. Граничні стани 1-ї групи включають: загальну втрату стійкості форми, втрату стійкості положення, будь-яке руйнування, перехід на змінювану систему, якісну зміну конфігурації; умови, при яких виникає необхідність припинити роботу в результаті плинності матеріалу, зсуву в суглобах, повзучості або надмірного відкриття тріщин. Граничні стани 2-ї групи є неприпустимими деформаціями конструкцій в результаті відхилення, обертання або осадку, що характеризуються різницею у вертикальних рухах вузлів, пов'язаних з відстанню між ними, валком конструкції в цілому, відносним відхиленням або згинанням, кривизною елемента, відносним кутом скручування, горизонтальним або вертикальним зміщенням елемента або структури в цілому, кутом зміщення або обертання. До граничних станів 2-ї групи також відносяться неприпустимі коливання будови, зміна положення, утворення або відкриття тріщин.

Прикладами поломок є колапси, перекидання, втрата стійкості, крихкий перелом, великі деформації і відхилення, механічний або корозійний знос, розтріскування і т.д.

Збої викликані впливом випадкових факторів, тому вони випадкові. В якості показника (міри) надійності системи можна взяти ймовірність P безаварійної роботи протягом усього терміну служби T .

Недоліки теорії надійності - складно отримати експериментальні дані в обсязі, достатньому для їх подальшої обробки методами теорії ймовірностей.

Складно довго тестувати конструкцію, щоб отримати достовірні висновки про її довгострокову експлуатацію.

Основний метод розрахунку надійності конструкцій будівель і споруд.

Відповідно до вимог чинних в Україні Будівельних кодексів і Регламентів (СНиП) будівельні конструкції і фундаменти повинні бути спроектовані таким чином, щоб вони мали достатню надійність при будівництві та експлуатації з урахуванням впливу потенційно можливих особливих впливів (наприклад, в результаті землетрусу, повені, пожежі, вибуху). Методи розрахунку повинні бути спрямовані на забезпечення безперебійної роботи конструкцій і фундаментів з урахуванням мінливості властивостей матеріалів, ґрунтів, навантажень і ударів, геометричних характеристик конструкцій, умов їх експлуатації, а також ступеня відповідальності (і господарського значення) проектних об'єктів, що визначаються матеріально-соціальним збитком у разі порушення їх виконання.

В теперешній час визнаною методикою проведення таких розрахунків є розрахунки з використанням методу граничних станів. Умовами забезпечення надійності в цих розрахунках є те, що розрахункові значення навантажень або сил, напружень, деформацій, зміщень, викликаних ними тріщин не перевищують відповідних граничних значень, встановлених нормами проектування конструкцій або фундаментів. Розрахунки враховують несприятливі можливі характеристики матеріалів і збиткові можливі значення і комбінації навантажень і впливів, а також умови експлуатації і особливості конструкції. Розрахунок за методом граничних станів повинен гарантувати, що під час експлуатації структури не буде жодного з неприйнятних граничних станів.

При цьому "граничний стан" означає такий стан об'єкта, при якому його подальша експлуатація повинна бути припинена у зв'язку з: незворотнім порушенням норм і вимог безпеки, або незворотним перевищенням зазначених параметрів, або незворотним зниженням ефективності експлуатації (нижче допустимого рівня), або необхідністю повного капітального ремонту.

Схеми проектування і основні передумови для розрахунків повинні максимально надійно відповідати реальним умовам експлуатації конструкцій. У виправданих випадках також слід враховувати просторовий характер роботи, пластичні і реологічні властивості матеріалів, фізичну і геометричну нелінійність.

Оскільки в конструкції матеріалу зі значеннями опору менше R_n завжди можна помилитися, то в якості характеристики матеріалу

використовується розрахункове значення опору, отримане шляхом ділення значення R_n на коефіцієнт надійності матеріалу L_m . Можливі відхилення міцності та інші характеристики ґрунтів в несприятливому напрямку від їх нормативних значень враховуються коефіцієнтом надійності до ґрунту L_q . Значення коефіцієнтів L_m і L_q можуть бути різними для різних граничних станів.

Сили в елементах виникають в результаті дій на ньому одного або комбінації декількох навантажень. Залежно від тривалості дії навантажень вони діляться на постійні, дійсні протягом усього періоду будівництва і експлуатації конструкції, і тимчасові, які в деякі періоди часу можуть бути відсутні.

Постійні навантаження включають навантаження від ваги будівельних деталей і будівельних конструкцій, тиск ґрунту. Попередній стрес конструкцій також створює постійне навантаження.

Тимчасові навантаження діляться на довгострокові, короткострокові і спеціальні.

Довгострокові часові навантаження включають навантаження з тимчасових перегородок, стаціонарного обладнання, включаючи вагу рідин або сипучих матеріалів, що заповнюють його під час експлуатації, від ваги книг і архівних файлів на стійках в бібліотеках і архівах.

До короткострокових навантажень і ударів відносяться: сніг, вітер, крижані навантаження, вантажі від підйомного і транспортного обладнання, а також ті, що виникають при монтажі і транспортуванні обладнання.

До особливих відносяться сейсмічні та вибухові впливи, впливи пов'язані з аваріями на технологічному обладнанні, а також нерівномірні деформації основи (просідання, крени тощо).

Основними характеристиками навантажень (впливів) є нормативні значення. Для постійних навантажень нормативні значення визначаються з використанням даних про геометричні параметри елементів та статистичних даних про щільність матеріалів, що становлять конструкцію. Дані про нормативні значення атмосферних впливів формуються в результаті багаторічних спостережень та містяться в нормах проектування. Величини цих впливів варіюються залежно від району розміщення об'єкта.

Нормативні значення атмосферних навантажень, які можуть викликати у конструкціях динамічні зусилля або деформації, повинні визначатися з урахуванням динамічних явищ та динамічних характеристик конструкцій.

Так як реальні навантаження можуть відрізнятися від нормативних у більшу чи меншу сторону в результаті випадкових відступів від значень, передбачених проектом, вони враховуються спільно з коефіцієнтом надійності по навантаженню L_f .

Конструкції та основи слід розраховувати з урахуванням можливих несприятливих поєднань навантажень (для перерізів елементів, конструкцій та їх з'єднань або для всієї будівлі чи споруди загалом). Зменшення ймовірності одночасного перевищення декількома навантаженнями їх розрахункових значень порівняно з ймовірністю перевищення одним навантаженням її розрахункового значення враховується коефіцієнтами поєднань навантажень $1/2$.

При розрахунку конструкцій слід враховувати наступні проектні ситуації:

- встановлена, що має тривалість того ж порядку, що й термін служби будівельного обсягу (наприклад, експлуатація між двома капітальними ремонтами чи змінами технологічного процесу);
- перехідна, що має короткий термін служби об'єкта будівництва (наприклад, будівництво будівлі, капітальний ремонт, реконструкція);
- аварійна ситуація, яка має низьку ймовірність виникнення і коротку тривалість, але дуже важлива з точки зору можливих з нею наслідків досягнення граничних умов (наприклад, ситуація, що виникає в результаті вибуху, зіткнення, аварії обладнання, пожежі, а також відразу після виходу з ладу конструктивного елемента).

Кожна з розрахункових ситуацій характеризується власною проектною схемою, видами навантажень, значеннями коефіцієнтів умов праці і коефіцієнтів надійності, переліком граничних станів, які слід враховувати в даній ситуації.

Загалом, існує дві групи граничних станів. [12]:

– Перша група (I) граничних станів характеризує повну непридатність для експлуатації конструкцій, фундаментів (будівель або споруд в цілому) або повну (часткову) втрату несучої здатності будівель і споруд в цілому. Ця група включає в себе кілька підгруп:

Ia – руйнування будь-якої природи (пластичний, крихкий, втома і т.д.);

Ib – втрата стійкості форми, що призводить до повної непридатності до експлуатації;

Ic – втрата стабільності положення;

Id – перехід до модифікованої системи;

Ie – якісна зміна конфігурації;

If – інші явища, при яких виникає необхідність припинити роботу (наприклад, надмірні деформації в результаті повзучості, пластичності, зсуву в суглобах, розтріскування, а також розтріскування).

– Друга група (II) граничних станів характеризує умови, що перешкоджають нормальній роботі конструкцій (фундаментів) або знижують

довговічність будівель (споруд) в порівнянні з передбаченим терміном служби. Такими умовами є:

Па – досягнення екстремальних деформацій конструкції (наприклад, екстремальних прогинів, поворотів) або екстремальних деформацій основи;

Пб – досягнення максимальних рівнів коливань конструкцій або основ;

Пс – утворення тріщин;

Пд – досягнення екстремальних отворів або довжин тріщин;

Пе – втрата стійкості форми, що призводить до затруднення нормальної експлуатації;

Пф – інші явища, при яких необхідно тимчасово обмежити експлуатацію будівлі або споруди через неприпустиме скорочення терміну її служби (наприклад, корозійне пошкодження).

Оцінка надійності будівельних конструкцій за їх пошкодженням.

Пошкодження в структурі діляться в залежності від причин їх виникнення на дві групи: від силових ефектів і від впливу зовнішнього середовища. Остання група пошкоджень знижує не тільки міцність конструкції, але і знижує її довговічність.

Залежно від існуючих пошкоджень і надійності технічний стан конструкцій ділиться на 5 категорій: нормальний, задовільний, не зовсім задовільний, незадовільний, аварійний.

Вплив шкоди на надійність конструкцій оцінюється за рахунок зниження загального нормалізованого коефіцієнта надійності (запасу) $\gamma_o = \gamma_m \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n$ конструкцій в процесі експлуатації, де γ_m - коефіцієнт надійності за матеріалом, γ_c - коефіцієнт умов праці, γ_f - коефіцієнт надійності навантаження, γ_n - коефіцієнт надійності за призначенням.

Відносна надійність конструкції при експлуатації $J = \gamma/\gamma_o$ і структурні пошкодження $\varepsilon = 1 - J$, де γ - фактичний коефіцієнт надійності конструкції з урахуванням існуючих пошкоджень.

Значення J та ε , а також наближена вартість C ремонту відновлення початкової якості у відсотках по відношенню до початкової вартості для різних категорій технічного стану конструкцій наведені в табл. 1.

Оцінка технічного стану сталевих, залізобетонних, кам'яних і дерев'яних конструкцій, виходячи з пошкоджень в них, наведена в таблицях 2 - 5. При цьому оцінка надійності конструкцій повинна проводитися відповідно до максимального пошкодження по довжині конструкції. Для оцінки категорії стану конструкції необхідно мати хоча б одну особливість, наведену в стовпцях 2, 3 таблиць.

Загальна оцінка пошкоджень будівлі і споруди проводиться за формулою

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 \varepsilon_1 + \alpha_2 \varepsilon_2 + \dots + \alpha_i \varepsilon_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i},$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i$ - середнє значення пошкодження окремих типів конструкцій, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$ - коефіцієнти значущості окремих типів конструкцій.

Таблиця 1

Категорії технічного стану

Категорія технічного стану	Опис технічного стану	$J = \gamma/\gamma_0$	$\varepsilon = 1 - \frac{1}{J}$	C, %
1	2	3	4	5
1	Нормальний стан. Відсутні видимі ушкодження, що свідчать про зниження здатності, що несе. Необхідності у ремонтних роботах немає.	1	0	0
2	Задовільний стан. Незначне зниження несучої здатності та довговічності конструкцій. Потрібний пристрій антикорозійного покриття, затирання тріщин тощо.	0,95	0,05	0 - 11
3	Не дуже задовільний стан. Існуючі пошкодження свідчать про зниження здатності конструкції, що несе. Потрібен ремонт.	0,85	0,15	12 - 36
4	Незадовільний стан. Пошкодження свідчать про непридатність до експлуатації конструкції. Потрібен капітальний ремонт із посиленням конструкцій. До проведення посилення потрібне обмеження навантажень.	0,75	0,25	37 - 90
5	Аварійний стан. Потрібне негайне розвантаження конструкції та влаштування тимчасових кріплень, заміна аварійних конструкцій.	0,65	0,35	91 - 120

Коефіцієнти значущості конструкцій встановлюються на основі експертних оцінок, які враховують соціально-економічні наслідки руйнування окремих типів конструкцій, вплив можливого руйнування розглянутої конструкції на обвалення інших конструкцій, характер руйнування (руйнування

з попереднім повідомленням через розвиток пластичних деформацій або миттєве крихке руйнування).

Відносна оцінка надійності будівлі або споруди проводиться за формулою

$$J = 1 - \varepsilon$$

Таблиця 2

Оцінка стану металоконструкцій за зовнішніми ознаками

Категорія стану конструкції	Ознаки силових впливів на конструкцію	Ознаки впливу навколишнього середовища на конструкцію
1	2	3
1	Немає	Немає
2	Немає	У деяких місцях було знищено антикорозійне покриття. На деяких ділянках корозія окремими плямами з ураженням до 5% поперечного перерізу. Локальне згинання від ударів транспортного засобу та інших пошкоджень, що призводить до ослаблення поперечного перерізу до 5%
3	Відхилення елементів що згинаються перевищують 1/150 прольоту	Пластинчаста іржа із зменшенням площі перетину несучих елементів до 15%. Місцеві погнутості від ударів транспортних засобів та інші механічні ушкодження, що призводять до послаблення перетину до 15%. Погнутість вузлових фасонки ферм.
4	Відхилення елементів що згинаються більше 1/75 прольоту. Втрата локальної стійкості конструкцій (опуклість стін і ременів балок і колон). Вирвано болти або заклепки в багато болтових з'єднаннях.	Корозія зі зменшенням конструктивного перерізу несучих елементів до 25%. Тріщини в зварних швах або в області перешва. Механічні пошкодження, що призводять до ослаблення ділянки до 25%. Відхилення ферм від вертикальної площини становлять більше 15 мм.
5	Відхилення вигнутих елементів становить більше 1/50 прольоту. Втрата загальної стійкості балок або стиснених елементів. Розбити	Корозія зі зменшенням конструктивної секції і несучих елементів більш ніж на 25%. Розлад шарнірів та вузлів з взаємним зміщенням опор.

окремі розтягнуті елементи ферми. Наявність тріщин в основному матеріалі елементів.

Таблиця 3

Оцінка стану залізобетонних конструкцій за зовнішніми ознаками

Категорія стану конструкції	Ознаки силових впливів на конструкцію	Ознаки впливу навколишнього середовища на конструкцію
1	2	3
1	Волосяні тріщини (до 0,1 мм)	Є окремі раковини, вибоїни.
2	Тріщини на розтягнутій площі бетону не перевищують 0,3 мм	На деяких ділянках з невеликим розміром захисного шару з'являються сліди корозії розподільних клапанів або затискачів. Лущення ребер конструкцій. Вологі або масляні плями на поверхні бетону
3	Тріщини в розтягнутій зоні бетону до 0,5 мм.	Поздовжні тріщини у бетоні вздовж арматурних стрижнів від корозії арматури. Корозія арматури до 10% площі стрижнів. Бетон у розтягнутій зоні на глибині захисного шару між стрижнями арматури легко кришиться. Зниження міцності бетону до 20%
4	Ширина отвору нормальних тріщин в балках не більше 1 мм, а довжина тріщин більше 3/4 висоти балки. Через нормальні тріщини в колонах не більше 0,5 мм. Відхилення елементів що згинаються більше 1/75 прольоту.	Відлущування захисного шару бетону і оголення арматури. Корозія арматури до 15%. Знижена міцність бетону до 30 %.
5	Ширина отвору нормальних тріщин в балках більше 1 мм при довжині тріщини більше 3/4 їх висоти. Косі тріщини перетинають опорну зону і зону кріплення натягнутої балкової арматури. Сквозні наклонні тріщини в стислих елементах. Тріщини в конструкціях, що відчувають знакозмінні впливи. Витріщення арматури в стислій зоні колон і балок. Розрив окремих стрижнів робочої арматури у розтягнутій зоні, розрив хомутів у зоні похилої тріщини. Роздроблення бетону в стислій зоні. Прогини елементів, що згинаються, більше 1/50 прольоту за наявності тріщин у розтягнутій зоні більше 0,5 мм.	Оголюючи весь діаметр арматури. Корозія арматури становить більше 15% поперечного перерізу. Зниження міцності бетону більш ніж на 30%. Розлад стиків.

Таблиця 4

Оцінка стану кам'яних конструкцій за зовнішніми ознаками

Категорія стану конструкції	Ознаки силових впливів на конструкцію	Ознаки впливу зовнішнього середовища на конструкцію
1	2	3
1	Тріщини в окремих цеглах, що не перетинають розчинні шви.	
2	Волосні тріщини, що перетинають трохи більше двох рядів кладки (довжиною 15 - 18 див).	
3	Волосні тріщини, при перетині не більше чотирьох рядів кладки при числі тріщин не більше чотирьох на 1 м ширини (товщини) стіни, стовпа або простінка.	Розморожування та вивітрювання кладки, відшарування облицювання на глибину до 15 % товщин.
4	Вертикальні та косі тріщини в несучих стінах на висоту не більше чотирьох рядів кладки. Утворення вертикальних тріщин між поздовжніми та поперечними стінами, розриви або висмикування окремих сталевих зв'язків та анкерів кріплення стін до колон та перекриттів. Місцеве (крайове) пошкодження кладки на глибину до 2 см під опорами ферм, балок та перемичок у вигляді тріщин та щілин; вертикальні тріщини по кінцях опор, що перетинають не більше двох рядів кладки.	Розморожування та вивітрювання кладки, відшарування облицювання за глибину до 25 % товщини. Нахили та витріщення стін та фундаментів у межах поверху не більше ніж на 1/6 їх товщини. Зміщення плит перекриттів на опорах не більше 1/5 глибини загортання, але не більше 2 см.
5	Вертикальні та косі тріщини в несучих стінах та стовпах на	Розморожування та вивітрювання кладки на глибину до 40% товщини.

Категорія стану конструкції	Ознаки силових впливів на конструкцію	Ознаки впливу зовнішнього середовища на конструкцію
1	2	3
	<p>висоту понад чотири ряди кладки. Відрив поздовжніх стін від поперечних у місцях їх перетину, розриви або висмикування сталевих зв'язків та анкерів, що кріплять стіни до колон та перекриттів. Ушкодження кладки під опорами ферм, балок та перемичок у вигляді тріщин, роздроблення каменю або зміщення рядів кладки горизонтальними швами на глибину більше 2 см; утворення вертикальних або косих тріщин, що перетинають більше двох рядів кладки.</p>	<p>Нахили та витріщення стін у межах поверху на 1/3 їх товщини та більш зсув (зсув) стін, стовпів та фундаментів по горизонтальних швах. Зміщення плит перекриттів на опорах понад 1/5 глибини загортання у стіні.</p>

Таблиця 5

Оцінка стану дерев'яних конструкцій за зовнішніми ознаками

Категорія стану конструкції	Ознаки силових впливів на конструкцію	Ознаки впливу зовнішнього середовища на конструкцію
1	2	3
1		Волосні усадкові тріщини в конструкціях.
2	Ослаблення кріплень окремих болтів, хомутів, скоб.	Великі щілини між дошками накату та балками перекриття.
3	Поздовжні тріщини у конструкціях. Зсуви і відшарування в швах і в вузлах конструкцій помітні на око і часткові зазори в згуртованих дощатих пакетах, між окремими робочими поверхнями, що зсуваються більше 2 мм. Прогини елементів, що згинаються, перевищують граничні значення СНиП II-26-80 .	Сліди протікання, мокрі плями в конструкціях. Гниль в мауерлаті і в кінцях кроквяних ніг, що знижує міцність до 15%.
4	Глибокі тріщини в елементах. Тріщини, що працюють на сколювання торцях по ширині понад 25 % від товщини елемента. Сильне обім'яття та зазори більше 3 мм у робочих поверхнях врубок. Зім'яття деревини вздовж волокон по лінії болтів та нагелів на 1/2 їх діаметра. Втрата місцевої сталості елементів конструкцій. Прогини елементів більш 1/75	Гниль в місцях закладення балок у зовнішні стіни. Гниль в мауерлаті, кроквах, латах, накаті, що знижує міцність до 25%.

Категорія стану конструкції	Ознаки силових впливів на конструкцію	Ознаки впливу зовнішнього середовища на конструкцію
1	2	3
5	прольоту. Прогини елементів, що згинаються, більше 1/50 прольоту. Швидко розвиваються деформації. Наскрізнi тріщини накладки стиків по лінії болтів ферм. Надломи та руйнування окремих конструкцій. Сколювання врубок. Втрата стійкості конструкцій (поясів ферм, арок, колон).	Ураження гниллю та жучком будівельних конструкцій, що призводять до зниження їх міцності понад 25 %
Примітка. Оцінка пошкоджень сталевих елементів метало-дерев'яних конструкцій проводиться згідно табл. 2.		

Висновок.

Як визначено в Глосарії Міжнародної організації з якості ІСО (ISO), «надійність» – Колективний термін, що використовується для опису характеристики готовності та факторів, що впливають на неї: надійність, ремонтпридатність, технічне обслуговування та ремонт. Тобто властивість об'єкта зберігати в часі в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах використання, обслуговування, зберігання і транспортування. **Це поняття використовується для не кількісного опису часозалежних можливостей експлуатованого об'єкта.**

ЛЕКЦІЯ 3

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТОДУ ГРАНИЧНИХ СТАНІВ ТА ВІДМІННОСТІ ЇХ ВІД РОЗРАХУНКІВ ЗА ПРИПУСТИМИМИ НАПРУГАМИ

Цілі та завдання при проєктуванні будівельних конструкцій, будівель та споруд

Основну увагу слід приділити оптимальному вирішенню проблем з погляду експлуатації споруд. Якщо це стосується житлових будинків, слід пред'явити особливі вимоги до комфортних умов проживання людей у житлових будинках, що знову вводяться в дію.

Якщо звернутися до промислових об'єктів, можна поставити два основні завдання:

- створення будівель та споруд, що оптимально відповідають заданому технологічному процесу та вимогам, що пред'являються з позиції ергономіки;
- створення систем, які б функціонували при зміні технологічних процесів, тобто. створення будівельних конструкцій, які дозволяють вмістити в них "гнучке" виробництво.

При створенні будівельних конструкцій необхідно виконати ряд умов, які пов'язані з мінімальними витратами матеріалів при задоволенні міцнісних та деформативних властивостей конструкцій, із забезпеченням теплотехнічних властивостей систем та шумозахисту.

Одночасно виникають проблеми якості виготовлення будівельних конструкцій та їх монтажу.

За даними Б.І.Беляєва та В.С.Корнієнка, які провели аналіз 39 аварій сталевих конструкцій за період з 1951 по 1966рр., за п'ятиріччями кількість аварій розподіляється у співвідношенні 1: 1,38:1,87 при загальному скороченні будівництва конструкцій із металу. Аналізуючи призначення об'єктів, автори виявили, що 16 випадків були пов'язані з **обваленням покриттів промислових будівель**, 8 випадків з обваленням **об'ємно-листових конструкцій** (резервуари, силоси, кожухи технологічних агрегатів), 7 – з **обваленням опор ЛЕП та радіозв'язку**, 8 – з обваленням транспортних галерей.

Виявлено, що 59% аварій сталося у процесі будівництва, у період експлуатації – 41%, 26-28% аварій відбувається через помилки, допущені проектувальниками. Майже половина аварій пов'язана з місцевою та загальною втратою стійкості.

Більшість аварій металевих конструкцій сталося в процесі їх монтажу в основному через грубі відступи від проектів, а також внаслідок низької якості виконання робіт з виготовлення та монтажу конструкцій.

До причин, що викликали руйнування конструкції слід віднести недостатній облік в ППР і при їх виконанні особливостей сучасних проектних рішень, обтяження конструкцій покриттів, заміну перерізів елементів конструкцій при виготовленні без погодження з проектувальниками, помилки при розробці детальних креслень, заміну сталі на сталь з нижчими характеристиками міцності, відсутність контролю за якістю робіт, зміна розрахункової схеми внаслідок неправильного закріплення конструкцій на опорах, невдалі проектні рішення.

Р.І.Вейц проаналізував причини обвалення 30 ж/б та цегляних будівель та споруд за 20 років. 14 випадків аварії сталися з цегляними будинками, в решті – зруйнувалися залізничні конструкції.

Аварії цегляних будівель у 6 випадках були спричинені **неправильною оцінкою ґрунтових умов** на території будівництва. З вини **проектувальників сталося 7 обвалів**

. В інших випадках причиною руйнування конструкції стали **неякісне виконання БМР**, перевантаження окремих елементів конструкції, недостатня міцність їхнього матеріалу. Останні випадки виявилися можливими внаслідок недостатнього контролю над виконанням окремих етапів робіт.

При розгляді будівельних конструкцій можна помітити, що вони є високонадійними системами.

Таблиця 1.

Причина	Середнє число нещасних випадків зі смертельними наслідками на 1000 осіб на рік
Альпінізм	2700
Авіація	120
Морське риболовство	59
Добича вугілля	21

Будівельний майданчик	7,7
Машинобудування	2
Нещасні випадки вдома	2,1
Пожежі	0,1
Руйнування конструкцій	0,002

Оцінюючи наведені у таблиці значення, можна визначити ймовірність загибелі людини у тій чи іншій ситуації. Припустимо, що альпініст знаходиться у горах 10 днів або 240 годин на рік. Імовірність загибелі його, віднесена до одного року, оцінюється значенням $2700,240/10^8=0,0065$.

Якщо людина знаходиться кожен день у приміщенні 20 годин, а в році 7300 годин, то ймовірність її загибелі від руйнування конструкції, віднесена до одного року, дорівнюватиме $0,002 \times 7300 / 10^8 = 0,16 \times 10^{-6}$, що є характеристикою практично неможливої події.

Для того щоб мати більш повне уявлення про роботу конструкції, потрібно мати представницьку інформацію про всі можливі випадки руйнування конструкцій і дефекти, що виникають, а також про їх наслідки. При всьому різноманітті конструктивних форм та типів конструкцій відсутня систематична, оброблена в одиничному ключі інформація про функціонування будівель та споруд у часі.

Методи розрахунку конструкції.

Після робіт Навье, Кої та Сен-Венана на початку 19 століття концепція напруг широко увійшла до практики розрахунку інженерних споруд. Було сформовано спосіб розрахунку, який отримав найменування способу розрахунку за допустимим напругам.

У методі розрахунку будівельних конструкцій по напругам, що допускаються, діючі напруги визначають за формулами опору матеріалу і теорії пружності, виходячи з пружної стадії роботи матеріалу.

Напруги (G) від експлуатаційного навантаження встановлюються з урахуванням коефіцієнта запасу по відношенню до передбачуваних граничних напруг $G_{пр}$ матеріалу. Умова міцності записується:

$$G < [G] = G_{пр} / K$$

За граничну напругу приймають межу плинності пластичного матеріалу, тимчасовий опір при руйнуванні крихкого матеріалу та межу

витривалості при появі втомних тріщин. Коефіцієнт для пластичних матеріалів приймають рівним

1,4...1,6; для крихких матеріалів – 2,5...3. Такі фактори, як динамічність навантаження та вплив місцевих напруг, враховують додатковими коефіцієнтами, на які множать основний.

Приблизні значення коефіцієнтів запасу стосовно часовому опору при обліку зазначених факторів для навантажень різного характеру та різних матеріалів.

Таблиця 2.

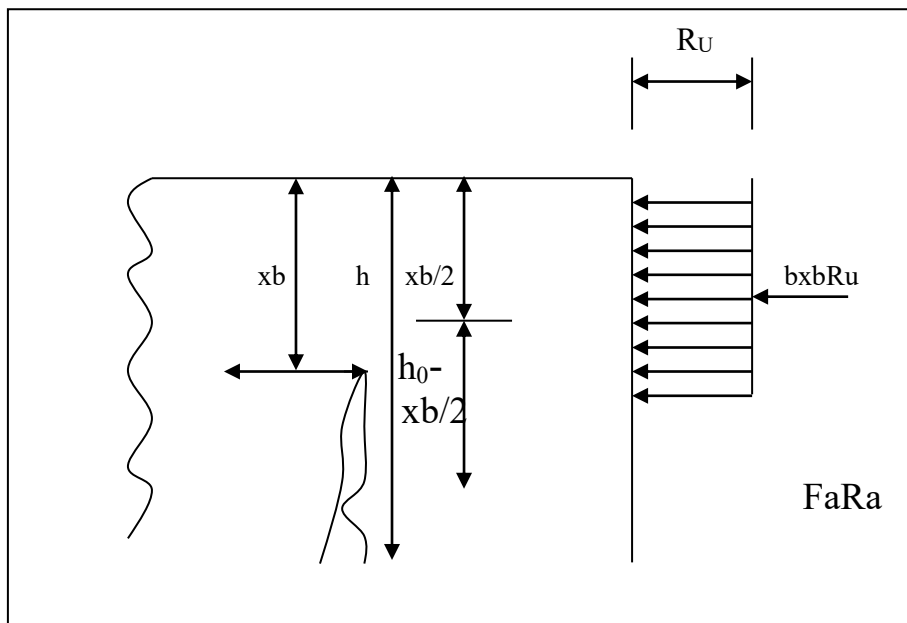
Навантаження	Матеріал	К
Статистична	Пластичний	2,4...2,6
	Крихкий	3...9
Ударна	Пластичний	2,8...5
Змінна із симетричним циклом	Пластичний	5...15

В результаті застосування методу розрахунку по напругам, що допускаються, з'явилися невикористані запаси міцності в конструкціях, не відображалася їх дійсна робота і недооцінювалися можливості обліку пластичної стадії деформування матеріалів.

У 30гг., 20 століття радянський учений А.Ф.Лолейт запропонував виробляти розрахунок з/б конструкцій з руйнівним зусиллям. Після великих досліджень цей метод у 1937 році був введений у норми та використовувався для розрахунку залізничних конструкцій до 1955 року.

Суть цього методу полягала в розгляді при руйнуванні елемента, що згинається випадку коли напруга в розтягнутій арматурі досягає межі плинності R_a , а в стислому бетоні - межі міцності на стиск R_u .

Для спрощення розрахунків було запропоновано епюру у стислій зоні приймати постійну за висотою.



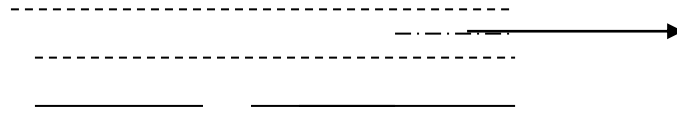


Рисунок 1.

Гранична умова записується як:

$$M < M_p / K,$$

де M – момент експлуатаційного навантаження;

M_p - руйнівне зусилля;

K – коефіцієнт запасу міцності.

Значення коефіцієнта запасу міцності відповідно до норм 1937 року для розрахунку залізничних конструкцій залежно від характеру врахованих навантажень у разі, коли руйнування залежить від плинності арматури та міцності бетону на стиск

Таблиця 3.

Навантаження	K
Основні	2
Основні та вітер або температура	1,8
Основні, вітер, температура, усадка та інші впливи	1,6

Руйнівний момент визначався як момент внутрішніх зусиль щодо осі, що проходить через центр тяжкості розтягнутої арматури.

Для прямокутного поперечного перерізу шириною b та висотою h .

$$M_p = R_a F_a (h_0 - X_b / 2), \quad (1)$$

де: h_0 – робоча висота поперечного перерізу;

X_b – висота стиснутої зони бетону, $X_b = F_a R_a / B R$;

F_a – площа поперечного перерізу арматури.

У формулу (1) входить коефіцієнт запасу міцності – єдиний для елемента в цілому. Перевагою способу розрахунку з руйнівним зусиллям проти розрахунку по допустимим напругам стало те, що єдиний коефіцієнт запасу дозволив суворо відобразити дійсну роботу елемента.

Підхід з позиції розрахунку з руйнівних зусиль дозволив також отримати економічніші рішення. Недоліком цього методу, також як і розрахунку по

допустимим напругам і те, що з обліку єдиного коефіцієнта запасу вдається досить точно врахувати можливі відхилення фактичних навантажень і характеристик матеріалів від їх розрахункових значень.

Наступним кроком у розвитку методів розрахунку став перехід до розрахунку за граничними станами, який при розгляді промислових та цивільних споруд був включений до нормативних документів у 1955р. У 1971-1974 роках. відповідні СНіП були вдосконалені, а в 1982-1985 рр. радикально переглянуто.

Існуючі нині СНіП побудовані на положення, які містяться в міжнародному стандарті ISO 2394-73 і в стандарті РЕВ 384-87.

Відповідно до СНіП 2.01.87-85 під граничними розуміють такі стани, у яких конструкція, основа, будинок чи споруда перестає задовольняти заданим експлуатаційним вимогам чи вимогам під час виконання робіт. Розрізняють дві групи граничних станів.

Перша група включає граничні стани, які ведуть до втрати несучої здатності або повної непридатності експлуатацій конструкцій або основ. До цієї групи відносяться: загальна втрата стійкості форми, втрата стійкості положення, будь-яке руйнування, перехід у змінну систему, якісна зміна конфігурації, стани, при яких виникає необхідність припинення експлуатації в результаті плинності матеріалу, зсуву в з'єднаннях, повзучості або надмірного розкриття тріщин.

Друга група включає граничні стани, що ускладнюють нормальну експлуатацію конструкцій та основ. До цих станів відносяться неприпустимі деформації конструкцій в результаті прогину, поворот або осад, які характеризуються різницею вертикальних переміщень вузлів, віднесених до відстані між ними, креном споруди в цілому, відносним прогином або вигином, кривизною елемента, відносним кутом закручування, горизонтальним або вертикальним зміщенням. або споруди загалом, кутом перекосу чи повороту. До граничних станів другої групи відносять також неприпустимі коливання конструкцій, зміна їх положення, утворення або розкриття тріщин.

Умова не перевищення граничного стану встановлюється співвідношенням:

$$\forall (F_p, R_p, \gamma_n, \gamma_d, \gamma_a, C) > 0 \quad (2)$$

де: F_p – розрахункове значення навантаження,

$$F_p = \gamma_f F_n$$

F_n – нормативне значення навантаження;

γ_f – коефіцієнт надійності із навантаження;

R_p – розрахункове значення опору матеріалу:

$$R_p = R_n / \gamma_m$$

де R_n – нормативне значення опору матеріалу;

C – постійна, що включає попередньо обрані розрахункові

обмеження, що задаються для деяких видів граничних станів (по прогибам, розкриттю тріщин та т.д.)

γ_m – коефіцієнт надійності по матеріалу;

γ_n – коефіцієнт надійності за призначенням конструкції;

γ_a – коефіцієнт точності;

γ_c – коефіцієнт умов роботи.

Якщо не брати до уваги кореляційні зв'язки між параметрами, що характеризують навантаження та властивість конструкції та її матеріалу, що має місце у переважній кількості ситуацій, то умову можна представити у вигляді двох нерівностей:

$$\gamma_n \Psi_g (F_p, \gamma_a, \gamma_d) < \Psi_r (R_p) \quad (3)$$

$$\gamma_n \Psi (F_p, R_p, \gamma_a, \gamma_d) < C \quad (4)$$

У ліву частину виразу 3 входять умови, що виникають у конструкції, а в праву – несуча здатність конструкції, від якої слідує, що зусилля в конструкції не повинні перевищувати несучу здатність.

Ліва частина виразу 4 може являти собою прогин, кут повороту, ступінь розкриття тріщин тощо, а права визначає гранично допустимі значення відповідних величин.

За нормативний опір матеріалу R_n допускається набувати значення контрольних або бракувальних характеристик, зазначених у стандартах на матеріал, або середнє значення R , якщо відомі закони розподілу цих характеристик, причому

$$R_n = R (1 - \mu_r v_r)$$

де: μ_r – коеф-т варіації значення опору;

v_r – число стандартів, що відповідає заданій забезпеченості.

Коефіцієнтом надійності за матеріалом враховують залежно від властивостей матеріалу та ґрунтів їхню статистичну мінливість, а також фактори, які не можуть бути враховані статистично.

Нормативні значення навантажень і впливів F_n визначаються за даними БНІП або в результаті статистичної обробки інформації про них. В останньому випадку:

$$F_n = F (1 + \mu_f v_f),$$

де F – середнє значення навантаження;
 μ_f - число стандартів, що відповідають заданій забезпеченості;
 v_f – коефіцієнт його варіації.

Коефіцієнт надійності навантаження γ_f враховує можливі несприятливі відхилення значення впливу від його нормативного значення,

Коефіцієнт точності γ_a враховує несприятливі відхилення геометричних характеристик (розміри поперечних перерізів, відхилення, ексцентриситет и т.п.);

коефіцієнт умов праці γ_d враховує відмінності між реальним об'єктом і його розрахунковою моделлю;

коефіцієнт надійності за призначенням γ_n враховує значимість і відповідальність проектної конструкції відповідно до її класу.

Як випливає з викладеного, перші два методи розрахунку за допустимими напругами і за руйнівними навантаженнями були побудовані на детермінованих уявленнях про міцність характеристиках та навантаженнях, тобто. в них не враховувалися дійсні можливі відхилення від деяких середніх значень, випадкові дефекти систем (прогини, ексцентриситети та ін.). Усі відхилення дійсної схеми від її розрахункової моделі враховувалися єдиним коефіцієнтом запасу, який встановлюється з урахуванням досвіду, накопиченого багато років проектування.

У методі розрахунку за граничними станами мінливість властивостей міцності матеріалу і навантажень враховують диференційовано, причому розрахункові значення встановлюють залежно від імовірнісних властивостей цих характеристик з урахуванням заданих значень функцій забезпеченості. Введення ряду коефіцієнтів дозволяє більш обґрунтовано підійти до встановлення параметрів поперечних перерізів. Незважаючи на те, що метод побудований певною мірою на імовірнісній основі. Техніка розрахунків є досить простою, оскільки будується у формі детермінованого підходу.

ЛЕКЦІЯ 4-5

Вимоги до будівельних об'єктів у сфері безпеки

Вступ.

1. **Поняття та визначення теорії безпеки будівництва**
2. **Вимоги пожежної безпеки та комфортабельності.**
3. **Експлуатаційна надійність та безпека в ході експлуатації.**
4. **Гігієнічні вимоги.**
5. **Реновація та модернізація.**
6. **Безпека під час експлуатації.**

Введення.

Кожна будівля, споруда або окрема конструкція має певне призначення та експлуатується в певних умовах. Для забезпечення цих властивостей повинні бути виконані деякі умови, яким повинні задовольняти всі технічні рішення, що приймаються, та заходи щодо їх практичної реалізації. У сукупності зазначені умови утворюють у просторі параметрів об'єкта певну допустиму область, порушення хоча б однієї експлуатаційної вимоги визначає вихід за кордон такої області та формулюється як перехід через граничний стан. Вимоги яким повинні задовольняти будівлі та споруди, головним чином стосуються:

- безпеки для людей та навколишнього середовища;
- зручності використання за призначенням, наприклад протікання технологічних процесів для реалізації якого будується об'єкт;
- забезпечення певного рівня гігієни та комфорту;
- створення прийнятних умов підтримки об'єкта в необхідному робочому стані.

З метою можливо більшої чіткості формулювань, очевидно, доцільно встановити якусь ієрархію понятійних рівнів, для яких формулюються різні вимоги до об'єкта, виявляються зв'язки з іншими об'єктами, оцінюються наслідки від аварійного припинення функціонування.

На другому рівні аналізуються можливі умови експлуатації, виявляються вимоги до кліматичних параметрів атмосферних навантажень, сейсмічним та іншим впливам характеристик ґрунтів, ступеня пожежної

небезпеки тощо. Тут необхідно провести межу між рівнем впливів, які слід оцінювати як екстремальні, але все ж таки допустимі і позамежним рівнем впливів. У першому випадку необхідно враховувати можливість прояву аналізованих впливів у процесі експлуатації об'єкта і передбачати необхідну для їх сприйняття міцність конструкції, у другому — ці дії не враховуються безпосередньо, а мізерна ймовірність їх реалізації враховується опосередковано шляхом розробки деяких превентивних заходів з локалізації небажаних наслідків, вироблення правил поведінки персоналу у позаштатних ситуаціях.

Наступний, третій рівень пов'язаний з формулюванням вимог у термінах оцінки напружено-деформованого стану конструкцій або в іншій формі, що допускає розрахунковий аналіз (наприклад, терміни швидкості корозійного зносу або з використанням понять кінетики руйнування). Граничні стани, а точніше їх розрахункові критерії, запроваджуються саме цьому рівні ієрархії. При цьому використовуються результати аналізу на більш високих рівнях ієрархії, за допомогою яких запис розрахункових критеріїв граничних станів вводяться деякі додаткові параметри, наприклад, такі, як класифікаційні ознаки розрахункових ситуацій або значення деяких параметрів, пов'язаних з рівнем відповідальності об'єкта.

Поняття та визначення теорії безпеки будівництва

У теорії безпеки будівельних об'єктів використовуються такі поняття та визначення.

1. Об'єкти будівельні – будівлі та споруди, призначені для безпечного проживання та безпечної життєдіяльності людей. Для будівельних об'єктів базовим видом безпеки є конструкційна, що характеризує ступінь їхньої захищеності від обвалення несучих конструкцій у разі непередбачених (запроектних) зовнішніх впливів.

2. Конструкційна безпека - частина промислової безпеки, пов'язана з технічним станом несучого каркаса будівельного об'єкта. Тракується як відсутність неприпустимого ризику аварії. Вважається достатньою, якщо ризик аварії будівельного об'єкта перебуває у області прийнятних значень.

3. Аварія будівельного об'єкта - абсолютний граничний стан об'єкта, що відповідає або повному руйнуванню конструкцій несучого каркаса, або виникненню значних деформацій або втраті стійкості виду деформації конструкцій. Досягнення таких станів може призвести до повної фізичної непридатності об'єкта, значних матеріальних збитків і навіть загибелі людей.

4. Ризик аварії – число, що показує перевищення проектного ризику аварії, що вноситься за умовчанням у будівельний об'єкт за його проектуванні. Ризик аварії є мірою очікуваної шкоди у разі аварії об'єкта.

5. Стандартні ризики аварії - величина ризику, коли об'єкт переходить у якісно інший стан. Такі значення є інваріантами, і з них формуються вимоги конструктивної безпеки будівель і споруд.

6. Надійність несучої конструкції – відповідність конструкції вимогам проекту щодо забезпечення її міцності, жорсткості та стійкості.

7. Область прийнятних значень ризику аварії – це область, межами якої є стандартні значення ризику аварії. Поки фактичний ризик аварії залишається в цій галузі, рівень конструкційної безпеки об'єкта вважається достатнім.

8. Декларування – форма підтвердження відповідності об'єкта до вимог конструкційної безпеки. Процедура декларування на стадії проекту передбачає не лише виявлення у проекті грубих помилок та подальше їх усунення, а й визначення умов, за яких вимогам безпеки відповідатиме кінцевий продукт (побудований будівельний об'єкт). Застосовується для особливо небезпечних, технічно складних та унікальних будівель та споруд.

9. Груба помилка – дія учасника будівництва (експлуатації) об'єкта, що полягає у ненавмисному відступі від обов'язкових вимог безпеки під час виконання робіт. Наслідком людських помилок є зниження рівня конструкційної безпеки об'єкта.

10. Сертифікація відповідності – процедура випробування ризику аварії об'єкта, що будується з метою підтвердження відповідності вимогам конструкційної безпеки. Під час проведення випробувань проводяться відстеження та усунення грубих помилок, допущених під час зведення несучого каркаса будівельного об'єкта.

11. Фізичний (конструкційний) знос об'єкта - число в інтервалі від 0 до 1, що характеризує ступінь деградації несучого каркаса об'єкта під дією системоруйнівних факторів (дефекти, навантаження, старіння, корозія, втома та ін.).

12. Безпечний залишковий ресурс – інтервал часу експлуатації будівельного об'єкта від поточного моменту до досягнення ним гранично-допустимого значення ризику аварії.

13. Ентропія (інформаційна) – міра невизначеності технічного стану несучого каркасу будівельного об'єкта.

Вимоги безпеки конструкцій

Метою вимог до безпеки конструкцій є запобігання аваріям та обваленням будівлі або споруди в цілому та складових її частин, а також уникнення інших серйозних пошкоджень, які можуть призвести до небезпеки

для здоров'я та життя людей, до шкоди для навколишнього середовища або спричинити інші аварійні ситуації.

Аварії, звичайно ж, треба попереджати, але повністю уникнути поєднання несприятливих умов, внаслідок яких може виникнути аварія, принципово неможливо. Як приклади можна навести випадок падіння великого метеориту або вибуху газу в результаті диверсії. Зрозуміло, такі ситуації що неспроможні бути предметом нормування і ними не можна орієнтуватися під час проектування звичайного житлового будинку. Таким чином, можна лише говорити про те, щоб ймовірність виникнення аварії не перевищувала деякої заздалегідь встановленої межі.

Якщо об'єкт спроектований так, щоб навантаження та впливи, які можуть мати місце в період будівництва та експлуатації, не могли б із заданою ймовірністю викликати повного руйнування всієї конструкції або серйозного пошкодження будь-якої важливої її частини, то це ще не виключає таких небезпек, як поява дуже малої ймовірних (так званих запроектованих) впливів, які зазвичай не враховуються під час проектування (вибухи, дорожньо-транспортні пригоди, пожежі тощо); а також грубі помилки, допущені фахівцями при проектуванні, будівництві та експлуатації.

Вимоги щодо грубих помилок внаслідок прогалин в інформації, упущень, непорозуміння, недбалості, а в багатьох випадках щодо запроектованих аварійних впливів висувуються найчастіше. Тому крім звичайних приписів, що стосуються проектних перевірок міцності та стійкості, слід дотримуватись і деяких інших рекомендацій:

- вибирати схему споруди такою, щоб у разі нездатності будь-якого елемента нести навантаження від запроектованого впливу, це не призводило б до руйнування всієї споруди або її значної частини (живучість);
- передбачати ефективний контроль при проектуванні виробництва матеріалів та компонентів, зведенні та експлуатації споруди;
- завчасно передбачити необхідний комплекс організаційних та технічних заходів щодо евакуації людей, аварійному водо- та енергопостачанню, оповіщенню населення, аварійної сигналізації тощо.

Вимоги пожежної безпеки та комфортабельності.

Пожежна безпека людей, що знаходяться в будівлі або поблизу нього (персоналу, мешканців, клієнтів тощо), та порятунок майна від вогню залежать від тривалості різних етапів поширення пожежі та вжиття заходів пожежної безпеки. До таких параметрів відносяться:

- періоди часу подачі сигналу чи оповіщення про виникнення пожежі;

- періоди часу вступу пожежних команд у боротьбу з вогнем;
- періоди часу на евакуацію в приміщеннях схильних до проникнення вогню і диму;
- опору конструкцій будівлі руйнуванню під впливом полум'я.

Тривалість цих періодів, у свою чергу, залежить від експлуатаційної якості систем сигналізації та оповіщення, планування будівлі, вогнестійкості несучих конструкцій, дій пожежних команд та людей, що рятуються. Тому забезпечення пожежної безпеки може бути пов'язане з різними зусиллями і можна зосередитись або на скороченні часу евакуації з будівлі або на збільшенні термінів виживання у різних приміщеннях, або на забезпеченні більш енергійних дій пожежних команд, або на розробці ефективніших автоматичних систем пожежогасіння тощо.

Деякі параметри часу можуть бути розраховані, хоча це часто пов'язано з великими труднощами (наприклад, часові параметри вогнестійкості конструкцій), інші параметри не можна розрахувати, а іноді і виміряти. Вони приймаються на підставі емпіричних даних (ширина аварійного виходу, вимоги щодо наявності огорож, характеристики вогнестійкості облицювальних матеріалів тощо).

Під вимогами комфортабельності зазвичай маю на увазі комфорт:

- • акустичний;
- • вітальний;
- • гіротермічний;
- • нюховий;

Акустичний комфорт пов'язаний із запобіганням шкідливому для здоров'я впливу сильного шуму і з обмеженням неприємних відчуттів і незручностей, що викликаються менш сильним шумом, який заважає зосередитися, а також викликає втому або порушує сон. Максимально прийнятний рівень шуму встановлюється зазвичай відповідно до еквівалентного звукового тиску і прив'язується до октавних діапазонів частот.

Вітальний комфорт визначається рівнем освітленості. Склалася традиція забезпечення природного освітлення через формулювання вимог до значення відношення заскленої поверхні підлоги. Часто встановлюються вимоги щодо наявності аварійного освітлення.

Гіротермічний комфорт є дуже широким поняттям та його суб'єктивні оцінки мають дуже великий розмах. Слід, наприклад, звернути увагу на те, що в стандарті Американської асоціації з вентиляції та кондиціонування, який

за загальним визнанням є досить жорстким, пропонується задовольняти вимоги лише 85% мешканців будинку, оскільки задоволення вимог усіх мешканців може виявитися надто дорогим.

Крім того вимоги комфорту можуть забезпечуватися не щодня протягом року, коли один раз на рік взимку та п'ять разів на рік влітку допускається відхилення температури порівняно з рівнем комфорту (при нормальній вологості — не нижче мінус 20 градусів взимку і не вище плюс 23 градусів) влітку). Більш жорсткі вимоги щодо зимової температури пов'язані з небезпекою для маленьких дітей і хворих. До вимог гіротермічного комфорту належить і така - точка роси повинна бути нижчою за температуру внутрішньої поверхні приміщення. Нюховий комфорт, як правило, забезпечується вимогами до чистоти повітря і не вимагає інших заходів, крім тих, що пов'язані із забезпеченням гігієни повітряного середовища.

Антроподинамічний комфорт пов'язаний з дією вібрації на людський організм Основними параметрами, за якими визначається несприятлива дія вібрації на людський організм, є віброшвидкість та віброприскорення. Їхні граничні значення в різних частотних діапазонах досить добре вивчені відомі також і граничні дози тривалості несприятливого впливу вібрації. Ці нормативи зазвичай поділяються на два рівні - рівень дискомфорту від вібрації (перешкоди для роботи, заколисування) і рівень вібрації, що становить небезпеку для здоров'я (вібраційна хвороба).

Крім того, допустимі рівні та дози вібрації диференціюються для населення і для персоналу професійно пов'язаного з роботою в умовах вібрації.

Експлуатаційна надійність та Безпека в ході експлуатації

Вимоги експлуатаційної надійності пов'язані з тим, що конструкція може стати незручною або взагалі непридатною для використання за призначенням, навіть залишаючись загалом міцною та стійкою (наприклад, місцеві пошкодження або призначення неправильно працювати внаслідок значних деформацій).

Найчастішим місцевим ушкодженням є помітна тріщина у захисних шарах, що може призвести до швидкого корозійного зносу несучих конструкцій або порушити необхідне непроникне: конструкції (наприклад, стінки резервуара). Значні переміщення несучих конструкцій можуть призводити до неправильної роботи обладнання (наприклад, утруднити або взагалі не допускати переміщення мостових кранів або ліфтових підйомників), такі ж утруднення можуть бути пов'язані з неприпустимим рівнем вібрації.

Тут мається на увазі забезпечення безпеки людей не пов'язаної з їхньою виробничою діяльністю та з особливістю протікання технологічних процесів, а визначається будівельними рішеннями. Насамперед це стосується безпеки пересування всередині будівлі і поблизу нього. Нещасні випадки можуть бути викликані:

- падінням із високих місць, не огорожених бар'єром;
- падінням з крутих сходів, що не мають перил
- падінням на горизонтальних ділянках внаслідок наявності порогів у незвичайних місцях чи непомітних щаблях;
- ударами об низько розташовані конструкції або карнизи дверей
- падінням у приміщеннях, де як покриття підлоги використані занадто слизькі у сухому чи вологому стані матеріали;
- поганою помітністю скляних поверхонь дверей та вікон;
- ударами дверей, що відчиняються в різні боки

У деяких випадках вимоги безпеки під час експлуатації включають забезпечення захисту від вторгнення людей **або тварин**, а також інші досить специфічні аспекти безпеки (напевно, було б цікаво простежити за концепцією безпеки у творців єгипетських пірамід).

До безпеки під час експлуатації відносяться також всі вимоги щодо безпеки ліфтів та інших механічних підйомників, а також різного обладнання будівель (електричне, газове, системи опалення та гарячого водопостачання тощо). Відповідні вимоги безпеки формуються у спеціальних нормативних документах та стандартах.

Гігієнічні вимоги

Гігієна будівель, метою якої є забезпечення здоров'я мешканців або виробничого персоналу, включає ряд факторів. Зокрема, можуть бути виділені наступні аспекти гігієнічних вимог:

- чистота повітряного середовища;
- регулювання вмісту вологи;
- якість водопостачання;
- видалення відходів та нечистот;
- якість використовуваних покриттів та фарб;
- інсоляція;
- рівень радіаційного фону.

Деякі з цих вимог, наприклад, параметри повітряного середовища або вимоги до якості питної води добре вивчені і піддаються кількісній оцінці; інші, такі, як вимоги щодо видалення побутових відходів, можуть бути сформульовані лише у загальному вигляді. Крім параметрів, що визначають

гігієнічні вимоги до якості докiлля, зазвичай пред'являються вимоги до безперервності цих вимог.

У зв'язку з цим можуть знадобитися дублюючі системи, наприклад, у тих випадках, коли повітрообмін забезпечується кондиціонерами або вентиляторами, можуть бути пред'явлені вимоги щодо наявності отворів, які відкриваються на випадок поломок обладнання.

Необхідно відзначити, що гігієнічні вимоги можуть бути пов'язані з іншими вимогами. Так, наприклад, обмеження вмісту вологи пов'язані з тим, що коли елементи конструкцій просочуються водою, відбувається не тільки підвищення вологості в будівлі або поява цвілі, але і знижується міцність деяких конструкцій та огорож, а також їх теплоізолюючі якості.

З економічної точки зору може виявитися невірною вимога про повне недопущення місцевих пошкоджень або неправильної роботи конструкцій. Особливо це стосується оборотних порушень, коли збитковий стан зберігається лише до тих пір, поки буде продовжуватися вплив, що стала її причиною.

Природньо, що при необоротних ушкодженнях, які зберігаються доти, доки конструкція не буде відремонтована, вимоги найчастіше будуть спрямовані на недопущення шкоди, хоча і тут можливі деякі градації. Вони пов'язані з тим, що різні місцеві ушкодження можуть мати різну швидкість розвитку і одні з них можуть чекати на ремонт довше, інші вимагають оперативного втручання. Конструкції необхідно проектувати та будувати достатньо надійними, щоб їх можна було використовувати за призначенням протягом усього передбачуваного терміну експлуатації.

Це означає, що довговічність конструкцій у її робочому режимі має бути такою, щоб погіршення фізичних властивостей матеріалів або неминуче зношування не призводили до неприпустимої ймовірності пошкодження або неправильної роботи протягом проектного терміну служби. Тому конструкція найчастіше забезпечується певним захистом від передчасного зношування. Якщо не вдається створити захист працездатний протягом усього терміну експлуатації, слід передбачати можливість регулярного інспектування конструкцій та проведення її обслуговування та ремонту відповідно до встановленої дисципліни технічної експлуатації.

Виконання цих вимог пов'язане із забезпеченням доступу до конструкцій, можливістю ремонту та заміни її окремих частин та вузлів, а іноді застосування систем автоматизованого контролю та моніторингу.

Реновація та модернізація

Будинки та споруди є об'єктами тривалого користування, тому умови їх функціонування можуть змінюватись протягом терміну служби. Проектуючи такий об'єкт, слід би подбати про його придатність до таких змін, намітити очікувані терміни реконструкції та заміни обладнання, а також вирішити питання про інші можливі модернізації. На жаль, такі дослідження при проектуванні зазвичай не робляться, що зумовлено недостатнім методичним опрацюванням проблеми відсутністю достовірного прогнозу розвитку відповідної галузі техніки, нестабільністю ринкової ситуації та іншими факторами.

У зв'язку з цим серед інших показників якості будівлі або споруди вказується досить невизначена узагальнена вимога про пристосованість до можливих змін, яка може позначитися на прийнятті гнучких об'ємно-планувальних та конструктивних рішень (вибір збільшених прольотів та кроків колон, вільного планування, застосування збірно-розбірних конструкцій і т.п.).

Для деяких типів споруд таких, як мости, ця функція спрямованості в майбутнє" реалізується шляхом розгляду навантажень з урахуванням перспективи розвитку транспортних засобів, проте для більшості інших типів будівель і споруд ця проблема не вирішена, незважаючи на те, що її актуальність була усвідомлена вже давно.

Лекція 6 Методи забезпечення надійності складних систем

Конструктивні засоби забезпечення надійності складних технічних систем. Технологічні засоби забезпечення надійності складних технічних систем. Забезпечення надійності складних технологічних систем в умовах експлуатації та під час реконструкції. Шляхи підвищення надійності складних технічних систем під час експлуатації та реконструкції. Організаційно-технічні методи з відновлення і підтримки надійності складних технічних систем під час експлуатації та реконструкції

6.1. Конструктивні засоби забезпечення надійності складних технічних систем

Технічна система (ТС) – це штучно створена сукупність елементів і відношень (зв'язків) між ними, які утворюють цілісну [структуру об'єкта](#), що має властивості, які не зводяться до властивостей елементів і призначена для виконання корисних [функцій](#).

ТС складається з елементів (складових частин, що розрізняються властивостями, які виявляються при взаємодії), з'єднаних зв'язками (лініями передачі одиниць або потоків чого-небудь), які вступають у певні відносини (умови і способи реалізації властивостей елементів) між собою та із зовнішнім середовищем, щоб здійснити процес (послідовність дій для зміни або підтримки стану) і виконати функцію ТС (призначення, роль).

Отже, ТС має:

- **призначення** (ТС виконує корисні функції);
- **структуру і принцип роботи** (сукупність елементів, їх взаємне розташування та зв'язки між ними, що задають [стійкість](#) і відтворність функції ТС);

- *нову якість*, що не є простою сумою властивостей елементів, що входять у її склад (інакше втрачається зміст створення системи).

ТС призначені задовольняти різноманітні потреби людини, причому не лише суто матеріальні, а й духовні. Ці потреби реалізуються за допомогою виконання системами певних дій – функцій, які заздалегідь закладені як у саму систему, так і в кожен її елемент. Поряд зі словом «функція» часто використовується слово «призначення», особливо при розгляді не технічних об'єктів.

Виконання необхідної функції – головна мета і основа розроблення технічної системи. У той же час, сама система слугує лише її матеріальним носієм, тобто, функція – первинна, система – вторинна й створюється через неможливість іншими, нематеріальними засобами задовольнити відповідні потреби людей. Так, автомобіль служить для перевезення вантажів і людей (функція – переміщати в просторі матеріальні об'єкти), призначення ручки – писати, а [книги](#) або [компакт-диска](#) – зберігати інформацію тощо.

Функція, яка розкриває призначення системи і заради якої ця система створюється, називається *головною функцією*. Функція, без виконання якої неможливе виконання головної функції є *основною функцією*.

З метою підвищення ефективності та якості реалізації головної функції може виникнути потреба в додаткових функціях, виконання яких буде здійснюватися цією ж системою або введеною в ній новою частиною. Такі функції називають *допоміжними* або *сервісними*.

ТС включає такі види [технічних об'єктів](#), як [вироби](#) (від невеликої [гайки](#) чи [шайби](#) до великих [турбін](#)) та [споруди](#) (від дрібних будівель до великих транспортних мереж, технічних комплексів, промислових комбінатів). Поза людським суспільством технічні системи не існують – людьми розробляються, виготовляються та експлуатуються, і вже від початку фактично є складовою частиною комбінованих, людино-технічних систем (їх ще називають людино-машинними системами).

Будь-яка технічна система, перш за все, є фізичним об'єктом. І правильний вибір принципів, тобто фізичних, основ функціонування зумовить її життєздатність та ефективність. Так, скільки б не вдосконалювали конструкцію літака з гвинтомоторним рушієм, він ніколи не досягне надзвукової швидкості, не кажучи вже про польоти на великих висотах. Тільки використання іншого фізичного принципу, наприклад, [реактивного руху](#) і створеного на його основі реактивного двигуна, дозволить подолати [звуковий бар'єр](#). Принцип роботи технічної системи – це послідовність виконання певних дій, що базуються на певних фізичних явищах (ефектах), які забезпечують необхідне функціонування цієї системи.

Характеристикою геометричного образу технічної системи, її зримого уявлення служить структура об'єкта (технічної системи), тобто форма, кількість і взаємне розташування елементів, частин і тіл, складових або представляють розглянуту систему-об'єкт. Прикладами відображення структури є [блок-схема алгоритму](#), [складальний кресленик](#), [схема](#), план тощо.

Поняття структури ТС відрізняється від поняття структури процесу, що характеризує послідовність і склад стадій та етапів роботи, сукупність процедур і залучених технічних засобів, взаємодію учасників процесу.

Системний підхід вимагає розглядати систему як частину надсистеми, з елементами котрої вона пов'язана, а окремі елементи системи можна в свою чергу розглядати як підсистеми.

Наприклад, для верстата-автомата, як технічної системи автоматична лінія є надсистемою першого порядку, автоматичний цех – надсистема другого порядку, а завод-автомат – надсистема третього порядку. Підсистемами першого порядку для верстата-автомата будуть механізми головного руху, подачі, автоматичної зміни інструменту тощо. Підсистемами другого порядку, наприклад, для механізму головного руху є шпindelний вузол, коробка швидкостей, електродвигун, а для шпindelного вузла підсистемою третього порядку будуть шпindel, опори, болти тощо.

У процесі роботи технічні системи перетворюють енергію та інформацію, властивість і стан речовини. Залежно від призначення та принципу дії системи поділяють на [машини](#), [апарати](#) та [прилади](#). У випадках, коли складно визначити приналежність системи, використовують поняття «пристрій» або «комплекс», як, наприклад, пристрій регулювання, космічний комплекс тощо.

Поділ технічних об'єктів на [машини](#), [апарати](#) та [прилади](#) тощо та на «технічні системи» носить умовний характер. Системою може бути певна сукупність самодостатніх [машин](#), [апаратів](#) чи [приладів](#) і, в той же час, система чи декілька систем можуть бути складовими тих же [машин](#), [апаратів](#) чи [приладів](#).

Наприклад, один із агрегатів [автомобіля](#) – [двигун внутрішнього згорання](#) має [систему живлення](#), [систему змащення](#), [систему запалювання](#) тощо, які є його складовими, і які виконують певні функції, і не є самодостатніми технічними об'єктами. В той же час, така технічна система як [«система ППО»](#) включає самодостатні технічні об'єкти, однак, виконувати свої функції на необхідному рівні вони можуть тільки у складі єдиної системи.

До *машин* відносяться технічні системи, котрі призначені для отримання або перетворення механічної енергії. Основу машин складають механізми, тобто системи рухомо пов'язаних між собою твердих тіл (ланок), що контактують між собою і які здійснюють конкретні механічні рухи. Так, до машин належать автомобіль (колісна машина), паровий двигун (парова машина) тощо.

Машинні технологічні системи виконують технологічні операції в умовах довкілля. Розглянемо найбільш поширені та вивчені підсистеми технічних систем, що входять до складу машинних технологічних систем. Залежно від призначення та функцій машинні технологічні системи можна поділити на групи.

Наприклад: металорізальні верстати; ковальсько-пресове обладнання; будівельні машини; ткацькі верстати; швейне обладнання; сільськогосподарські машини; машини для переробки сільськогосподарської сировини; гірничі машини; нафтопромислові машини тощо.

Машинні технологічні системи відрізняються кількістю сировини, що переробляється, або обсягом виробленої продукції за одинцю часу, тобто продуктивністю.

Залежно від потужності встановленого двигуна машинні технологічні системи умовно поділяють на:

- малопотужні (до 1,0 кВт);
- середньої потужності (1,0...50,0 кВт);
- великої потужності (понад 50,0 кВт).

Можна поділити машинні технологічні системи і за структурно-конструктивною ознакою, коли машини мають різне функціональне призначення. Однак розпорошення уваги на технологічні процеси може негативно вплинути на засвоєння основ побудови технічних систем.

До *апаратів* відносяться технічні системи, які призначені для отримання або перетворення інших (у тому числі і механічної) видів енергії. Їх прикладами можуть служити телевізор (телевізійний апарат, перетворює електромагнітні сигнали в візуально-звукову інформацію), телефон (телефонний апарат, здійснює взаємне перетворення звукових і електричних сигналів), фотоапарат, ракета (космічний апарат), реактор (ядерний або хімічний реактор, що змінює допомогою реакцій властивість і/або стан речовини) тощо.

Апаратні технологічні системи потребують для виконання технологічної операції спеціальних умов: підвищеного або низького тиску, хімічно активного середовища, високої або низької температури тощо. Тому

в цих системах технологічні операції виконують у корпусі, порожнина якого ізольована від навколишнього середовища.

До приладів відносять технічні системи, що мають допоміжне призначення (контроль, керування, вимірювання, регулювання), призначені для полегшення праці людини шляхом часткової або повної її заміни. Залежно від принципу роботи прилади поділяють на механічні ([гіроскоп](#), [відцентровий регулятор](#) тощо), електричні (вольтметр, гальванометр тощо), оптичні (мікроскоп, телескоп тощо), а також на прилади комбінованої дії (оптико-електронні, електромеханічні прилади тощо).

Науковий опис технічних систем включає:

1. Параметричний – опис властивостей, ознак та відношень об'єкта на основі емпіричних спостережень. Це найбільш проста форма і вихідний рівень дослідження об'єкта.

2. Морфологічний – перехід до визначення поелементного складу, побудови об'єкта та взаємовідносин параметрів, які виявлені на попередньому рівні.

3. Функціональний – перехід до визначення функціональної залежності між параметрами (функціонально-параметричний опис), між елементами об'єкта (функціонально-морфологічний опис) або між параметрами і побудовою об'єкта.

4. Фізичний (поведінка об'єкта) – виявлення цілісної картини «життя» об'єкта і механізмів, які забезпечують зміну напрямків та «режимів» роботи об'єкта (найбільш складна форма наукового дослідження).

Опис розвитку технічних систем описується законами: «статики» (початок життя), «кінематики» (розвиток) і «динаміки» (головні тенденції розвитку в нинішній час).

Закони статички: 1) «повнота частин» – наявність і мінімальна працездатність основних частин технічних систем; 2) «енергетична провідність» – наскрізний прохід енергії всіма частинами технічних систем; 3) походження «ритміки» частин – частоти коливань, періодичності роботи всіх частин.

Закони кінематики: 1) «підвищення ступеня ідеальності» – витрати на виготовлення та функціонування технічних систем прямують до нуля, хоча працездатність їх не зменшується; 2) «нерівномірність розвитку частин» (чим складніша технічна система, тим нерівномірнішим є її розвиток); 3) «перехід у надсистему» – вичерпавши можливості розвитку, система включається в надсистему як одна з частин.

Закони динаміки: 1) перехід з макрорівня на мікрорівень; 2) підвищення ступеня керованості – зростання кількості елементів і зв'язків між ними.

6.2. Технологічні засоби забезпечення надійності складних технічних систем

Головна рушійна сила розвитку технічних систем – усунення суперечності між зростаючими потребами суспільства і можливостями сьогоденних технічних систем. Діалектика розвитку технічних систем полягає в тому, що в новому об'єкті поєднуються нові та відомі технічні рішення. Так, на початку розвитку металорізальні верстати мали рухи від загального привода – локомотива за допомогою трансмісійних валів (складність керування, низька продуктивність, висока небезпека). Потім з'явилися верстати з індивідуальним приводом від електродвигуна через зубчасті передачі. Тенденція розвитку сучасних верстатів – постачання кожного вузла власним приводом у вигляді, наприклад: крокового електродвигуна, високомоментного двигуна тощо.

Для пояснення явищ, що характеризують тривалість функціонування основних елементів процесу виготовлення, виробництва і споживання технічних систем, використовують поняття **життєвого циклу**, під яким розуміють тривалість існування технічної системи, починаючи з моменту обґрунтування проведення науково-дослідних робіт, пов'язаних з її створенням, і закінчуючи завершенням робіт з утилізації знятої з експлуатації технічної системи.

Тривалість життєвого циклу технічних систем – змінна функція і залежить від чинників двох груп.

До факторів першої групи відносять: технічні – новизна, складність, надійність, продуктивність тощо; економічні – собівартість, рентабельність, потреба тощо; організаційні – серійність, характер обслуговування, управління тощо.

Дія факторів другої групи: перехід на випуск нової продукції, зміна технічних вимог замовника; поява нових ринків збуту тощо.

«**Цикл життя**» технічних систем можна поділити на етапи, стадії й операції. Чотирма етапами «циклу життя» технічної системи є створення, переміщення (постачання, монтаж), використання і ліквідація. Технічна система на кожному етапі повинна задовольняти певні вимоги, тобто мати певні властивості. Кількість та тривалість стадій, на які поділяються етапи «життя» технічної системи, залежать від рівня її складності, оригінальності

конструкції, способу виробництва й вимог замовника. Залежно від проектно-конструкторської реалізації та її традицій деякі стадії можуть бути визначені різним чином.

«Цикл життя» технічної системи складається з ланцюга фаз: Ф1 – постановка мети і формулювання задачі; Ф2 – розроблення задуму нової технічної системи (інформаційна фаза – образ задуму); Ф3 – проведення цільових досліджень у межах програми НДР; Ф4 – дослідно-конструкторські роботи (ДКР); Ф5 – створення і дослідження дослідного зразка; Ф6 – випуск в економічну сферу; Ф7 – впровадження (підготовка виробництва, виробництво та експлуатація); Ф8 – припинення випуску й експлуатації; Ф9 – знищення (утилізація).

Аналіз технічної системи – проектна процедура, яка полягає у визначенні властивостей проєктованої системи й дослідженні працездатності ТС за її описом. Аналіз передбачає розв'язання задач функціонального проєктування за допомогою *математичних моделей* (ММ) технічної системи на мікро-, макро- та метарівнях.

Процедури аналізу поділяють на процедури одно- і багатоваріантного аналізу.

Основою функціонального проєктування є *одноваріантний аналіз* ТС – визначення вихідних параметрів ТС при заданих внутрішніх і зовнішніх параметрах. Геометрична інтерпретація цієї задачі пов'язана з поняттям простору внутрішніх параметрів. Це *n*-вимірний простір, у якому для кожного із *n* внутрішніх параметрів x_i виділена координатна вісь. При одноваріантному аналізі задається деяка точка в просторі внутрішніх параметрів та необхідно в цій точці визначити значення вихідних параметрів. Подібна задача звичайно передбачає одноразовий розв'язок рівнянь, що становлять ММ, що й зумовлює назву цього виду аналізу.

Більшість задач одноваріантного аналізу (моделювання перехідних процесів, статичних режимів, частотних характеристик тощо) зводиться до розв'язання систем звичайних диференціальних рівнянь, а також систем нелінійних та лінійних алгебраїчних рівнянь.

Задачі розв'язання систем рівнянь можуть виникати на різних етапах і рівнях проєктування.

Успішне розв'язання задач одноваріантного аналізу створює передумови для постановки і розв'язання задач *багатоваріантного аналізу*, який полягає в дослідженні властивостей ТС в деякій ділянці простору внутрішніх параметрів. Багатоваріантний аналіз дозволяє визначити поведінку об'єкта проєктування при зміні його внутрішніх і зовнішніх

параметрів. Такий аналіз потребує багаторазового розв'язання систем рівнянь (багаторазового виконання одноваріантного аналізу).

Основними задачами багатоваріантного аналізу є аналіз чутливості й [статистичний аналіз](#). При виборі та розробленні методу чи алгоритму аналізу перш за все встановлюють галузь його застосування. Чим ширшу сферу задач і ММ, які вважаються допустимими для розв'язання цим методом, тим цей метод універсальніший. У більшості випадків чітке й однозначне формулювання обмежень на застосування методу викликає певні труднощі. Ймовірність успішного застосування методу в окресленому колі задач менша від одиниці. Ця ймовірність є кількісною оцінкою важливої властивості методів та алгоритмів, яка називається [надійністю](#).

До методів та алгоритмів аналізу, як і до ММ, висувають вимоги точності й економічності. Точність характеризується ступенем збіжності точного розв'язку рівнянь заданої моделі та наближеного розв'язку, отриманого за допомогою оцінюваного методу, а економічність – витратами обчислювальних ресурсів на реалізацію методу (алгоритму). Оцінки точності та економічності можуть бути і теоретичними, і експериментальними.

6.3. Забезпечення надійності складних технологічних систем в умовах експлуатації та під час реконструкції

Технологічна система – це сукупність функціонально пов'язаних засобів технологічного оснащення, предметів виробництва та виконавців для виконання в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів і операцій.

До технологічного оснащення системи включають [обладнання](#), яке забезпечує основний [технологічний процес](#). До предметів виробництва відносять: [матеріал](#), [заготовку](#), [напівфабрикат](#) і [виріб](#), що перебувають відповідно до технологічного процесу, який виконується, у стадії зберігання, транспортування, формоутворення, обробки, складання, ремонту, контролю та випробувань. До регламентованих умов виробництва відносять: регулярність надходження предметів виробництва, параметри енергопостачання, стан довкілля тощо.

Технологічні системи поділяють на дві групи:

- апаратні технологічні системи (АТС);
- машинні технологічні системи (МТС).

В ***апаратних технологічних системах*** робоча зона є закритою та ізольованою від зовнішнього середовища. Технологічний процес в АТС протікає в закритій порожнині корпусу апарата, де створюються спеціальні

умови: тиск або розрідження, висока чи низька температура, дія хімічно активного середовища на продукт, що переробляється тощо.

У *машинних технологічних системах* робоча зона є відкритою та неізолюваною від зовнішнього середовища, тобто атмосфери, а сам технологічний процес протікає в умовах довкілля.

Структурну схему технічної системи можна представити у вигляді піраміди, основою якої є підсистема робочого руху, а на вершині розташовано підсистему керування.

На початку ХХІ ст. на створення підсистеми керування витрачається до 80% ресурсів, а на підсистему робочого руху – приблизно 5%. Решта витрачається на підсистеми допоміжного призначення. Слід зазначити, що 50 років тому на підсистему керування ці витрати становили не більше 20%.

Підсистеми робочого руху та керування є основними технічними об'єктами, без яких існування технологічної технічної системи не можливе. Інші підсистеми виконують допоміжні функції та слугують для збільшення надійності, підвищення ефективності та розширення технологічних можливостей технологічної технічної системи, тобто технологічної машини.

Підсистема керування у своєму складі, окрім апаратури та засобів керування, може містити інформаційні машини, що здатні керувати усіма технічними об'єктами технологічної технічної системи. А також, залежно від специфічних вимог виконуваної технологічної операції, програмувати алгоритм дії всіх підсистем технологічної машини, змінюючи за необхідністю траєкторію та послідовність руху робочих органів у межах технологічних можливостей машини.

6.4. Шляхи підвищення надійності складних технічних систем під час експлуатації та реконструкції

Зростання ролі надійності технічних систем у забезпеченні безпеки експлуатації будівель та споруд (БС) викликає особливу увагу вітчизняних та зарубіжних дослідників до проблеми забезпечення надійності будівельних конструкцій і виробів (БКВ) та комплексного її рішення на різноманітних етапах життєвого циклу виробів.

Ускладнення конструкцій виробів і систем БС, збільшення виконуваних ними функцій, автоматизація управління і функціонування складних технологій виготовлення і монтажу конструкцій, застосування більш навантажених режимів роботи виробів, істотно загострили проблему забезпечення безпеки, рівень яких у значній мірі визначається надійністю систем і обладнання в БС. Низька надійність систем і обладнання в БС

приводить до збитків, які пов'язані з витратами на запасні частини, ремонтне устаткування, простоем об'єктів у непрацездатному стані, утримуванням технічного персоналу, тощо.

У цих умовах система технічного обслуговування і реконструкції (ТОіР) стає одним з найважливіших факторів, що визначають ефективність експлуатації БС. Вдосконалення системи ТОіР, розробка та впровадження ефективних засобів діагностування БКВ, підвищення якості їх технічного обслуговування (ТО) здійснюється більш ефективно, якщо рішення вказаних задач базується на аналізі надійності.

З ускладненням конструкцій БС та розміщених в будівлях виробництв, інтенсифікації процесів, застосування нових засобів діагностування та контролю стану БКВ якість ТОіР все в більшій мірі визначається суб'єктивними факторами, особливо в тих видах виробничої діяльності, де невміння швидко приймати правильні рішення призводить до тяжких наслідків чи великих економічних витрат. Таким чином, у проблемі забезпечення надійності застосованих в будівлях технологій можна виділити низку аспектів, що визначають ефективність використання та безпеку виробництв в БС.

В інформаційний аспект забезпечення надійності технологій БКВ входять принципи та засоби збирання, зберігання, обробки та аналізу експлуатаційної інформації для керування надійністю БКВ та прийняття оптимальних рішень в процесі їхньої експлуатації. До інформаційного аспекту слід віднести також питання розробки та впровадження автоматизованих систем та їхнього математичного забезпечення.

Технологічний аспект надійності містить в собі вибір та вдосконалення технологічних процесів, послідовність та якість виконання операцій, що застосовують технічні засоби контролю.

Сукупність принципів, засобів виявлення та пошуку відмов і пошкоджень у процесі експлуатації обладнання в БС складає основу діагностичного аспекту забезпечення надійності. В рамках діагностичного аспекту забезпечення надійності БКВ вирішуються питання визначення технічного стану об'єктів експлуатації, а також питання організації ТОіР, оптимізації режимів перевірки справності та якості функціонування систем і технологій в БС, розробки алгоритмів пошуку елементів, що відмовили тощо.

Скорочування експлуатаційних витрат та підвищення готовності об'єктів експлуатації до використання лежать в основі економічного аспекту надійності.

Системний аспект надійності виникає при керуванні ефективністю використання технологічного обладнання в БС, який включає в себе етапи проектування, виробництва та експлуатації.

Зазначені аспекти взаємопов'язані між собою та вимагають системного підходу до дослідження надійності роботи устаткування в БС.

Наука про надійність не може розвиватися без дослідження фізико-хімічних і фізико-механічних процесів. Тому значна увага приділяється вивченню фізичних причин відмов, впливу старіння та міцності матеріалів на надійність, різноманітних впливів на працездатність об'єктів. Сукупність робіт в галузі досліджень цих процесів стала основою *фізичної теорії надійності*.

Обробка статистичних матеріалів з надійності техніки вимагала розвитку існуючих статистичних методів і призвела до накопичення великої кількості статистичної інформації з надійності об'єктів експлуатації.

Узагальнення статистичних матеріалів про відмови та розробка рекомендацій з підвищення надійності об'єктів викликали необхідність визначати математичні закономірності, котрим підкоряються відмови, а також розробляти методи кількісного вимірювання надійності та інженерні розрахунки її показників. В результаті утворилася *математична теорія надійності*.

У різних областях техніки розроблялися й продовжують розроблятися прикладні питання забезпечення надійності даної конкретної техніки і технології. При цьому вирішуються питання про найбільш раціональне використання загальної теорії надійності в конкретній галузі техніки. Так виникли прикладні теорії надійності, в тому числі *прикладна теорія надійності БС* (ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»).

Знання головних положень теорії надійності дозволяє проєктувальникам вибирати оптимальні конструкції елементів БС, виробляти засоби упередження відмов, розробляти та застосовувати засоби діагностування виробів БКВ та вирішувати питання оптимізації інших факторів, спільна дія яких визначає надійність розміщуваних в БС виробництв.

Теорія надійності базується на низці вихідних понять, точність розуміння яких, та використання термінів і визначень - це необхідна умова науковості інженерних та теоретичних досліджень, практичного впровадження заходів забезпечення надійності об'єкта експлуатації.

Об'єкт – це система, споруда, машина, підсистема, апаратура, функціональна одиниця, пристрій, елемент чи будь-яка їх частина, що розглядається з погляду надійності як самостійна одиниця.

Об'єкт може включати технічні засоби, технічний персонал чи будь-які їх поєднання. Сукупність об'єктів, об'єднаних спільним призначенням і метою функціонування може розглядатись як об'єкт.

Найбільш загальною властивістю любого об'єкта вважається поняття якість.

Якість об'єкта – це сукупність властивостей об'єкта, що обумовлює його придатність до використання за призначенням та відповідність всім встановленим вимогам, які наведені у технічній документації.

Найважливішою властивістю цієї сукупності є надійність.

Надійність – властивість об'єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування технічного обслуговування (ТО), зберігання та транспортування.

Надійність є комплексною властивістю, що залежно від призначення об'єкта і умов його застосування, може містити в собі безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережуваність чи певні поєднання цих властивостей.

Безвідмовність – властивість об'єкта виконувати потрібні функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи наробітки.

Довговічність – властивість об'єкта виконувати потрібні функції до переходу у граничний стан при встановленій системі ТОіР.

Ремонтпридатність – властивість об'єкта бути пристосованим до підтримання та відновлення стану, в якому він здатний виконувати потрібні функції, за допомогою ТОіР.

Збережуваність – властивість об'єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати потрібні функції під час і після зберігання та (чи) транспортування.

Для характеристики стану об'єктів експлуатації застосовують такі терміни, як *справність*, *несправність*, *працездатний* чи *непрацездатний* стан. Кожний з цих станів характеризується сукупністю значень параметрів та якісних ознак, що встановлюються нормативно-технічною або конструкторською документацією. Працездатний об'єкт на відміну від справного задовольняє лише вимогам нормативно-технічної документації, виконання яких забезпечує його здатність виконувати потрібні функції. У зв'язку з цим "*справний стан*" ширше, ніж поняття "*працездатний стан*".

Об'єкт може бути *несправним*, але *працездатним*.

Під *граничним станом* розуміють такий стан об'єкта, при якому подальша експлуатація згідно з нормативно-технічною документацією неприпустима, чи недоцільна, або характеризується неусувним виходом параметрів за встановлені межі. Після настання граничного стану експлуатація об'єкта припиняється і він може бути відправлений в ремонт або списаний і ліквідований.

Основним поняттям в теорії надійності є *відмова* – подія, яка полягає у втраті об'єктом здатності виконувати потрібну функцію, тобто у порушенні працездатного стану об'єкта.

Якщо об'єкт переходить у несправний, але працездатний стан, цю подію називають *пошкодженням*.

Схему зміни станів об'єкта в залежності від подій наведено на рис. 6.1.

Перехід об'єкта із непрацездатного стану у працездатний здійснюють при відбудові чи ремонті об'єкта. Залежно від особливостей конструкції об'єктів експлуатації нормативно-технічною документацією об'єкт визначають як той, що ремонтують або не ремонтують, який обслуговують або не обслуговують. Розподіл об'єктів на ті, що ремонтуються та не ремонтуються, пов'язаний з можливістю та економічною доцільністю відбудови їхнього ресурсу ремонтом. Якщо передбачається виконання ТО об'єктів у процесі експлуатації, то вони є ще й обслуговуваними. Об'єкти, які обслуговують, можуть бути і не ремонтованими об'єктами. Істотне значення при виборі показників надійності та їхньому обчисленні має розподіл об'єктів на ті, що відновлюються та ті, що не відновлюються. Об'єктом, що відновлюється називають об'єкт, для якого у ситуації, що розглядається, відновлення працездатного стану передбачено нормативно-технічною та конструкторською документацією. Це визначення характеризує не фізичну чи дійсну можливість ремонту, а модель об'єкта в експлуатації, прийнятні умови спостереження та реєстрації моментів відмов. Під відновленням розуміють не тільки ремонт тієї чи іншої частини виробу, а й повну його заміну. У зв'язку з цим деякі об'єкти, що є принципово не ремонтованими, можуть у конкретній ситуації розглядатися як ті, що відновлюються та навпаки.

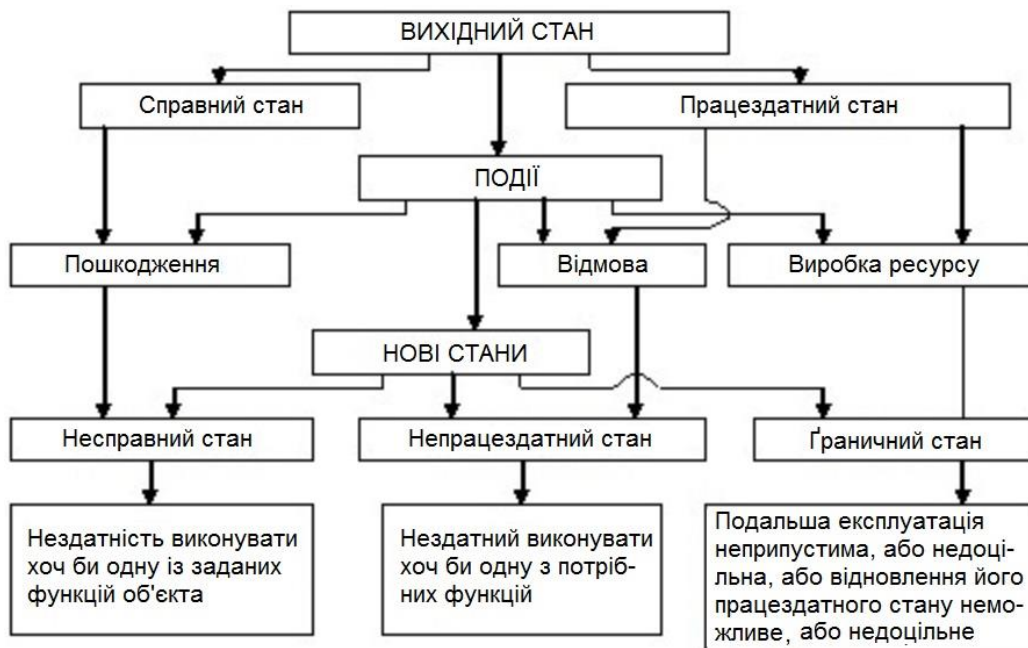


Рис. 6.1 – Схема станів об'єкта

Всі види відмов виробів і обладнання в БС класифікують за ознаками, основними з яких є:

- характер змінювання параметра об'єкта;
- причини виникнення відмови;
- характер виявлення відмов;
- взаємозалежність між відмовами.

Залежно від характеру змінювання параметрів об'єкта експлуатації відмови класифікують на раптові та поступові.

Раптові відмови характеризуються стрибкоподібною зміною одного чи кількох заданих параметрів об'єкта. Вони виникають внаслідок поєднання несприятливих факторів та випадкових зовнішніх впливів, навантажень, що перевищують розрахункові значення. Основною ознакою раптової відмови є незалежність наробітки до відмови від тривалості експлуатації виробу. Раптову відмову неможливо передбачити попередніми дослідженнями чи технічним оглядом.

Поступова відмова спричинена поступовими змінами значень одного чи декількох параметрів об'єкта. Вони пов'язані з процесами зношення, корозії, втоми та повзучості матеріалів.

За причинами виникнення відмови поділяють на конструкційні, виробничі та експлуатаційні.

Відмови, зумовлені відмовами інших елементів, називають *залежними*. Відмови, що виникли незалежно від справного стану інших елементів, називають *незалежними*.

6.5. Організаційно-технічні методи з відновлення і підтримки надійності складних технічних систем під час експлуатації та реконструкції

Загальні принципи забезпечення надійності і конструктивної безпеки будівель і споруд, будівельних конструкцій та основ (далі – конструкції замість конструкції та основи) на основі регулювання надійності їх складових частин викладені в нормативному документі ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд».

Встановлена надійність має бути забезпечена на всіх етапах життєвого циклу об'єкта, а саме:

- вишукування і проектування;
- виготовлення, транспортування та зберігання будівельних виробів;
- освоєння будівельного майданчика та зведення об'єкта, приймання об'єкта в експлуатацію;
- використання об'єкта за призначенням протягом встановленого терміну експлуатації, оцінка технічного стану, ремонт;
- реконструкція й подальше використання у нових умовах;
- ліквідація об'єкта.

В залежності від етапу життєвого циклу вказівки стосовно надійності об'єкта використовуються для:

- визначення умов проектного вибору, тобто параметрів майбутнього об'єкта з урахуванням встановлених чи прогнозованих умов його застосування;
- рішення щодо дозволу або заборони на застосування проекту, матеріалів, виробів, результатів робіт і самого об'єкта;
- встановлення вимог до зміни окремих характеристик об'єкта (його складових частин) або режиму його використання.

Основною вимогою, яка визначає надійність будівельного об'єкта, є його відповідність призначенню й здатність зберігати необхідні експлуатаційні якості протягом встановленого терміну експлуатації. До них належать:

- гарантія безпеки для здоров'я і життя людей, майна та довкілля;
- збереження цілісності об'єкта та його основних частин і виконання інших вимог, які гарантують можливість використання об'єкта за призначенням і нормального функціонування технологічного процесу,

включаючи вимоги до жорсткості будівельних конструкцій і основ, тепло- і звукоізоляційних властивостей огорожень, їх герметичності, акустичних характеристик тощо;

- забезпечення можливості розвитку об'єкта (наприклад, добудови без підсилення наявних конструкцій або збільшення обсягів виробництва для промислової будівлі) та його пристосування до технічних, економічних або соціальних умов, що змінюються;

- створення необхідного рівня зручностей і комфорту для користувачів та експлуатаційного персоналу, включаючи вимоги до кліматичного режиму в приміщеннях (повітрообмін, температура, вологість, рівень освітленості тощо), а також доступність для оглядів і ремонтів, можливість заміни і модернізації окремих елементів тощо;

- обмеження ступеня ризику шляхом виконання вимог до вогнестійкості, безвідмовності роботи захисних пристроїв, надійності систем і мереж життєзабезпечення, живучості будівельних конструкцій тощо.

У конкретних випадках цей перелік може бути уточненим і розширеним (наприклад, введенням додаткової умови до межі радіаційного фону від застосованих будівельних матеріалів і виробів).

Чисельно надійність характеризується показниками ймовірності безвідмовної роботи, наробітком до відмови, середнім терміном служби тощо.

Відмовою вважається реалізація такого стану споруди, її частини або елемента, який призводить до появи значних економічних збитків чи соціальних втрат. При цьому відрізняють відмови-зриви, поява яких одразу ж викликає виникнення збитків (втрат), і відмови-перешкоди, після появи яких починається поступове накопичення збитків (втрат).

Вимоги до функціональних характеристик, як правило, ставляться до всієї споруди в цілому. Оскільки її складові частини відіграють різні ролі у забезпеченні надійності споруди, вони мають різну відповідальність.

Вимоги до окремих частин і підсистем будівельного об'єкта, які забезпечують функціонування об'єкта, повинні встановлюватися і реалізуватися сумісно (наприклад, вимога до температури повітря в приміщенні забезпечується шляхом узгодження параметрів систем опалення і вентиляції з теплоізоляційними властивостями огорожувальних конструкцій).

Будівельні конструкції й основи повинні відповідати наступним вимогам:

- сприймати без руйнувань і недопустимих деформацій впливи, що виникають під час їх зведення і протягом встановленого терміну експлуатації;

- мати достатню роботоздатність в умовах нормальної експлуатації протягом усього встановленого терміну експлуатації, а саме: їх експлуатаційні параметри (переміщення, вібрації тощо) із заданою імовірністю не повинні виходити за встановлені нормативною або проектною документацією межі, а їх довговічність повинна бути такою, щоб погіршення властивостей матеріалів і конструкцій внаслідок гниття, корозії, стирання та інших форм фізичного зношування не призводило до недопустимо високої ймовірності відмови;

- мати достатню живучість по відношенню до локальних руйнувань і передбачених нормами аварійних впливів (пожеж, вибухів, наїздів транспортних засобів тощо), виключаючи при цьому явища прогресуючого руйнування, коли загальні пошкодження виявляються значно більшими ніж первісне збурення, що їх викликало.

Надійність, у тому числі довговічність і живучість, забезпечуються одночасним виконанням вимог, які висуваються до вибору матеріалів, конструктивних і об'ємно-планувальних рішень, до методів розрахунку, проектування та контролю якості робіт при виготовленні конструкцій та їх зведенні, а також дотриманням правил технічної експлуатації, нагляду і догляду за конструкціями.

Умови експлуатації та вплив навколишнього середовища. Врахування небезпек

Складовими умов експлуатації, що відповідають нормальному режиму експлуатації об'єкта, є впливи, що виникають від роботи устаткування (машин, апаратів, транспортних засобів, вантажопідійомних механізмів), вантажів, навантаження від людей, атмосферних впливів тощо у сполученні з можливими прогнозованими впливами навколишнього середовища, які виникають у той же час.

Урахування взаємодії з навколишнім середовищем повинно здійснюватися на основі матеріалів інженерних вишукувань, які включають інженерно-геодезичні, комплексні інженерно-геологічні, інженерно-гідрометеорологічні, а також вишукування для раціонального використання навколишнього середовища.

Характер і величина впливів (силових, температурних, деформаційних, від заданих переміщень тощо), що виникають в умовах нормального режиму експлуатації, визначаються з урахуванням передбачених нормативною

документацією або вимогами проєкту умовами роботи устаткування або обмеженнями, пов'язаними з обов'язковими вимогами експлуатаційної документації (наприклад, вказівками щодо використання обмежувачів вантажопідйомності або аварійних клапанів, вказівками щодо очищення покрівель від снігу та пилу).

У матеріалах вишукувань повинна наводитися характеристика прогнозованих впливів на будівельні конструкції основних природних, природно-техногенних і техногенних процесів і явищ.

Поряд з умовами нормальної експлуатації повинні розглядатися небезпеки, які самі по собі або у сполученні з іншими факторами можуть призвести до порушення роботоздатності конструкцій. Ці небезпеки можуть бути наслідками:

- недосконалостей норм проєктування;
- недоліків проєктування, виготовлення, зведення або експлуатації, що виникають внаслідок грубих помилок персоналу, в тому числі через відсутність інформації, прорахунки та нерозуміння;
- різких змін технологічного процесу, що викликають істотні зміни технологічних навантажень і впливів;
- перевантажень, що виникають при стихійних лихах, техногенних аваріях та інших виняткових подіях.

Небезпечні впливи повинні враховуватись протягом усього періоду будівництва та експлуатації об'єкта. При оцінці впливів повинна враховуватися просторова нерівномірність і періодичність цих впливів.

Якщо небезпеку природно-техногенного чи техногенного походження неможливо передбачити точно, то з міркувань безпеки її доцільно враховувати.

Заходами, що попереджують небезпеки або знижують їх вплив, можуть бути:

- захист від небезпеки – виключення впливу джерела небезпеки шляхом використання спеціальних антиперевантажувальних пристроїв, систем попередження і оповіщення тощо;
- урахування небезпек – проєктування конструкцій такими, щоб при виникненні небезпеки з встановленою ймовірністю була виключена можливість руйнування будь-якого відповідального елемента;
- послаблення наслідків небезпек – проєктування об'єкта таким, щоб конструкції, відмова яких може бути безпосередньою причиною аварійної ситуації, при виникненні небезпеки зберігали роботоздатність протягом часу, достатнього для вжиття термінових заходів (наприклад, для евакуації людей або для зміни режиму роботи устаткування).

Заходи запобігання небезпекам можуть застосовуватися окремо або комплексно.

При аналізі небезпек слід визначити відповідну розрахункову ситуацію. У цій розрахунковій ситуації реалізується лише одне небезпечне явище, яке розглядається разом із іншими нормальними умовами.

Відповідальність

Слід вживати всіх заходів для виключення помилок осіб, які беруть участь у будівельному процесі і в процесі експлуатації, в тому числі шляхом визначення і фіксації у відповідній нормативній, проектній та експлуатаційній документації їх функцій та міри відповідальності.

Для зменшення ймовірності виникнення помилок рекомендується:

- підбирати персонал відповідної кваліфікації, включаючи використання системи контролю і ліцензування прав на ведення різних видів професійної діяльності;
- регламентувати всі робочі процедури, способи і форми документування контролю за результатами роботи персоналу.

На всіх етапах робіт і для всіх осіб, які беруть участь у цих роботах (проектування, виготовлення, зведення, експлуатація, реконструкція), повинна бути визначена відповідальність персоналу, а також забезпечені заходи щодо взаємодії виконавців.

Необхідно, щоб усі особи, які несуть відповідальність, були попереджені про неї і знали коло своїх обов'язків, включаючи і таку діяльність, як передача інформації та документування.

Підтримання робочого стану конструкцій

Будівельні об'єкти повинні знаходитися в такому стані, щоб вони могли використовуватися за призначенням згідно з проектом протягом усього встановленого терміну експлуатації.

Якщо конструкція зазнає фізичного зносу і її стан викликає недопустиме зростання ризику, пов'язаного з подальшою експлуатацією об'єкта, необхідно провести ремонт, який відновлює роботоздатність конструкції, змінити умови її експлуатації або провести повну заміну.

Пошкодження або погіршення стану будівель і споруд, окремих конструкцій та основ виявляються в результаті оглядів і обстежень, що проводяться через певні проміжки часу.

За станом конструкцій унікальних або відповідальних будівель та споруд рекомендується стежити з використанням автоматизованих систем контролю.

Заходи, необхідні для підтримання робочого стану конструкцій, і перелік осіб, відповідальних за виконання цих заходів, повинні бути встановлені у спеціальних нормах, проєктній та експлуатаційній документації з урахуванням значущості конструкцій, умов їх експлуатації, довговічності і стабільності властивостей матеріалу, умов навколишнього середовища, захищеності від зовнішніх впливів і вартості робіт із нагляду та догляду.

Запобігання небезпекам

Безпека об'єкта, як правило, повинна забезпечуватися шляхом реалізації принципу ешелонування захисту, який базується на використанні бар'єрів, які послідовно включаються в роботу, функціонують незалежно один від одного та виконують наступні функції:

- перешкоджають виникненню перевантажень, збоїв і аварійних ситуацій;
- забезпечують сприйняття аварійних перевантажень і гарантують неруйнівність, а також функціонування (можливо з погіршенням параметрів якості або після ремонту) основної частини об'єкта;
- запобігають лавиноподібному розвитку руйнувань і відмов, а також локалізують наслідки аварії, що вже сталася.

Повинні бути передбачені технічні рішення та організаційні заходи для створення і забезпечення ефективності бар'єрів безпеки щодо:

- вибору майданчика для розміщення об'єкта;
- встановлення санітарно-захисної зони і зони спостереження навколо об'єкта, забезпечення протипожежних розривів тощо;
- розроблення проєкту на підставі уточнених даних про можливість виникнення і характер проявлення катастрофічних впливів;
- використання спеціальних систем безпеки;
- забезпечення потрібної якості матеріалів, конструкцій, виробів і якості проведення робіт шляхом організації вхідного, поопераційного і приймального контролю;
- експлуатація об'єкта у відповідності з експлуатаційною документацією, яка спеціально розробляється у складі проєкту;
- підтримання у належному стані важливих для безпеки об'єкта елементів, пристроїв і систем шляхом проведення необхідних профілактичних робіт;
- своєчасне діагностування, оцінювання технічного стану і вжиття необхідних заходів щодо усунення виявлених дефектів і пошкоджень;

- заходи із запобігання можливим причинам аварій, а при виникненні аварій – локалізації шкідливих наслідків;
- підготовка і реалізація (за необхідності) планів аварійних заходів на об'єкті і за його межами, в тому числі і за участю населення;
- забезпечення необхідного рівня підготовки персоналу.

Доцільність технічних і організаційних рішень повинна бути спеціально обґрунтована або підтверджена досвідом будівництва та експлуатації аналогічних об'єктів.

Нормативні, організаційно-розпорядчі та інструктивні документи повинні бути сформульовані так, щоб усі особи, які беруть участь у роботах, що впливають на безпеку, знали про характер і ступінь впливу їх діяльності на безпеку та усвідомлювали наслідки, до яких може призвести недотримання або нечітке виконання вимог, зазначених у цих документах.

У проєкті та в складі експлуатаційної документації, яка передається замовнику, повинен бути передбачений спеціальний розділ, у якому розглядаються заходи безпеки і міститься перелік:

- прийнятих технічних рішень і необхідних заходів, спрямованих на виявлення аварійних ситуацій, запобігання аваріям і гарантування безпеки;
- можливих заходів щодо управління аварією і запобігання її лавиноподібного розвитку;
- заходів, спрямованих на зменшення небезпечних наслідків для персоналу, населення і довкілля.

Аварії, для яких проєктом передбачено спеціальні засоби активного управління і захисту, називаються *проєктними аваріями* (ПА), їх перелік і основні параметри (пожежне навантаження, сила вибуху, рівень затоплення при повені тощо) визначаються спеціальними нормами на основі зіставлення можливих соціальних втрат і матеріальних збитків із необхідними для їх запобігання засобами.

Окрім параметрів ПА, для конкретного об'єкта слід встановити параметри максимально можливої в умовах існування об'єкта природної та (або) техногенної катастрофи (ММК). Методи визначення ММК та її параметрів також встановлюються спеціальними нормами.

Допускається приймати параметри ММК, виходячи з імовірності їх виникнення у 100 разів меншої ніж прийнята ймовірність виникнення ПА.

При розробленні спеціальних норм і визначенні параметрів ПА і ММК слід розглядати явища, які можуть бути викликані наступними вихідними подіями:

- катастрофічними перевищеннями інтенсивності природних впливів рівня, встановленого чинними нормами для району будівництва;
- техногенними катастрофами (аваріями транспортних засобів, вибухами, пожежами, витіканням розплавленого металу тощо), які відбуваються в межах об'єкта або в його найближчому оточенні;
- грубими помилками персоналу на стадіях проектування, зведення або експлуатації об'єкта;
- серйозним браком або різкою невідповідністю характеристик будівельних матеріалів і виробів, елементів устаткування вимогам нормативно-технічної документації.

При розгляді і класифікації зазначених у п. 4.5.7 ДБН В.1.2-14:2018 причин ПА і ММК необхідно враховувати також вплив вторинних факторів (вибухів, виникнення пожеж, руйнувань захисних перешкод, ударів від падіння елементів тощо), причиною яких була первісна аварія. Рекомендується розробляти і аналізувати сценарії розвитку аварій.

Лекція 7

Стандартні та фактичні показники безпеки об'єкту

Закон розподілення ризику аварії. Стандартні значення ризику аварії. Стандартні рівні надійності груп несучих конструкцій. Кваліметрія та логіка при розрахунку ризику аварії. Правила призначення рівня надійності конструкції. Методика розрахунку фактичного ризику аварії об'єкту. Теорія та методи розрахунку показників ресурсу об'єкту

7.1. Закон розподілення ризику аварії. Стандартні значення ризику аварії

Однією з важливих ланок діяльності будь-якого підприємства є аналіз та оцінка ризику виникнення аварій та аварійних ситуацій. Тому для будь-якого підприємства розробляється система управління безпекою функціонування виробництва, яка базується на визначенні ступеню ризику з подальшою розробкою заходів безпеки, що впроваджуються на виробництві.

Техногенні аварії або аварійні ситуації на промислових підприємствах, а саме викиди небезпечних хімічних речовин, вибухи, пожежі тощо є

основними причинами економічних втрат та погіршення безпеки промислового підприємства.

На сьогодні є актуальним питання аналізу та оцінки ризиків виникнення аварій та аварійних ситуацій на промислових підприємствах залежно від специфіки функціонування. Практичне застосування результатів таких досліджень використовують під час розробки документації, яка визначає ступінь небезпеки відповідних об'єктів, прийняття обґрунтованих рішень щодо зниження ризику небезпеки, запобігання аварійним ситуаціям і своєчасного реагування у разі їх виникнення.

В цілому оцінка ризику виникнення аварійних ситуацій на промислових підприємствах містить організацію та виконання таких завдань:

- визначення та обґрунтування мети та завдань аналізу ризику виникнення аварій та/або аварійних ситуацій;
- аналіз специфіки технологічного регламенту підприємства;
- визначення можливих джерел небезпеки;
- визначення усіх подій, що можуть бути причинами виникнення аварій та/або аварійних ситуацій;
- визначення можливих виражальних факторів, що виникають під час аварій та/або аварійних ситуацій;
- оцінка ймовірності виникнення аварій та/або аварійних ситуацій;
- розробка та дослідження можливих сценаріїв розвитку можливих аварій та/або аварійних ситуацій;
- прогнозування ймовірних масштабів і наслідків аварій та/або аварійних ситуацій за різноманітними сценаріями розвитку подій;
- розрахунок ризику аварій та/або аварійних ситуацій та прийняття рішення щодо його прийнятності;
- визначення заходів щодо зменшення ризиків виникнення аварій та/або аварійних ситуацій у випадку перевищення прийнятного рівня;
- розробка звітних документів щодо безпеки підприємства;
- розробка заходів із попередження виникнення аварій та/або аварійних ситуацій на підприємстві.

Основними заходами з безпеки функціонування промислового підприємства слід вважати: адміністративні, організаційні, інженерно-технічні, режимно-обмежувальні, а також ідентифікацію відповідних об'єктів, розробку планів ліквідації аварій та аварійних ситуацій (ПЛАС), управління замінами елементів технологічного обладнання та дотриманням технологічного регламенту підприємства, огляд та аудит функціонування підприємства.

Стосовно аналізу та оцінки ризику виникнення аварійних ситуацій на підприємстві, можна констатувати, що цей етап є надважливою ланкою у системі управління безпекою функціонування виробництва. На ньому здійснюється пошук неврахованих небезпек, визначається ймовірність їх виникнення, оцінюються можливі масштаби і наслідки.

Розрахунки ризику виникнення аварій та/або аварійних ситуацій та його аналіз є підґрунтям для розробки заходів щодо безпеки функціонування підприємства.

Проведений аналіз існуючих методів оцінки ризику виникнення аварій та/або аварійних ситуацій дозволяє зробити висновок, що у різних джерелах термін «*ризик*» тлумачиться по різному.

Термін «*ризик* – ступінь ймовірності певної негативної події, яка може відбутися в певний час або за певних обставин на території об’єкта підвищеної небезпеки та/або за її межами». Це визначення обумовлює імовірнісну оцінку виникнення аварій та/або аварійної ситуації на підприємстві за певний період часу і має вигляд:

$$P(A) = Q(A), \quad (7.1)$$

де: $P(A)$ – ризик події A ; $Q(A)$ – ймовірність виникнення події A .

Аналізуючи таке тлумачення терміну «*ризик*» можна стверджувати, що його кількісна оцінка не передбачає визначення можливих втрат, внаслідок виникнення події A .

Також термін «*ризик*» трактується таким чином: «*ризик аварії* – міра небезпеки, яка характеризує можливість виникнення аварії на небезпечному виробничому об’єкті і тяжкість її наслідків». Тоді для визначення величини ризику (P) використовується вираз:

$$P(A) = Q(A) * \gamma(A), \quad (7.2)$$

де: $P(A)$ – ризик події A ; $Q(A)$ – ймовірність виникнення події A ; $\gamma(A)$ – ймовірнісна величина можливих наслідків події A .

При цьому $Q(A)$ чисельно виражає міру можливості виникнення події A , а ймовірнісна величина можливих її наслідків $\gamma(A)$ залежить не тільки від очікуваних втрат, а й від ступеня стійкості об’єкта, тобто:

$$\gamma(A) = S(A) * Z(A), \quad (7.3)$$

де: $\gamma(A)$ – ймовірнісна величина можливих наслідків події A ; $S(A)$ – ступінь стійкості об’єкта до події A ; $Z(A)$ – умовні втрати від події A .

Таким чином маємо таку модель для визначення ризику:

$$P(A) = Q(A) * S(A) * Z(A), \quad (7.4)$$

де: $P(A)$ – ризик події A ; $Q(A)$ – ймовірність виникнення події A ; $S(A)$ – ступінь стійкості об'єкта до події A ; $Z(A)$ – умовні втрати від події A .

Однак її практичне застосування у конкретному випадку потребує проведення додаткових досліджень, а саме визначення критерію, сутність якого полягає у комплексі небезпек, що можуть відбуватися при певних умовах і бути причинами виникнення аварій та/або аварійних ситуацій на відповідному об'єкті.

У даному випадку ймовірність виникнення комплексу небезпек буде визначатися, як добуток ймовірності сумісних подій, а можливі втрати за результатами ретельних досліджень для обмежених територій.

Для аналізу небезпеки виробничих об'єктів промислового підприємства та оцінки ризику виникнення на них аварій та/або аварійних ситуацій звичайно використовуються, як кількісні, так і якісні методи аналізу. При цьому найпоширенішими методами якісного аналізу є аналіз видів, наслідків і критичності відмов, що є досить ефективним для аналізу небезпеки технологічних регламентів різноманітних підприємств, а також метод видів відмов та їх наслідків.

Для кількісної оцінки ймовірності виникнення аварій та/або аварійних ситуацій на підприємствах використовуються методи, які засновані на моделюванні виникнення випадкових подій і розвитку можливих аварійних ситуацій. Для оцінки втрат, які можуть утворитися внаслідок негативної події використовуються детерміністичні методи.

Комплексне застосування вищенаведених методів дозволяє розраховувати значення ризику виникнення аварій та/або аварійних ситуацій на виробничих об'єктах промислових підприємств з достатньо високим рівнем достовірності.

Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 28.05.2008 року № 493 «Про затвердження критеріїв розподілу суб'єктів господарювання за ступенем ризику від провадження господарської діяльності для безпеки життя і здоров'я населення, навколишнього природного середовища та періодичності здійснення заходів державного нагляду (контролю)», критерії розподілу суб'єктів господарювання за ступенем ризику їх господарської діяльності для безпеки життя і здоров'я населення, навколишнього природного середовища встановлюються з метою **оцінювання ступеня ризику від провадження господарської діяльності**.

Так, суб'єкти господарської діяльності незалежно від форм власності характеризуються високим, середнім та незначним ступенем ризику для безпеки життя і здоров'я населення, а також навколишнього природного середовища.

Критеріями оцінки ступеня ризику є наявність:

- хімічних, біологічних, радіаційних, вибухо-, пожежо- та інших небезпечних речовин і матеріалів;
- загрози від потенційно небезпечних об'єктів, об'єктів підвищеної безпеки;
- загрози від небезпечних гідрологічних та геологічних процесів;
- гідротехнічних споруд, хвостосховищ, шламонакопичувачів, накопичувачів токсичних відходів;
- будівель та споруд, що належать до аварійно небезпечних об'єктів;
- об'єктів інфраструктури життєзабезпечення населення та населених пунктів;
- будівель з покрівлею площею понад 1000 кв. метрів, виготовленою з використанням вантових та арочних конструкцій.

Також критеріями розподілу суб'єктів господарювання за ступенем ризику їх господарської діяльності є чисельність людей, що за прогнозами можуть постійно або тимчасово перебувати на об'єктах та у місцях масового скупчення населення, а також належність підприємств до потенційно небезпечних об'єктів, об'єктів підвищеної безпеки і таких, що мають стратегічне значення для економіки та безпеки держави.

До *суб'єктів господарювання з високим ступенем ризику* належать суб'єкти, у яких на правах власності, володіння чи користування перебувають:

- об'єкти підвищеної безпеки, потенційно небезпечні об'єкти і такі, що мають стратегічне значення для економіки та безпеки держави;
- аварійно-рятувальні служби та формування;
- об'єкти виробництва, зберігання, транспортування, використання, захоронення, знищення та утилізації отруйних речовин, у тому числі продуктів біотехнології та інших біологічних агентів;
- бази, склади, арсенали боєприпасів та військового озброєння;
- об'єкти утилізації боєприпасів, небезпечних речовин та матеріалів;
- радіаційно небезпечні об'єкти (крім атомних електростанцій), підприємства з виготовлення і переробки відпрацьованого ядерного палива, підприємства із захоронення радіоактивних відходів, науково-дослідні та проєктні організації, що працюють з ядерними реакторами;
- шлаконакопичувачі, накопичувачі токсичних відходів та гідротехнічні споруди;
- об'єкти, що підлягають постійному та обов'язковому обслуговуванню державними аварійно-рятувальними службами;

- об'єкти з масовим перебуванням людей, стадіони, ринки, рекреаційні зони, місця відпочинку населення (турбази, водні об'єкти тощо);
- захисні споруди цивільного захисту (цивільної оборони).

До *суб'єктів господарювання з середнім ступенем ризику* належать суб'єкти, у яких на правах власності, володіння чи користування перебувають:

- об'єкти, що за прогнозами можуть опинитися у зоні можливого ураження в разі виникнення надзвичайної ситуації на об'єкті підвищеної небезпеки та потенційно-небезпечному об'єкті;
- об'єкти, розташовані на територіях з небезпечними гідрологічними та геологічними процесами;
- об'єкти, розташовані на територіях, що за прогнозами можуть опинитися у зоні можливого затоплення у разі прориву або руйнування гідроспоруди;
- об'єкти інфраструктури життєзабезпечення населення та населених пунктів;
- будівлі та споруди з покрівлею площею понад 1000 кв. метрів, виготовленою з використанням вантових та арочних конструкцій;
- навчальні та дошкільні заклади, домоуправління, інші суб'єкти господарювання, що згідно з нормативно-правовими актами проводять навчання населення діям у надзвичайній ситуації;
- проєктні та експертні, інші організації, діяльність яких пов'язана із забезпеченням техногенної безпеки у сфері цивільного захисту.

До *суб'єктів господарювання з незначним ступенем ризику* належать суб'єкти, що не віднесені до суб'єктів господарювання з високим та середнім ступенем ризику.

Заходи державного нагляду (контролю) за діяльністю суб'єктів господарювання здійснюються з такою періодичністю:

- з високим ступенем ризику – один раз на рік;
- із середнім ступенем ризику – один раз на три роки;
- з незначним ступенем ризику – один раз на п'ять років.

Розподіл суб'єктів господарювання за ступенем ризику здійснюється територіальними органами Державної інспекції цивільного захисту та техногенної безпеки щороку.

Згідно Закону України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» кожне підприємство повинне здійснювати декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Воно проводиться з метою запобігання надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, а також з метою

забезпечення готовності до локалізації й ліквідації надзвичайних ситуацій техногенно-природного характеру або ж їх наслідків.

Шкода навколишньому середовищу (екологічна) та інші види збитку мають кількісну оцінку, яка виражається у вигляді можливих ризиків нанесеної шкоди. Усі види збитку компенсуються об'єктами господарської діяльності або споживачами їх продукції, з вини яких нанесений збиток. Ці збитки враховують у собівартості та ціні продукції.

Для об'єктів підвищеної небезпеки припустимий (прийнятний) ризик встановлюється з урахуванням масштабів небезпеки, які можуть бути ним створені, та розташуванням в регіоні інших підприємств, що мають об'єкти підвищеної небезпеки, за умови, що сумарний ризик виникнення небажаних наслідків не перевищує встановленого. Встановлені значення, вище яких ризик вважається абсолютно неприйнятним (верхній рівень), і значення, нижче яких ризик вважається абсолютно прийнятним (нижній рівень).

Неприйнятними значеннями ризиків для життя людини, вважають:

$R > 10^{-5}$ – для територіального ризику за межами санітарно-захисної зони підприємства, у складі якого є хоча б один об'єкт підвищеної небезпеки;

$R > 10^{-6}$ – для індивідуального ризику – для людини, що перебуває за межами санітарно-захисної зони підприємства, у складі якого є хоча б один об'єкт підвищеної небезпеки (місті, селищі, селі, на території промислової зони підприємств і організацій);

$R > 10^{-5}$ – для соціального ризику загибелі більш 10 людей за рік, що перебувають за межами санітарно-захисної зони підприємства, у складі якого є хоча б один об'єкт підвищеної небезпеки (місті, селищі, селі, на території підприємств і організацій).

Також, у якості критерію соціального ризику може використовуватися очікувана кількість загиблих з розрахунку на 1000 жителів, на території санітарно-захисної зони, яка перебуває за межами, підприємства (міста, селища, села, на території підприємств і організацій, що перебувають у промисловій зоні).

У всіх випадках ризик виникнення аварій на об'єктах підвищеної небезпеки для населення рекомендується вважати прийнятним при наступних його рівнях:

- територіального ризику $R \leq 10^{-7}$;
- індивідуального ризику $R \leq 10^{-8}$;
- соціального ризику $R \leq 10^{-7}$.

З урахуванням особливостей регіону, місцеві органи виконавчої влади можуть встановлювати інші значення верхнього й нижнього рівнів ризику.

Значення верхнього рівня кожного з перерахованих вище критеріїв прийняттого ризику допускається встановлювати в 100 раз нижче їх аналогів, пов'язаних з небезпеками повсякденного життя і ризиком проживання в регіоні (дорожньо-транспортні пригоди, нещасні випадки в побуті, пожежі, вибухи газу тощо). У всіх випадках припустимий (прийнятний) ризик, який встановлений органами виконавчої влади в регіонах, не повинен перевищувати рівнів, які встановлено методикою визначення ризиків.

Для прийняття рішень про надання дозволу на експлуатацію, будівництво або реконструкцію об'єктів підвищеної небезпеки, може використовуватися кожний з перерахованих вище критеріїв прийняттого ризику (територіальний, індивідуальний або соціальний) або їх сукупність, залежно від специфіки об'єкта.

Таким чином проведення аналізу ризику виникнення аварійних ситуацій на промислових підприємствах, розробка та впровадження заходів щодо їх запобігання потребує значних зусиль і фінансових витрат, що є причиною зменшення прибутковості підприємства на певний проміжок часу, але завчасне вирішення цих питань дозволяє усунути наявні протиріччя і забезпечити ефективне функціонування підприємства та його подальший розвиток.

7.2. Стандартні рівні надійності груп несучих конструкцій

Встановлена надійність має бути забезпечена на всіх етапах життєвого циклу об'єкта, а саме:

- вишукування і проєктування;
- виготовлення, транспортування та зберігання будівельних виробів;
- освоєння будівельного майданчика та зведення об'єкта, приймання об'єкта в експлуатацію;
- використання об'єкта за призначенням протягом розрахункового строку експлуатації, оцінка технічного стану, поточний та капітальний ремонт;
- реконструкція й подальше використання у нових умовах;
- ліквідація об'єкта.

В залежності від етапу життєвого циклу вказівки стосовно надійності об'єкта використовуються для:

- визначення умов проєктного вибору, тобто параметрів майбутнього об'єкта з урахуванням встановлених чи прогнозованих умов його застосування;

- рішення щодо застосування проєкту, матеріалів, виробів, результатів робіт і самого об'єкта;

- встановлення вимог до зміни окремих характеристик об'єкта (його складових частин) або режиму його використання.

Основною вимогою, яка визначає надійність об'єкта, є його відповідність призначенню та здатність зберігати необхідні експлуатаційні якості протягом розрахункового строку експлуатації. До них належать:

- безпека для здоров'я і життя людей, майна та довкілля;

- збереження цілісності об'єкта та його основних частин і виконання інших вимог, які забезпечують можливість використання об'єкта за призначенням і нормального функціонування технологічного процесу, включаючи вимоги до жорсткості будівельних конструкцій і основ, тепло- і звукоізоляційних властивостей огорожень, їх герметичності, акустичних характеристик;

- створення необхідного рівня зручностей і комфорту для користувачів та експлуатаційного персоналу, включаючи вимоги до кліматичного режиму в приміщеннях (повітрообмін, температура, вологість, рівень освітленості), а також доступність для оглядів і ремонтів, можливість заміни і модернізації окремих елементів;

- обмеження ступеня ризику виникнення збитків шляхом виконання вимог до вогнестійкості, безвідмовності роботи захисних пристроїв, надійності систем і мереж життєзабезпечення, живучості будівельних конструкцій;

- забезпечення основних вимог до будівель і споруд щодо механічного опору та стійкості (ДБН В.1.2-6), пожежної безпеки (ДБН В.1.2-7), обмеження загрози здоров'ю або безпеці людей та шкідливого впливу на навколишнє природне середовище (ДБН В.1.2-8), безпеки і доступності у використанні (ДБН В.1.2-9), захисту від шкідливого впливу шуму та вібрації (ДБН В.1.2-10), енергетичної ефективності та збереження тепла (ДБН В.1.2-11).

Цей перелік не є вичерпним і може бути уточненим і розширеним (наприклад, введенням додаткової умови до межі радіаційного фону від застосованих будівельних матеріалів і виробів).

Чисельно надійність характеризується показниками ймовірності безвідмовної роботи, напрацюванням (часом експлуатації) до відмови, середнім строком служби. Відмовою вважається реалізація такого стану об'єкта, його частини або елемента, який призводить до появи значних матеріальних збитків чи соціальних втрат. При цьому розрізняються відмови-

зриви, поява яких одразу ж викликає виникнення збитків (втрат), і відмови-перешкоди, після появи яких починається поступове накопичення збитків.

Вимоги до функціональних характеристик ставляться до об'єкта в цілому. Вимоги до окремих частин і підсистем об'єкта, які забезпечують функціонування об'єкта, повинні встановлюватися і реалізуватися сумісно (наприклад, вимога до температури повітря в приміщенні забезпечується шляхом узгодження параметрів систем опалення і вентиляції з теплоізоляційними властивостями огорожувальних конструкцій).

Будівельні конструкції й основи повинні відповідати таким вимогам:

- сприймати без руйнувань і недопустимих деформацій впливи, що виникають під час їх зведення і протягом встановленого строку експлуатації;

- мати достатню працездатність в умовах нормальної експлуатації протягом усього розрахункового строку експлуатації, а саме: їх експлуатаційні параметри (переміщення, вібрації) із заданою імовірністю не повинні виходити за встановлені нормативною або проектною документацією межі, а їх довговічність повинна бути такою, щоб погіршення властивостей матеріалів і конструкцій внаслідок гниття, корозії, стирання та інших форм фізичного зношування не призводило до недопустимо високої ймовірності відмови;

- мати достатню живучість по відношенню до локальних руйнувань і передбачених нормами аварійних впливів (пожеж, вибухів, наїздів транспортних засобів), виключаючи при цьому явища непропорційного руйнування, коли загальні пошкодження виявляються значно більшими, ніж первісне збурення, що їх викликало.

Надійність, у тому числі довговічність і живучість, забезпечуються одночасним виконанням вимог, які висуваються до вибору матеріалів, конструктивних і об'ємно-планувальних рішень, до методів розрахунку, проектування та контролю якості робіт при виготовленні конструкцій та їх зведенні, а також дотриманням правил технічної експлуатації.

Розрахунок конструкцій повинен якомога достовірніше відображати дійсні умови роботи об'єкта і його напружено-деформований стан шляхом врахування відповідних розрахункових ситуацій (розділ 6.3 ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів»). Розрахунок виконується на основі розрахункової моделі, яка повинна враховувати чинники, що мають істотний вплив на напружений і деформований стан конструкцій. При формуванні розрахункової моделі, як правило, доцільно врахувати нелінійні ефекти (геометричну і фізичну нелінійність елементів і системи в цілому, вплив деформацій конструкцій на зміну значень діючих на неї навантажень).

Вимоги і рекомендації щодо вибору розрахункових моделей встановлюються в нормах проектування та в нормах, що регламентують навантаження і впливи. Будівельними нормами можуть бути визначені також можливі конструктивні рішення, які забезпечують реалізацію визначених розрахункових передумов.

Конструкції, для яких нормами проектування не встановлюються обов'язкові вимоги щодо використання нелінійних розрахункових моделей, розраховуються в припущенні лінійної залежності навантажувальних ефектів від параметрів, пропорційно яким змінюється величина навантаження. При цьому перевірка несучої здатності поперечних перерізів елементів може виконуватися з урахуванням нелінійних властивостей матеріалу.

Розрахунки можуть виконуватися на основі експериментальних даних. При цьому умови експерименту повинні відповідати умовам роботи конструкції, а умови, що неможливо змодельовати, повинні враховуватися за допомогою додаткових коефіцієнтів надійності.

Для об'єктів класу наслідків (відповідальності) СС3 слід виконувати розрахунки несучих конструкцій двічі – з застосуванням різних розрахункових схем і різних комп'ютерних програм. Розбіг результатів таких розрахунків за основними факторами (зусилля в елементах категорії відповідальності А, періоди власних коливань за першими трьома формами, коефіцієнти запасу стійкості) не повинні перевищувати 10 %.

При проектуванні будівель і споруд класу наслідків (відповідальності) СС3 та СС2 на територіях з особливими умовами та ґрунтами з особливими властивостями в їх основі слід дотримуватися положень ДБН А.2.1-1, ДБН В.1.1-12, ДБН В.1.1-24, ДБН В.1.1-25, ДБН В.1.1-45, ДБН В.1.1-46, ДБН В.1.2-6, ДБН В.1.2-12, ДБН В.2.1-10, ДБН В.2.2-15, ДБН В.2.2-24, ДБН В.2.4-3, ДСТУ-Н Б В.1.1-39, ДСТУ-Н Б В.1.1-40, ДСТУ-Н Б В.1.1-41, ДСТУ-Н Б В.1.1-42, ДСТУ-Н Б В.1.1-44 та виконувати детальний розрахунок за просторовою моделлю та науковий супровід згідно з ДБН В.1.2-5-2007.

При виконанні перевірочних розрахунків при реконструкції і капітальному ремонті існуючої конструкції використовують:

- геометричні характеристики, що визначають розміри, форму і розташування конструкцій та їх елементів, отримують за результатами безпосередніх вимірювань;
- навантаження і впливи, які визначаються з урахуванням дійсних значень ваги конструкцій, ваги і фактичного розташування устаткування, а також фізичних заходів з обмеження навантажень;

- якщо розрахункові значення навантажень визначаються з урахуванням розрахункового строку експлуатації, то для підрахунку навантаження використовується той самий строк;
- характеристики міцності та деформативності матеріалів можуть уточнюватися на основі результатів випробувань зразків, взятих з існуючих конструкцій.

7.3. Кваліметрія та логіка при розрахунку ризику аварії. Правила призначення рівня надійності конструкції

Кваліметрія – наукова дисципліна, предметом якої є кількісні методи оцінки [якості продукції](#). Термін запропонований групою радянських учених в 1968 році.

Термін кваліметрія вперше з'явився в січневому номері журналу [«Стандарты и качество»](#) за 1968 рік. Група науковців запропонували єдину методику кількісної оцінки якості абсолютно різних об'єктів, зокрема природних і техногенних речей або процесів, продуктів праці тощо. Крім того, вони показали необхідність теоретичного узагальнення способів кількісної оцінки якості в рамках самостійної наукової дисципліни.

Своєчасність пропозиції була підтверджена серією міжнародних наукових конференцій, повністю або частково присвячених питанням кваліметрії. Термін поступово був прийнятий в науковий та інженерний обіг багатьох країн. У [СРСР](#) через 11 років він став частиною Державного стандарту.

Необхідно згадати, що дана галузь знання знаходиться в процесі становлення. Особливість кваліметрії в тому, що вона знаходиться на стику [стандартизації](#), [метрології](#), [економіки](#), організації виробництва, [права](#), [психології](#). В її апарат включається група математичних теорій. Відповідно, критичній оцінці піддається факт самостійності даного наукового напрямку, а також [науковості](#) та обґрунтованості отримуваних оцінок.

Назва дисципліни вибиралася з інтуїтивного розуміння його сенсу носіями різних мов. Перша частина – корінь «квалі», відповідає поняттю «якість». Друга частина – корінь «метр», що означає «вимірювання», давно є загальноживаним в міжнародному науковому лексиконі.

Термін кваліметрія зручний, оскільки лаконічний і достатньо точно передає зміст поняття **«вимірювання якості»**. Його складові частини зрозумілі людям, що говорять на різних мовах. Крім того, характер терміну дозволяє легко утворювати будь-які потрібні похідні слова: наприклад, учений або дослідник, що займається кваліметрією, – кваліметролог; підхід

до вивчення якогось об'єкту, з погляду вимірювання або оцінки його якості – кваліметричний підхід тощо.

Об'єктом оцінювання за допомогою методологічного апарату кваліметрії може бути будь-який предмет, процес, а також одушевлена особа. Оцінювання проводиться, як правило, для ранжирування об'єктів за деякою шкалою, виходячи з певних критеріїв. Наприклад, можна отримати комплексну оцінку декількох варіантів інвестування у промислові об'єкти, враховуючи сучасність устаткування, наявність транспортної інфраструктури, затребуваність продукції, фінансове положення. Але найчастіше кваліметрію використовують для отримання порівняльних оцінок споживчої якості будь-яких товарів. Як приклад можна привести хлібобулочні вироби, комп'ютери, будівельні споруди (космодром, баня тощо).

Основним завданням кваліметрії є розробка методик оцінки якості конкретного об'єкта або процесу числом, що характеризує ступінь їх відповідності вимогам, які пред'являються. При цьому, якість трактується як деяка сукупність окремих корисних властивостей. Зазвичай, ці властивості підрозділяються по ієрархічних рівнях залежно від ступеня їх спільності. Наприклад, якість будинку на верхньому рівні характеризується функціональністю і естетичністю. На нижчому рівні функціональність підрозділяється на властивості зручності і надійності. Далі характеристика зручності розглядається як сукупність конкретніших, безпосередньо вимірних властивостей, таких як площа приміщень, шумо- і теплоізоляція тощо.

До основних завдань кваліметрії відносять, в першу чергу, планування випуску нових виробів, дослідження ринку і забезпечення конкурентоспроможності на внутрішньому і зовнішньому ринках. Їх рішення знаходять своє віддзеркалення в існуючій спеціальній літературі.

У практичному використанні кваліметрії слід уникати деяких типових помилок. Мається на увазі застосування інструментарію кваліметрії, кількісного оцінювання якості, що не базується на науково обґрунтованій методології. Тобто мова йде про суб'єктивні помилки аналітиків, які допускаються умисно або ненавмисно. Наприклад, під сумнів ряду експертів беруться кваліметричні оцінки, що публікуються в журналі «Test». Ці оцінки отримують за допомогою німецької системи «Warentest». Слід зазначити, що кваліметрія відноситься до списку тих галузей знання, які з'явилися в СРСР і далі були перейняті Заходом.

Сьогодні за допомогою апарату кваліметрії почали оцінювати якість праці, якість працівника, якість освіти тощо. Можна вважати, що кваліметрія

перетворюється в загальну науку про вимірювання, оцінку об'єктів різної природи – матеріального та нематеріального продукту, явища, процесу.

Кваліметрія передбачає структурування об'єкта вивчення (об'єкт у цілому – перший рівень спільності), поділ його на складові частини (другий рівень), які у свою чергу поділяються на частини (третій рівень) тощо. При цьому виходить ієрархічна система, що зазвичай відображається схемою чи таблицею. Далі виконується оцінка експертами або іншим шляхом («вимірювання») кожної складової та встановлення її вагомості (важливості) й, нарешті, поєднання цих оцінок за певними правилами в загальну оцінку об'єкта.

На основі положень кваліметрії в нашій країні розроблена «Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки».

Методика визначає порядок проведення аналізу небезпеки та оцінки ризику об'єктів підвищеної небезпеки, установлює методичні принципи, терміни і поняття аналізу ризику, визначає критерії прийнятних ризиків та їх рівні.

Методика призначена:

- для розробки декларації безпеки об'єктів підвищеної небезпеки;
- для прийняття рішень щодо розташування та експлуатації об'єктів підвищеної небезпеки;
- для розробки заходів щодо запобігання аварій та підготовки до реагування на них;
- для визначення обсягу відповідальності та страхових тарифів при страхуванні цивільної відповідальності суб'єктів господарської діяльності за шкоду, що може бути заподіяна аваріями на об'єктах підвищеної небезпеки відповідно до вимог Закону України "Про об'єкти підвищеної небезпеки" та Закону України «Про страхування».

Аналіз небезпеки й оцінка ризику виконуються в повному обсязі, передбаченому цією Методикою, для об'єктів підвищеної небезпеки першого класу. Для об'єктів підвищеної небезпеки другого класу визначаються тільки масштаби небезпеки відповідно до вимог п. 17 цієї Методики.

Методика може застосовуватися також для оцінки рівня ризику та експертизи рішень з безпеки потенційно небезпечних об'єктів, у тому числі під час:

- розробки нових технологій та конструювання обладнання;
- проектування та розташування нових виробництв;
- реконструкції діючих виробництв;

- експертизи діючих виробництв і тих, що реконструюються та проєктуються;
- розробки планів локалізації та ліквідації аварій;
- організації страхового захисту майна підприємств;
- розгляду конфліктів між суб'єктом господарської діяльності, що експлуатує чи планує експлуатацію потенційно небезпечного об'єкту, та будь-якими зацікавленими сторонами, для яких аварії на об'єктах підвищеної небезпеки можуть мати негативні наслідки.

Методика призначена для фахівців у галузі промислової безпеки та охорони праці, керівників і фахівців підприємств, а також для фахівців органів виконавчої влади, що регулюють відносини в сфері діяльності об'єктів підвищеної небезпеки, відповідно до вимог Закону України "Про об'єкти підвищеної небезпеки". Методика є основою для розробки відомчих або галузевих керівних документів з проведення аналізу ризику об'єктів підвищеної небезпеки відповідно до їх специфіки.

Результати аналізу ризику наводяться у декларації безпеки згідно з вимогами Порядку декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки.

7.4. Методика розрахунку фактичного ризику аварії об'єкту. Теорія та методи розрахунку показників ресурсу об'єкту

Підхід, при якому прийняття конкретного рішення базується на оцінці ризику називають ***ризико-орієнтованим (РОП)***. Концепція РОП деякою мірою протилежна тому підходу, при якому необхідність і можливість досягнення кращого результату диктується жорсткою системою нормативів, правил, стандартів. Для того щоб надати перевагу конкретним заходам та засобам або певному їх комплексу, порівнюють витрати на ці заходи та засоби і рівень зменшення шкоди, який очікується в результаті їх запровадження.

Основними складовими РОП є процедури оцінки ризику та управління ризиком. ***Оцінка ризику*** – аналіз виникнення та масштабів ризику в конкретній ситуації. ***Управління ризиком*** – аналіз ризикованої ситуації та розробка заходів, спрямованих на мінімізацію ризику.

Мета оцінки ризику — виявлення небезпек, одержання й узагальнення якісної та кількісної інформації про рівень і наслідки впливу шкідливих і небезпечних факторів на об'єкти та визначення ймовірних наслідків з метою попередження розвитку несприятливих ефектів і обґрунтування управлінських рішень для зниження рівня ризику.

Процедура оцінки ризику здійснюється в три етапи, це:

- ідентифікація небезпек;
- оцінка ризику впливу;
- характеристика ризику.

Ідентифікація небезпек - це початковий етап процедури оцінки ризику, який визначає, чи здатний фактор небезпеки викликати несприятливі ефекти або наслідки для об'єктів, на які він впливає. Головним завданням цього етапу є виявлення найбільш нестійких об'єктів, а також пріоритетних шкідливих і небезпечних факторів, які необхідні для визначення характеристики рівня ризику та джерел його виникнення.

На другому етапі процедури оцінки ризику – тобто при **оцінці ризику впливу** – встановлюються причинні зв'язки між впливом потенційно-небезпечного фактору та розвитком несприятливих наслідків на об'єкті.

Для оцінки ризику переважно використовують наступні методологічні підходи:

- **статистичний** (метод базується на аналізі коливань досліджуваного показника за певний відрізок часу. Вважають, що закономірність змін аналізованої величини поширюється на майбутнє. Метод є достатньо ефективним для тривалих періодів часу);

- **інженерний** (метод базується на використанні теорії ймовірності, статистичних методів, розрахунку частоти тощо);

- **модельний** (метод ґрунтується на побудові моделей передумов подій в системі з урахуванням впливу шкідливих факторів на окрему людину, соціальні, професійні групи тощо);

- **експертний** (оцінка ризику фахівцями-експертами, відноситься до суб'єктивних методів визначення рівня безпеки);

- **соціологічний** (метод заснований на системі методологічних, методичних та організаційно-технічних заходів, пов'язаних між собою єдиною метою отримання достовірних даних про явище або процес, які вивчаються, для їх наступного використання щодо зменшення небезпеки життю людини. В рамках соціологічного методу здійснюють опитування працівників та населення);

- **нормативний** (систему нормативів можна розглядати як один із варіантів рейтингового методу з тією різницею, що шкала оцінки заздалегідь сформована і складається з мінімуму значень ранжирування. Нормативний метод оцінки дає змогу визначити ступінь ризику з максимальною точністю, але не дає можливості врахування деталей та обставин конкретної ситуації);

- **аналоговий** (використання та порівняння небезпек і факторів ризику, які відбувалися в подібних умовах та ситуаціях);

- **комбінований** (базується на використанні декількох методів).

Для оцінки ризику впливу також достатньо широко використовують логіко-графічний метод (метод «**дерева відмов**»), метод аналогій та ймовірно-статистичний метод.

Логіко-графічний метод полягає в аналізі «**дерева відмов**». При аналізі «**дерева відмов**» виявляються комбінації відмов (несправностей) устаткування, помилок персоналу та зовнішніх (техногенних, природних) впливів, які приводять до основної події (аварійної ситуації, нещасного випадку). Метод використовується для аналізу можливих причин виникнення аварійної ситуації й визначення її частоти (на основі значення частоти вихідних подій). Метод «**дерева відмов**», як правило, застосовується для аналізу або модернізації складних технічних систем і виробництв.

Метод **аналогій** полягає в порівнянні якої-небудь ризикованої ситуації з аналогічною, що відбувся раніше. Таке порівняння дозволяє використовувати більш надійні вихідні дані для оцінки ризику.

Ймовірно-статистичний метод є основним методом для сучасних інфраструктур з оцінки ризику впливу в будь-яких галузях господарського комплексу. Кількісний аналіз ризику в цей час використовується в ядерній і в хімічній галузях США і Європи. Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) розробило рекомендації для визначення безпеки АЕС на основі ймовірнісних моделей.

На третьому етапі – етапі **характеристики ризику**, здійснюється порівняльна оцінка ризиків і аналіз їх розподілу: **територіального, за часом, об'єктам, факторам і наслідкам**.

При виконанні цього етапу проводять узагальнення отриманих даних, розробляють рекомендації, які необхідні для реалізації заходів щодо керування ризиком. На цьому етапі також оцінюють значимість виниклих проблем і порівнюють отримані кількісні характеристики ризику зі значеннями умовно визначеного припустимого (прийнятного) ризику. За результатами проведених досліджень узагальнюється отримана інформація й робляться висновки про рівень фактичного ризику.

Управління ризиком засноване на використанні всіх отриманих висновків при оцінці ризику. При виборі пріоритетів, під час розробки будь-якого проєкту, необхідно ще на першому етапі розробки виробу або системи максимально врахувати елементи, що виключають небезпеку.

Якщо виявлену небезпеку неможливо виключити повністю, необхідно знизити ймовірність ризику до припустимого рівня шляхом вибору відповідного рішення, а саме:

- повною або частковою відмовою від робіт і технологій, що мають високий ступінь небезпеки;
- заміною небезпечних операцій іншими, менш небезпечними;
- удосконаленням технічних систем і об'єктів;
- розробкою й використанням спеціальних засобів захисту;
- заходами організаційно-управлінського характеру, у тому числі контролем рівня безпеки, навчанням людей з питань безпеки, стимулюванням безпечної роботи й поведінки.

При виборі конкретних заходів і засобів або певного їхнього комплексу порівнюють витрати на ці заходи і засоби з рівнем зниження шкоди, який очікують в результаті їх впровадження або отриманої вигоди від зниження ризику. Для підвищення рівня безпеки до технічних, організаційних та адміністративних заходів додаються економічні, наприклад, страхування, грошові компенсації збитку, плата за ризик тощо. Іншим необхідним аспектом встановлення співвідношення витрат з розміром припустимого (прийняттого) ризику є *можливість контролю* або *ліквідації* ризику.

Деякі небезпеки, що мають відносно низький рівень ризику, вважаються неприпустимими, тому що їх досить складно контролювати або ліквідувати. Наприклад, хоча ризик удару блискавкою, імовірність якого 1 на 14 млн., можна вважати відносно низьким, люди рідко перебувають на вулиці під час грози. У цьому випадку, незважаючи на те, що ризик невеликий, необхідність його ліквідації ґрунтується на тому, що ціна повної зневаги такою небезпекою дуже висока (смерть або серйозні фізичні ушкодження), а ціна контролю або ліквідації цього ризику, навпаки, незначна (наприклад, треба просто залишатися в приміщенні). Проте, коли будівельні роботи повинні здійснюватися за графіком, вартість зниження можливості поразки людини блискавкою розглядається з погляду інші перспективи.

Існують небезпеки, які вважаються припустимими, хоча, мають великий потенціал ризику через те, що їх важко або практично неможливо усунути. Наприклад, це дії із запуску космічного човна. З погляду експлуатації всієї системи рівні ризиків, пов'язані із запуском і посадкою човна на кілька порядків вище ризиків польоту на авіалайнері, а ризики польоту на авіалайнері, ризиків пілотування легкого одномоторного літака. Але в цьому випадку такий ризик приймається, тому що, по-перше, його практично неможливо усунути на даному етапі розвитку космонавтики, а по-друге, кожний політ космічного човна відкриває нові перспективи для розвитку багатьох областей науки, техніки, оборони й об'єктів господарської діяльності.

Останньою процедурою системного аналізу ризику є **інформування про ризик**. Відповідна інформація, отримана при оцінці та управлінні ризиком, повинна бути доведена до фахівців, представників засобів масової інформації, зацікавлених груп і осіб. Інформування громадськості та зацікавлених осіб про ризику здійснюється шляхом обговорення проблематики з фахівцями, а також висвітлення в засобах масової інформації, експертиз та заслуховування відповідних звітів на громадських слуханнях.

Лекція 8

Інженерні підходи до теорії безпеки будівельних об'єктів

**Регулювання ризику аварії будівельного об'єкту на стадії проєкту.
Управління ризиком аварії при спорудженні будівельного об'єкту.
Регулювання ризику аварії будівельних об'єктів під час експлуатації та
реконструкції**

8.1. Регулювання ризику аварії будівельного об'єкту на стадії проєкту

На сьогодні в Україні ризики інвестування в будівництво промислових об'єктів і житла характеризуються підвищеною складністю і їх рівень значно вище у порівнянні з інвестиціями в інші сектори економіки. Це ставить проблему управління ризиками на одне з перших місць в бізнесі на ринку будівництва. Незважаючи на важливість проблеми управління ризиками не тільки у галузі нерухомості чи будівництва, на багаторічну історію дослідження ризиків у сучасному вітчизняному та зарубіжному проєктному менеджменті, на сьогодні відсутнє загальноприйняте розуміння суті ризику. Термін «ризик реалізації *інвестиційного будівельного проєкту*», або ризик ІБП, визначається як можливість виникнення в процесі реалізації проєкту несприятливих ситуацій та наслідків. Будівництво об'єктів нерухомості, зокрема у галузі житлового будівництва, на жаль має досить низький відсоток вдалих реалізацій подібних проєктів в Україні через ризики, які реалізуються на певному етапі життєвого циклу проєкту. У системі управління ризиками у будівництві поки що відсутні загальноприйняті методи оцінки ризиків, послідовність в роботі з ризиками, універсальна дієва методика управління ризиками, що в купі із значною актуальністю теми управління ризиками, становить значну наукову проблему у сфері управління проєктами.

Як було відмічено раніше, термін «*управління ризиком*» вперше з'явився в США на початку 60-тих років минулого століття. Сутність системи управління ризиками полягає у завчасно спланованих заходах, спрямованих на виявлення імовірних несприятливих ситуацій і зниження міри їх можливого впливу на проєкт до прийняттого рівня. При цьому управління ризиками включає такі цілеспрямовані дії: *планування, ідентифікацію, оцінку, обробку, контроль та документування ризиків*. На початку треба з'ясувати – хто та на якому етапі життєвого циклу проєкту будівництва, займається менеджментом ризиків. У сучасному українському будівництві частина проєктів складна та заплутана. Введення нових механізмів фінансування будівництва, на жаль, її не спростило. Фінансові кредитні механізми стали своєрідним ланцюгом, що з'єднує кінцевого споживача житла як постачальника коштів на будівництво, із будівельниками. При цьому у всіх трьох сторін є власні інтереси в управлінні ризиками та повноваження цим питанням займатись. Спрощена схема взаємодії учасників проєкту будівництва житла з фінансуванням через *фонд фінансування будівництва (ФФБ)* наведена на рис. 8.1. Зазвичай замовник та генпідрядна будівельна організація, або забудовник, є однією організацією. Інколи до її

складу входить також і проєктна організація, що розробляє проєктно-кошторисну документацію для будівництва. А в деяких випадках управління побудованою нерухомістю також здійснює відповідний підрозділ тієї ж організації. Саме замовник (забудовник) і здійснює управління проєктом та власне, управління ризиками. Однак межа інтересів забудовників завершується на етапі здачі об'єкта будівництва в експлуатацію, саме цей період розглядається як проєкт, а далі здійснюється операційна діяльність. Інвестори житла в цьому процесі участі не беруть й управляють власними ризиками самостійно, виходячи з наявної у них інформації про фінансову установу та забудовників. Якщо розглянути життєвий цикл житлового будинку як продукт з прив'язкою у часі, то згідно чинних норм України (ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»), нормативний термін експлуатації житлових будинків становить в межах 100 років. Співвідношення у часі інших етапів життєвого циклу, наведене в середньому для подібних проєктів за даними забудовників, показано на рис. 8.2. Тобто понад 95% тривалості життєвого циклу будинку залишається поза увагою ризик-менеджменту.



Рис. 8.1 – Схема взаємодії учасників проєкту будівництва житла з фінансуванням через ФФБ

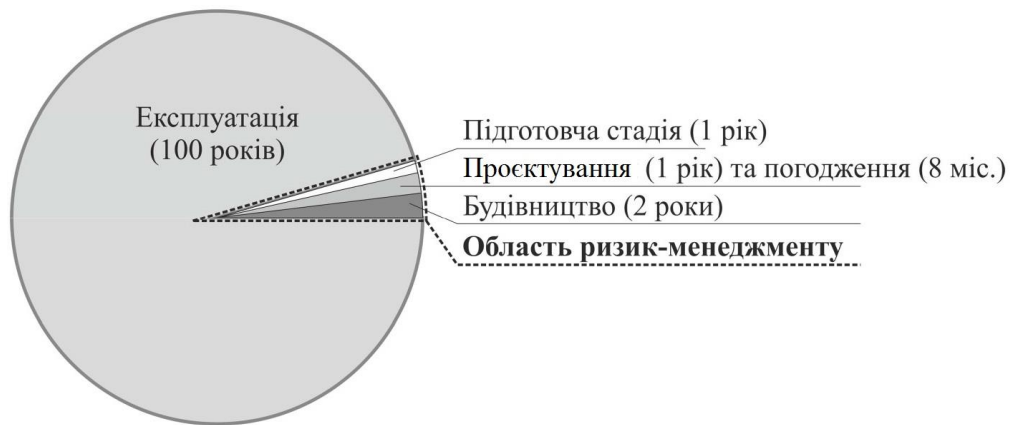


Рис. 8.2 – Співвідношення етапів життєвого циклу будинку у часі

На жаль, це має певні негативні наслідки. Згідно досліджень відкритих матеріалів Союзу інвесторів України, з 56 розглянутих проблемних житлових будівництв Києва та області 13 об'єктів мають проблеми на етапі експлуатації відразу після завершення будівництва, або навіть ще до нього. Експлуатація деяких будинків взагалі неможлива. Все це спричинено помилками проектних рішень та неякісно виконаними роботами.

Треба розглядати методологію управління ризиками детальніше. Як відомо, до складу методології входять *планування, ідентифікація та оцінка ризиків*. *Планування* визначає порядок, послідовність і терміни виконання заходів щодо управління ризиками. При цьому йдеться про передбачувані ризики, які можуть бути ідентифіковані та оцінені до початку реалізації проекту. Такі ризики складають план управління ризиками, який містить перелік ідентифікованих ризиків проекту, їх оцінку, та стратегію щодо способу обробки. Додатково вказуються ідентифікатори ризику, відповідальні за контроль особи тощо. Якщо розглядати методи *ідентифікації* ризиків, виявляється безліч підходів лише до класифікації ризиків. Відповідно до поширеного в зарубіжних країнах підходу Construction Risk Management System (CRMS), запропонованого американськими аналітиками, процес ідентифікації ризиків складається з наступних етапів:

- виявлення невизначеностей;
- складання попереднього контрольного списку;
- сценарії наслідків;
- відображення ризиків;
- систематизований перелік ризиків;
- сумарний ризик.

Можна виділити три важливі групи ризиків у будівництві – погодні умови, продуктивність праці і механізмів, якість матеріалів. Причому важливість визначається тим, що ці сфери складно підлягають контролю

після здачі відповідного етапу робіт. У зв'язку з цим позначаються такі види ризиків:

- зміни проєкту і вимог до нього;
- помилки і пропуски в дизайні;
- недостатньо чітко визначення ролей і обов'язків учасників;
- недостатньо кваліфікований персонал;
- форс-мажорні ситуації;
- нові технології.

Поділяють ризик за стадіями прояву на передопераційний і операційний. **Передопераційний** ризик ІБП передбачає розділення обов'язків і прав між засновниками і директорами, термінів будівництва, перевищення ліміту кошторисної вартості і ризику невчасного виконання зобов'язань інвесторами проєкту. В нормативних джерелах окремих країн надається огляд ризиків проєктів із будівництва, які мають найбільше значення для кредиторів:

- юридичний ризик – ризик виникнення претензій на об'єкт нерухомості з боку третіх осіб;
- економічний ризик;
- ризик неефективності проєкту;
- будівельний ризик – ризик виникнення збитку в ході будівництва або реконструкції об'єкта нерухомості.

Вітчизняні науковці у галузі ризиків будівництва класифікують ризики за наступними показниками:

- за рівнем виникнення;
- за рівнем прогнозованості;
- за джерелами фінансування;
- за характером прояву в часі;
- за типами аналізу;
- за змістом;
- за методами мінімізації;
- за суб'єктами впливу;
- за характером та за розмірами втрат.

Слід зазначити, що багато респондентів визначають політичні фактори, бюджетну, фінансову, податкову систему та кон'юнктуру ринку найбільш значущими зовнішніми ризиками проєктів. Серед внутрішніх факторів ризику за оцінками респондентів були визначені:

- сфера фінансів (36%);
- учасники проєкту (32%) і недоліки системи управління проєктом (17%).

Найбільш значущими для малих/середніх проєктів є техніко-виробничі фактори (35%), недоліки системи управління (28%) і фінансові фактори (26%). При оцінці відповідей респондентів про внутрішні фактори ризиків було відзначено деяку розбіжність у відповідях залежно від посадового статусу респондента. Зокрема, респонденти з високим посадовим статусом схильні надавати більше значення факторам управлінським, тоді як респонденти – менеджери операційного рівня – більшою мірою додають значення техніко-виробничим факторам. Визначаючи зовнішні та внутрішні фактори ризику, що мають найбільшу дію на управління проєктами в будівництві, респонденти визначили такими внутрішні ризики як для малих/середніх проєктів (67%), так і для крупних (54%). Іноді виділяють в окрему групу ризику неефективного та помилкового цілевизначення, пов'язані з неправильно обраними цілями проєкту. Якісне цілевизначення системно знижує розпилення ресурсів, консолідує зусилля всіх співробітників підприємства на шляху реалізації місії підприємства. Успішність інвестиційно будівельних проєктів багато в чому залежить від вибору варіантів побудови системи менеджменту, вибору найбільш оптимальних (ефективних) управлінських технологій і методів. Стійкий розвиток житлового будівництва, на їх думку, може бути забезпечений за рахунок «перезавантаження» системи формування дизайну проєктних рішень, направлених на інтереси бенефіціарів-жителів та впровадження «клієнтоцентричної моделі управління комунікаціями проєкту».

Значну увагу необхідно приділяти важливості синергетичних підходів щодо оцінки спільної дії декількох ризикових подій проєкту. Одним із параметрів проєкту є його «хвороби» (ризики, проблеми, зміни), які можуть призводити до певних негативних наслідків у випадку окремого впливу, і до набагато більших неприємностей у випадку спільної дії. Тобто у проєкті може спостерігатися явище синергізму, коли сукупний результат перевищує суму складових факторів.

На етапі ідентифікації ризиків процес носить суб'єктивний характер, базується, головним чином, на власному досвіді дослідників, та дуже важко піддається систематизації. Будь-яка загальноприйнята класифікація та методика не спостерігаються.

Процес ідентифікації ризиків нерозривно пов'язаний з їх оцінкою. Аналіз ризиків може проводитися шляхом оцінки якісних і кількісних параметрів. У процесі якісного аналізу виявляються чинники і види ризиків, а у процесі кількісного аналізу оцінюється величина як окремих ризиків, так і ризиків підприємства в цілому.

В окремих закордонних методичних розробках рекомендується застосовувати два методи оцінки ризиків: **метод визначення імовірності доходів** і **аналіз чутливості**. Суть методу визначення імовірності доходів полягає у такому: прогнозується декілька варіантів реалізації проєкту – **оптимістичний, найбільш імовірний і песимістичний**. Розрахунок трьох прогнозних варіантів дає три фінансові результати реалізації проєкту. Далі необхідно експертам визначити імовірність прояву кожного з цих варіантів і з врахуванням ризику розрахувати фінансовий ефект кожного варіанта. Сума розрахованих таким чином показників – це зважений фінансовий ефект від реалізації проєкту. Негативне значення цього показника говорить про високу міру ризику неефективності проєкту, тобто про недоцільність участі кредитора в реалізації проєкту.

Оцінка ризиків інвестицій за допомогою аналізу чутливості полягає в будівництві інтерактивної математичної моделі грошових потоків за проєктом. Змінюючи значення параметрів (вартість, попит тощо), фахівець, який проводить аналіз, має можливість визначити найбільш важливі змінні, що здійснюють максимальний вплив на результат проєкту.

В будівництві ризик-аналіз доцільно проводити на основі таких методів:

- **метод аналогій**. Інформація, отримана на основі реалізації окремих об'єктів, може бути використана надалі, особливо якщо проєкт є типовим;

- **методи статистичного аналізу** можуть використовуватися за наявності необхідного об'єму інформації разом з іншими методами. Застосовуються для перевірки гіпотез впливу ризиків, що відображають частоту виникнення події і величину отриманого при цьому збитку;

- **аналіз чутливості** дозволяє оцінити вплив різних чинників на ключові показники реалізації проєкту. В ході аналізу чутливості можна оцінити граничні значення чинників ризиків та виявити чинники, що здійснюють максимальний вплив на результати проєкту;

- **експертний метод**, заснований на використанні думок експертів для оцінки параметрів ризиків;

- **метод діаграм** передбачає побудову діаграм, що відображають причинно-наслідкові зв'язки, дозволяючи виявити передумови ризиків;

- **нормативний метод** передбачає зіставлення реальних параметрів ризиків зі встановленими нормативами;

- **аналіз видів, наслідків і критичності відмов** (FMESA) є розширенням методу систематичного аналізу системи для ідентифікації видів потенційних відмов, їх причин і наслідків (FMEA), що включає ранжування складності відмов, визначення їх критичності.

Умови забезпечення безвідмовності будівель і споруд на стадії проєкту визначаються у відповідності з вимогами додатків А і Б ДБН В.1.2-14:2018.

8.2. Управління ризиком аварії при спорудженні будівельного об'єкту

Для сучасного будівельного процесу характерне застосування нових матеріалів, впровадження складної техніки. Як наслідок – суттєво зростає ризик аварій, виходу з ладу машин і механізмів, що збільшує ймовірність істотного матеріального збитку для підрядної будівельної організації і зниження її конкурентоспроможності. Можливі збитки і втрати в ході реалізації проєкту будівництва, наприклад, об'єкта транспортної інфраструктури, можуть вимірюватись сотнями мільйонів гривень.

Одним з інструментів ефективного управління ризиками і компенсації можливих фінансових втрат є страхування будівельних ризиків, що лише починає розвиватись в нашій країні. Результатом співпраці з владою стали оприлюднені 2008 року «Рекомендації зі страхування ризиків у будівництві».

Питання страхування будівельних ризиків з кожним днем набуває все більшої актуальності. У світовій практиці будівельні ризики є різновидом інженерних, або технічних, ризиків. Інженерне страхування включає такі види:

- страхування вибуху котлів – Boiler Explosion (BE) Insurance;
- всі ризики підрядника – Contractor's All Risks(CAR);
- страхування будівельних механізмів та машин – Contractor's Plant and Machinery Insurance (CPM);
- шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин;
- всі ризики монтажу – Erection All Risks (EAR);
- електронне обладнання – Electronic Equipment (EE);
- страхування невід'ємних дефектів – Inherent Defects Insurance (IDI);
- страхування поломок машин – Machinery Breakdown (MB) Insurance;
- страхування відповідальності перед третіми особами – Third Party Liability(TPL).

Нині частково отримали розвиток страхові програми в будівництві CAR, EAR, CPM, TPL.

Ризик у будівництві – можлива подія, поява якої має ймовірний і випадковий характер та зумовлює небажані наслідки для учасників контракту або третіх осіб, страхування ризиків у будівництві – відносини із захисту майнових інтересів учасників будівництва при появі страхових випадків за грошові фонди, які створюються за рахунок страхових платежів.

Зараз в Україні страхування технічних ризиків здебільшого здійснюється як страхування майнових інтересів при виконанні будівельно-монтажних робіт або як страхування відповідальності перед третіми особами. Будівництво – досить специфічна галузь, адже на будівельному майданчику має місце велика кількість специфічних ризиків, характерних для певного будівельного об'єкту, які повністю перерахувати практично неможливо. Через неадекватні технології страхування і формулювання страхового договору нерідко виникають проблеми при врегулюванні збитків (рис. 8.3).

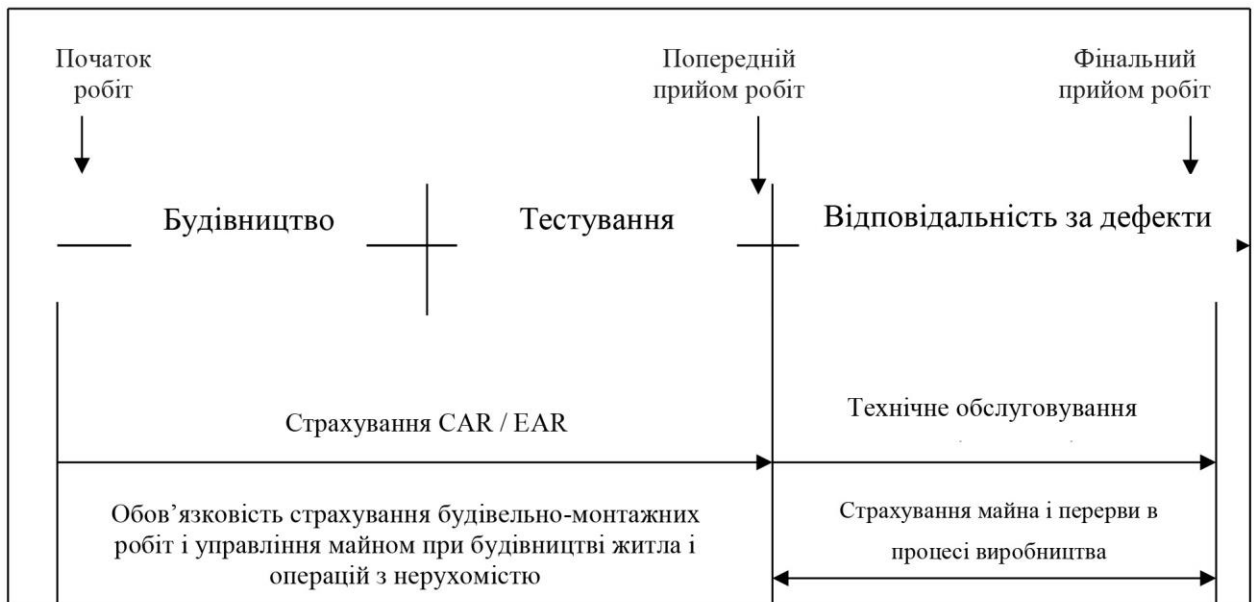


Рис. 8.3 – Страхування етапів будівельних робіт

Тому представники страхового ринку наполягають на більш професійному відношенні до системи страхування будівельних ризиків, пропонуючи потенційним клієнтам варіанти інженерного страхування, частіше за все – CAR, EAR, CPM, TPL Страхування будівельного підприємця від усіх ризиків (страхування CAR) є одним з основних видів страхування технічних ризиків. Страховий поліс CAR покриває всі ризики підрядника або інвестора. Можливе також страхування на період гарантії. Це страхування всіх видів будівельних об'єктів, у рамках якого надається страховий захист як від збитків, завданих будівельному об'єкту, спорудам на будівельному майданчику і будівельним машинам, так і від претензій третіх осіб внаслідок матеріального збитку або тілесного ушкодження, пов'язаного з будівництвом об'єкта. Страхування CAR сприяє зниженню вартості будівництва та надає всім учасникам ефективний захист від фінансових ризиків. Поліс EAR застосовується, якщо монтажні роботи перевищують обсяг будівельних робіт. В основу цього виду страхування покладено ідею забезпечення

страхувальникові необхідного і якомога повнішого страхового покриття всіх ризиків, які виникають при монтажі машин та механізмів, а також при зведенні сталевих конструкцій. Цей вид страхування охоплює ризик зберігання під час монтажу та пробний пуск, котрий здебільшого обмежується чотиритижневим строком. Як правило, в будівництві використовується дороге обладнання, пошкодження якого може принести збитки не лише підряднику, а й спричинити затримку роботи всієї організації. Для вирішення цих проблем розроблено страховий поліс СРМ, призначений для страхування будівельних машин і механізмів, що знаходяться на будівельному майданчику. Насамперед, цей поліс може стати в нагоді будівельним та лізинговим компаніям. Страховий поліс ТРЛ покриває відповідальність підрядника чи інвестора перед третіми особами. Щоправда, страхування за полісом ТРЛ неможливо здійснити окремо від полісів САР і ЕАР. Для обміну досвідом в області страхування технічних ризиків ще в 1968 році була заснована Міжнародна асоціація страховиків машин і устаткування (The International Machinery Insurer's Association — ІМІА). Пізніше вона була перетворена в Міжнародну асоціацію страховиків технічних ризиків. До складу ІМІА входять Національні асоціації страховиків, найбільші страхові і перестраховочні компанії з 20 країн світу, на які доводиться велика частина світового збору премії з технічних ризиків: Австралія, Австрія, Данія, Канада, Фінляндія, Франція, Німеччина, Великобританія, Ізраїль, Італія, Японія, Нідерланди, Росія, ЮАР, Іспанія, Швеція, Тайвань, Туреччина, Швейцарія і США. Щоб оцінити масштаби діяльності цієї організації, досить відзначити, що сумарний об'єм премії по договорах страхування технічних ризиків, яка була зібрана членами ІМІА, на початку століття склав більше 6 млрд. доларів. Росію в цій авторитетній організації представляють лише дві компанії: «Інгосстрах» і «Гефест». Нашу країну поки не представляє ніхто.

На сьогодні частка будівельних ризиків в портфелі – не більш 2% від загального обсягу страхування. Точніше дізнатися про конкретні цифри не виявляється можливим, тому що зазвичай страховики не виділяють в звітності премії за полісами САР/ЕАР в окрему статтю. В світі страхуються практично 100% будівельно-монтажних ризиків. Згідно Закону України від 19.06.03 р. № 948 «Про фінансово кредитні механізми і управління майном при будівництві житла та операціях з нерухомістю», за кожним об'єктом будівництва забудовник або його підрядник в порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України, був зобов'язаний укласти зі страховиком, який визначається управителем та є членом Будівельного страхового пулу, договір обов'язкового страхування будівельно-монтажних робіт на весь час

спорудження об'єкта будівництва – на користь управителя як довірчого власника, та на гарантійний термін від ризиків його пошкодження або знищення внаслідок техногенних аварій та природних явищ – на користь особи, якій буде переданий об'єкт будівництва після введення його в експлуатацію – об'єднанню співвласників, власнику або експлуатуючій організації. Закон про фінансово-кредитні механізми встановлював процедуру страхування ризиків, що виникають у процесі функціонування ФФБ, майнові ризики за договором про участь у ФФБ підлягали обов'язковому страхуванню відповідно до Закону про страхування. Майновими ризиками, пов'язаними з договором про участь у ФФБ, є:

- несвоєчасне введення в експлуатацію об'єкта будівництва та/або об'єкта інвестування;

- невідповідність технічних характеристик об'єкта будівництва та/або об'єкта інвестування, а також обладнання, яке встановлюється на об'єкті інвестування для подальшої передачі у власність довірителя, умовами договору або проектною декларацією, вимогам державних стандартів, норм і правил;

- невиконання, неналежне або несвоєчасне виконання робіт на об'єкті будівництва та/або об'єкті інвестування, передбачених договором про участь у ФФБ;

- відсутність технічної документації (паспортів, сертифікатів, гарантійних документів) на обладнання, яке встановлюється на об'єкті інвестування для подальшої передачі у власність довірителя;

- ненадання управителем довірителю інформації, передбаченої Правилами ФФБ чи договором про участь у ФФБ, що призвело до завдання шкоди довірителю або спричинило виникнення додаткових зобов'язань довірителя перед управителем.

Страхування фінансових ризиків, пов'язаних з ФФБ, близько двох років було обов'язковим. При цьому плату за цю страховку поклали на довірителя (раніше саме на забудовників покладался обов'язок застрахувати свою відповідальність перед довірителями). Виявляється, що потенційний інвестор-довіритель зобов'язаний за свій рахунок застрахувати себе від того, що управитель, забудовник або підрядник належним чином не виконають свої зобов'язання, які передбачені договорами між управителем і довірителем, управителем і забудовником. Серед головних причин, які заважають розвиватися даному виду страхування, є непрозорість фінансування будівництва об'єктів нерухомості, недовіра до страхових компаній, а також відсутність активного попиту з боку забудовників. Крім того, не всі страхові компанії готові брати на себе такі ризики, знаючи, що на

практиці близько 95% будівельних об'єктів здаються несвоєчасно або з якимись порушеннями. Забудовники, зі свого боку, вважають, що страховим компаніям поки економічно не вигідно займатися забудовниками через невеликий об'єм ринку даних послуг. Наприклад, при страхуванні фінансового ризику інвестора його оцінка може обходитися дорожче, ніж платіж за одиничним договором страхування. Ще одне болюче питання – небажання страховиків платити по рахунках, коли будівельним компаніям доводиться вирішувати проблеми виплат по страхових випадках в суді. Враховуючи зростаючу підприємницьку культуру забудовників та норми законів, через кілька років ринок страхування будівельних ризиків отримає певного розвитку за умови забезпечення його відповідною правовою підтримкою.

8.3. Регулювання ризику аварії будівельних об'єктів під час експлуатації та реконструкції

Оцінка ризиків виробляється на основі таких параметрів, як імовірність ризикової події і міра її впливу, вимірювана розміром фінансових втрат.

Система заходів і характер контролю, або обробка ризиків, визначаються залежно від величини фінансових наслідків з врахуванням імовірності їх настання. На жаль, як було вже зазначено, область інтересів сучасних фахівців із ризик-менеджменту, в кращому випадку, охоплює ризики до експлуатаційної фази життєвого циклу проекту, а об'єктом ризику постає або будівельна компанія або замовник будівництва. Тобто мінімізація втрат під час будівництва і є головною задачею ризик-менеджменту. Таку проблему створює сам механізм оцінки ризиків через прогнозування їх впливу на показник прибутковості проекту. Тому після побудови та продажу квартир проект закінчується. А потім усі ризики експлуатації будівлі несе на собі експлуатуюча організація та мешканці житлових будинків. І саме вони дуже часто стикаються з прихованими помилками проекту або будівництва, коли вже майже нічого неможна вдіяти. **(реконструкція та відновлення)**

Крім суто експлуатаційних ризиків є ще такі природні ризики, як сейсмічні явища, техногенні катастрофи, військові дії, з якими, на жаль, стикнулася наша держава останнім часом, та інші негаразди.

Важливий акцент для ризик-менеджменту саме на стадії експлуатації об'єкта ставить впровадження нормативних вимог щодо визначення класу наслідків (відповідальності) об'єктів будівництва згідно з вимогами ДБН В.1.2-14:2018.

Клас наслідків (відповідальності) об'єкта будівництва визначають проєктувальники на початку проєктування незалежно за кожною з наведених у нормативі характеристикою можливих наслідків від відмови об'єкта на стадії експлуатації:

- можлива небезпека для здоров'я і життя людей, які постійно перебувають на об'єкті;
- можлива небезпека для здоров'я і життя людей, які періодично перебувають на об'єкті;
- можлива небезпека для життєдіяльності людей, які перебувають ззовні об'єкта;
- обсяг можливого економічного збитку;
- можливість втрати об'єктів культурної спадщини;
- можливість припинення функціонування об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури.

Для підрахунку можливих матеріальних збитків та (або) соціальних втрат від відмови об'єкта, пов'язаних з припиненням експлуатації або із втратою його цілісності, проєктувальник визначає найбільш імовірні прогнози можливої аварії, що сталася з техногенних або природних причин.

Аналіз розвитку аварійної ситуації рекомендується виконувати на рівні експертних оцінок.

Клас наслідків (відповідальності) та відповідну категорію складності об'єктів будівництва використовують для визначення стадійності розробки проєктної документації для будівництва.

Визначена таким чином категорія складності об'єкта також впливає на процедуру погодження проєктної документації та процедуру здачі об'єкта в експлуатацію – для менш складних об'єктів використовуються простіші декларативні процедури із мінімальним втручанням наглядових і контролюючих органів влади.

Отже, держава законодавчо закріпила необхідність використання інструментів ризик-менеджменту в будівництві та надала стандарт їх застосування. Але зобов'язала займатись ризик-менеджментом чомусь проєктувальників, а не проєктних менеджерів. У будь-якому разі, цей крок спонукає розвиток Українського проєктного менеджменту та, зокрема, ризик-менеджменту у будівництві.

Обробка ризиків включає дії з вибору і здійснення тих або інших заходів з метою зниження до прийняттого рівня масштабу впливу кожного ризику. На сьогодні є чотири основні способи обробки ризиків: прийняття, передача, пом'якшення, ухилення. Вибір способу обробки ризику робиться на основі виконаної якісної та кількісної оцінки ризиків проєкту.

Загальноприйнятий алгоритм обробки ризику залежно від його рівня наведено на рис. 8.4.

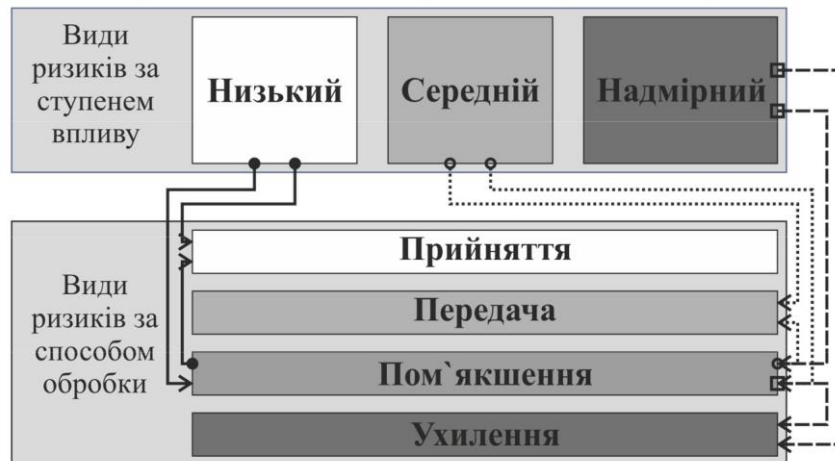


Рис. 8.4 – Схема обробки ризиків за їх ступенем впливу

Прийняття ризику. Прийняття ризику або підтвердження можливості негативної ситуації і свідоме рішення прийняти її наслідки і відшкодувати збиток у повному обсягу за рахунок власних коштів. Однак, це не означає ігнорування ризику. Такі ризики дуже важливо адекватно оцінити та періодично моніторити, аби вони не мали здатності збільшувати масштаби впливу.

Передача ризику. Передача ризику це перенесення відповідальності та збитків ризику на інших учасників проекту без усунення джерела ризику. Найбільш застосованим способом передачі ризику є страхування. Страхування – це передача фінансової відповідальності за ризик у момент виникнення страхової події і зазвичай є зобов'язанням страховика сплатити збиток. На сьогодні широко застосовуються у міжнародній практиці два види страхування, пов'язані з будівництвом об'єктів за кордоном. **Перший** – це страхування будівельного підприємця від усіх ризиків – страхування CAR (Contractor's All Risks).

У процесі будівництва об'єктів страхуванню підлягають:

- будівельний об'єкт – всі роботи, включаючи підготовчі роботи та будівельні матеріали;
- обладнання будівельного майданчика;
- будівельні машини як власні, так і орендовані;
- витрати з розчищення території після страхового випадку;
- цивільна відповідальність страхувальника;
- об'єкти, на яких чи біля яких ведуться роботи;

- об'єкти, довірені застрахованій стороні або перебувають на зберіганні у нього.

Страховання CAR дає дуже широкий захист.

Страховий захист починається в момент початку будівельних робіт або після вивантаження застрахованих об'єктів на будівельному майданчику і закінчується прийманням чи пуском в експлуатацію споруди, а іноді поширюється і на період технічного обслуговування.

Другим видом страхування будівельно-монтажних ризиків є страхування всіх монтажних ризиків – страхування EAR (Engineering All Risk). В основу цього виду страхування покладено ідею забезпечення страхового покриття всіх ризиків, які виникають при монтажі машин, механізмів, а також під час зведення сталевих конструкцій.

Страховальниками за цим видом страхування можуть бути всі сторони, для яких у зв'язку з монтажем об'єктів виникає ризик.

Якщо перейти від світових практик страхування до вітчизняних реалій, то до 2003 року обов'язкове страхування не зачіпало будівництво і інвестиційний процес, тому більшість забудовників і інвесторів взагалі уникали його здійснення, економлячи кошти. До 2004 року в будівельному процесі здійснювалося суто на добровільних засадах і у мінімальних обсягах згідно ст. 6 Закону України «Про страхування». Починаючи з 2008 р. Міністерство регіонального розвитку розробило рекомендації зі страхування ризиків у будівництві, що також має добровільний характер. З ухваленням Закону України «Про іпотеку», Закону України «Про іпотечне кредитування, операції з консолідованим іпотечним боргом та іпотечні сертифікати», Закону України «Про фінансово-кредитні механізми і управління майном в будівництві і операціях з нерухомістю» обов'язкове страхування поступово почало впроваджуватися в будівельний процес. Так, згідно ст. 7 Закону України «Про страхування» в іпотечних стосунках обов'язковим стало страхування:

- предмету іпотеки від ризиків випадкового знищення, випадкового пошкодження або псування;
- фінансових ризиків нездобуття, невчасного здобуття і здобуття не в повному обсязі платежів по договорах про іпотечні кредити і платежів по іпотечних сертифікатах.

Торкнулося обов'язкове страхування управителів і забудовників, які об'єднали свої зусилля щодо залучення коштів у будівництво в рамках фінансово-кредитних механізмів. Перед управителем постає завдання здійснити страхування фінансової відповідальності за збитки, заподіяні під час здійснення управління майном, і страхування від ризиків знищення або

пошкодження нерухомості, придбаної в результаті управління майном (ст. 7 Закону України «Про страхування», ст. ст. 11, 16 Закону України «Про фінансово-кредитні механізми і управління майном в будівництві і операціях з нерухомістю»). Забудовник зобов'язаний забезпечити страхування будівельно-монтажних робіт і страхування своєї відповідальності перед третіми особами згідно ст. 9 Закону про фінансово-кредитні механізми.

Своє тлумачення питання страхування має і Цивільний кодекс України. Згідно ст. 881 ЦКУ Підрядчик зобов'язаний укласти договір страхування об'єкта будівництва або комплексу робіт, якщо інше не встановлене договором будівельного підяду. Сторона, на яку покладається обов'язок відносно страхування, повинна надати іншій стороні у порядку, встановленому договором, докази укладення її договору страхування, включаючи відомості про страхувальника, розміру страхової суми та застрахованих ризиків. Більш того, важливою умовою договору підяду на капітальне будівництво є умова про страхування ризиків згідно ч.5 ст. 318 Цивільного кодексу України.

З наведених норм цивільного і господарського законодавства можна зробити висновок про добровільність страхування ризиків, об'єкта будівництва і будівельних робіт.

Ухилення від ризику. Ухилення – це повне усунення певної загрози або джерела ризику, яке може бути досягнуте шляхом внесення змін до рішень з організації будівництва, в будівельні рішення, в рішення з охорони довкілля і техніки безпеки, тобто усунення джерел недопустимого ризику, замінюючи їх рішеннями з прийнятним ризиком.

Пом'якшення ризику. Пом'якшення – найбільш загальний спосіб обробки ризиків, що передбачає активні дії зі зниження імовірності виникнення негативної ситуації і зменшення можливих втрат у процесі реалізації проєкту. Часові і грошові витрати на пом'якшення ризиків мають бути адекватні мірі впливу ризиків.

Методи зниження ризиків поділяються на такі групи:

- технічні методи, які засновані на впровадженні різних технічних заходів, наприклад, система протипожежного контролю, банківських електронних розрахунків тощо;
- правові методи, такі як застава, неустойка (штраф, пеня), гарантія, завдаток тощо;
- організаційно-економічні методи, які включають комплекс заходів, спрямованих на попередження втрат від ризику у випадках виникнення несприятливих обставин, а також на їх компенсацію у випадках виникнення втрат.

Створення резервів ресурсів на покриття непередбачених витрат дозволяє компенсувати ризик, який виникає в процесі реалізації проєкту і тим самим компенсувати збої у виконанні проєкту.

Окрему увагу слід приділити ризикам фізичних осіб – *інвесторів* будівництва. Кількість об'єктів незавершеного будівництва зростає, особливо в наш час. У 21 регіоні України кількість тимчасово припинених або законсервованих об'єктів перевищувала кількість об'єктів, що будуються.

Більше третини будівель становлять житлові об'єкти.

Найбільша частина добудованого житла припадає на Київ (86,5% загальної кількості житлових будівель у регіоні), а також Тернопільську (82,2%) та Івано-Франківську (80,3%) області. У Житомирській і Кіровоградській областях вона становила лише 2,5 і 3,2% відповідно.

Зараз у інвестора всього один варіант забезпечити себе від шахраїв – скрупульозно вивчати всі дозвільні документи забудовника, дізнаватись про цільове призначення землі, читати інтернет-форуми у пошуках необхідної інформації про репутацію забудовника та фінансову установу.

Держава практично не захищає громадян від недбайливих забудовників. Як зазначають експерти ринку, виправити ситуацію можуть лише зміни в законодавстві, які ввели б жорсткішу відповідальність забудовників і девелоперів.

Ще одним фактором ризику операційної стадії житлового будинку є майнові права інвесторів у побудованому будинку. Майнові конфлікти між інвесторами і забудовниками зазвичай виникають довкола спільної власності: горищ, підвалів, службових квартир, паркінгів, прибудинкових територій. Зовні все виглядає просто.

Багатоквартирний будинок будується за кошти інвесторів, тому вони є його власниками. Стаття 382 Цивільного кодексу закріплює за власниками квартир право власності на інженерні комунікації в будинку, допоміжні приміщення, несучі конструкції, а стаття 331 – право власності на останнє майно, побудоване на їх кошти. В той же час закон передбачає, що реєструвати право власності можна лише на квартири і нежитлові офісні приміщення. Проте на практиці відсутність документів, що встановлюють право, і різне розуміння норм закону призводить до конфліктів між інвесторами і забудовниками відносно горищ, службових квартир і навіть самих будинків. Мова тут йде про те, хто буде платити за утримання та ремонт будинків. Згідно статті 382 ГКУ утримувати і модернізувати будівлі повинні власники квартир: адже після приватизації або покупки квартир вони отримали у власність і частину інших складових будинку. Однак, деякі

будинки з приватизованими квартирами знаходяться в комунальній власності територіальної громади, відповідно – на її утриманні.

Суперечки довкола права власності на допоміжні приміщення доходять до того, що зацікавлені особи намагаються через суд відмінити реєстрацію ОСББ, яке відсудило ці приміщення. У результаті виникає ризик, що будинок буде відключений від інженерних мереж та комунального обслуговування, на які уклало договори це об'єднання. Така ж спірна ситуація із службовим житлом у новобудовах. І всі ці аспекти зараз лишаються поза увагою управління ризиками.

Завершальною фазою є контроль і управління ризиками в процесі виконання проєкту. Періодичність, з якою *ревізується статус* ризиків (ризик ідентифіковано, упереджено, настав тощо), має бути визначена в плані управління ризиками. Важливим елементом системи контролю ризиків є моніторинг статусу ризику. Для кожного ризику слід визначити і документувати події і показники, які можна відстежувати аби зрозуміти, чи вдалося уникнути ризику, або мінімізувати його наслідки. Суттєвим є також контроль заходів щодо управління ризиком до їх повного здійснення.

Документування з системи управління ризиків повинно включати задокументовані показники, що були зібрані і проаналізовані в процесі управління ризиками. Така інформація необхідна як для використання її під час управління ризиками наступних проєктів, так і для аналізу ефективності системи управління ризиками у даному проєкті з метою її вдосконалення в майбутньому.

Таким чином, практика ризик-менеджменту в будівництві є слабкою, малоефективною, недостатньо формалізованою та розвинутою, охоплює лише початкову стадію проєкту. Про це свідчить велика кількість «провальних» проєктів житла.

Основною проблемою проєктів є те, що нормативне регулювання відносин у сфері інвестування в будівництво житлової нерухомості є вкрай неефективним. Тому якісно і повно оцінити ризики інвестування в будівництво майже неможливо через відсутність прозорих механізмів контролю у сфері інвестування та фінансування будівництва.

Забудовники далеко не завжди сприймають приватних інвесторів як партнерів по бізнес-проєкту. Система менеджменту будівництва орієнтована суто на інтереси будівельника, а споживача не бере до уваги. Не додають впевненості інвесторам також використання «тіньових схем» в діяльності будівельних організацій, виконання ремонтно-будівельних робіт некваліфікованими бригадами, свідомі обмани інвесторів рекламними обіцянками зручностей та інфраструктури житла, які не плануються до

реалізації. Звичайно, будь-яка інвестиція – це ризикована діяльність, і інвестор сам повинен нести відповідальність за своє рішення. Але для цього у нього має бути вся необхідна інформація і головне – рівні можливості з його бізнес-партнером – забудовником. Поки що забудовник законодавчо знаходиться в більш вигідних умовах та активно цим користується.

Трохи кращі результати успішності проєктів мають ті організації, що виконують функції замовника, проєктувальника, будівельника та експлуатуючої організації в одній особі. Вони зацікавлені у більш ретельному проєктуванні та будівництві, і у відповідному зниженні власних ризиків на експлуатаційній фазі.

В цьому також дуже зацікавлені самі інвестори – покупці житла. Проблему довгобудів зокрема вони намагаються вирішувати власними силами, об'єднуючись в громадські організації, житлово-будівельні кооперативи задля захисту своїх прав на об'єкти інвестування. У цьому випадку інвестори оформляють земельну ділянку у власність і самі здійснюють управління проєктом та ризиками.

Проте, через недосконалість чинного законодавства та прояви корупції в органах державної влади не завжди можна ефективно захистити свої права, тому і лишається така велика кількість незавершених проєктів.

Система ризик-менеджменту проєктів із житлового будівництва, безумовно, потребує подальшого дослідження та вдосконалення.

Використована література:

1. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2007.
3. ДБН 362-93. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації / Держбуд України.- К.: Укрархбудінформ, 1995.
4. Клименко Є.В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд: Навчальний посібник. / Клименко Є.В. – К.: «Центр навчальної літератури», 2004. – 304 с.
5. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лашенко, В.А. Пашинський, А.В. Перельмутер,
6. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель та споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу.
7. ДБН В.1.2–2:2006. Система забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. – Чинний від 01.10.2007. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2006. – 52 с.
8. ДБН В.1.2–10:2008. Система забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Захист від шуму. – Чинний від 01.10.08. – Київ : Мінрегіон, 2008. – 14 с.
9. ДБН В.1.2-5:2007 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів Науково-технічний супровід будівельних об'єктів».
10. ДСТУ-Н Б А.2.2-11:2014 «Настанова щодо проведення авторського нагляду за будівництвом».
- 11.38. ДСТУ-Н Б В 1.2-16:2013 «Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва».

Рекомендовано кафедрою БУПП протокол № 6 от 27.01.2026 .

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з дисципліни Основи теорії надійності будівель та споруд.
для здобувачів вищої освіти спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія»
(Електронне видання)

Укладач:
Соколенко Валерій Михайлович

Техн. Редактор
Оригінал - макет

В.М. Соколенко
В.М. Соколенко

Підписано до друку _____
Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$. Папір типограф. Гарнітура *Times*.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. ____. Обл.-вид.арк. ____.
Тираж ____ прим. Вид. № _____. Замовл. № _____. Ціна договірна.
Видавництво СНУ ім. Володимира Даля

Адреса видавництва: Україна, 01042, м. Київ, вул. Іоанна Павла II, 17
Телефон: +38 (050) 218 04 78
E-mail: izdat@snu.edu.ua