

# ЛЕКЦІЯ 11

## МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ,ВИРОБІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ

### План

1. Випробування на вогнестійкість
2. Пристрої для встановлення дефектів будівельних конструкцій
3. Досліди навантажень та опору конструкцій
4. Незворотні деформації та зниження міцності конструкцій

### Випробування на вогнестійкість

Потенційна пожежна небезпека будівель та споруд залежить як від кількості та властивостей матеріалів, що знаходяться усередині, так і від горючості та здатності чинити опір дії пожежі будівельних конструкцій, яка характеризується їх вогнестійкістю.

**Ступінь вогнестійкості** – це нормована характеристика вогнестійкості будинків і споруд, що визначається межею вогнестійкості основних будівельних конструкцій.

**Вогнестійкість (вогнетривкість)** – здатність конструкції зберігати несучі та (або) огорожувальні функції в умовах пожежі.

Ступінь вогнестійкості будівель та споруд залежить від меж вогнестійкості будівельних конструкцій та меж поширення вогню по них.

**Межа вогнестійкості конструкцій** – показник вогнестійкості конструкції, який визначається часом від початку вогневого випробування за стандартного температурного режиму до настання одного з нормованих для даної конструкції граничних станів з вогнестійкості.

До граничного стану належать: втрата несучої здатності (R); втрата цілісності (E); втрата теплоізолювальної здатності (I).

**Втрата несучої здатності** визначається заваленням конструкції або виникненням її граничних деформацій.

**Втрата цілісності** – це вид граничного стану конструкції за вогнестійкістю, що характеризується утворенням в конструкціях наскрізних тріщин або наскрізних отворів, через які проникають продукти горіння або полум'я.

**Втрата теплоізолювальної здатності** – вид граничного стану конструкції за вогнестійкістю, що характеризується підвищенням температури на поверхні, що не обігривається, до встановлених граничних значень. Вона визначається підвищенням температури на поверхні конструкції, що не обігривається, в середньому більше ніж на 140 °C або в будь-якій точці цієї поверхні – більше ніж на 180 °C у порівнянні з температурою конструкцій до випробування.

Для колон, балок, ферм, стовпів межа вогнестійкості визначається тільки втратою несучої здатності конструкцій. Для зовнішніх несучих стін та покриттів – втратою несучої здатності та цілісності. Для ненесучих внутрішніх стін та

перегородок – втратою цілісності та теплоізолювальної здатності. Для несучих внутрішніх стін та протипожежних перешкод – всіма трьома граничними станами.

Фактичні межі вогнестійкості визначаються у більшості випадків експериментальним шляхом. Суть методу випробувань конструкцій на вогнестійкість полягає в тому, що зразок конструкції, нагрівають у спеціальній печі та одночасно піддають дії нормативних навантажень. При цьому визначають тривалість часу від початку випробувань до з'явлення одного з граничних станів.

Для випробування будівельних конструкцій на вогнестійкість дані про температури на реальних пожежах були покладені в основу температурних режимів, прийнятих стандартами ряду держав світу. Як результат Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) була рекомендована стандартна температурна крива.

Фактичні температури на пожежах бувають вищі або нижчі вказаних стандартною температурною кривою, яку необхідно розглядати як усереднений температурний режим для співставлення даних про вогнестійкість будівельних конструкцій.

Під час випробувань температура у вогневій камері печі змінюється за часом саме за стандартною температурною кривою. Температуру в печі вимірюють не менше ніж в п'ятьох точках за допомогою термопар. Нагрівання зразків конструкцій виконують згідно з реальними вимогами до роботи конструкцій та можливими напрямками дії вогню при пожежі. Тому при випробуванні колони, як правило, обігрівають з чотирьох боків; балки – з трьох; покриття – з боку нижньої поверхні; стіни, перегородки, двері – з одного боку.

Випробують не менш двох однакових серійно або спеціально виготовлених зразків в спеціальних випробувальних установках.

Межею розповсюдження вогню по будівельних конструкціях визначають розміри пошкодження конструкції у сантиметрах внаслідок її горіння за межами зони нагрівання – у контрольній зоні.

Будівлі та споруди за вогнестійкістю діляться на ступені (ДБН В.1.1-7-2002), які визначаються мінімальними межами вогнестійкості основних будівельних конструкцій та максимальними межами розповсюдження по них вогню.

Ці норми встановлюють пожежно-технічну класифікацію будівельних матеріалів, конструкцій, протипожежних перешкод, зовнішніх пожежних драбин, сходів та сходових кліток, будинків і споруд (надалі – будинків), приміщень, а також загальні вимоги щодо забезпечення безпеки людей у разі виникнення пожежі, пожежної безпеки конструктивних та об'ємно-планувальних рішень, обладнання будинків, приміщень інженерно-технічними засобами захисту від пожежі. Норми поширюються на нове будівництво, розширення, реконструкцію, технічне переоснащення, реставрацію, капітальний ремонт будинків і приміщень різного призначення.

Вимоги щодо забезпечення пожежної безпеки під час експлуатації будинків і приміщень встановлюються відповідними нормативними

документами (НД) системи стандартизації та нормування в будівництві, а також нормативно-правовими актами з питань пожежної безпеки.

Межі вогнестійкості та межі розповсюдження вогню по будівельних конструкціях визначаються на основі випробування зразків у спеціальних печах. Мінімальні межі вогнестійкості та максимальні межі розповсюдження вогню по будівельних конструкціях залежно від ступеня вогнестійкості будівель та споруд приведені у ДБН В 1.1-7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», який передбачає вісім ступенів вогнестійкості – I, II, III, IIIa, IIIб, IV, IVa, V (табл.3.1).

Таблиця 3.1 - Конструктивні характеристики будинків залежно від їх ступеня вогнестійкості

Ступінь вогнестійкості	Конструктивні характеристики
I, II	Будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів
III	Будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами або матеріалами груп горючості Г1, Г2. До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку
IIIa	Будинки переважно з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса – з металевих незахищених конструкцій. Огорожувальні конструкції – з металевих профільованих листів або інших негорючих листових матеріалів з негорючим утеплювачем або утеплювачем груп горючості Г1, Г2
IIIб	Будинки переважно одноповерхові з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса – з деревини, підданої вогнезахисній обробці. Огорожувальні конструкції виконують із застосуванням деревини або матеріалів на її основі. Деревина та інші матеріали груп горючості Г3, Г4 огорожувальних конструкцій мають бути піддані вогнезахисній обробці або захищені від дії вогню та високих температур
IV	Будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з деревини або інших горючих матеріалів, захищених від дії вогню та високих температур штукатуркою або іншими листовими, плитними матеріалами. До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості та межі поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку
IVa	Будинки переважно одноповерхові з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса – з металевих незахищених конструкцій. Огорожувальні конструкції – з металевих профільованих листів або інших негорючих матеріалів з утеплювачем груп горючості Г3, Г4
V	Будинки, до несучих і огорожувальних конструкцій яких не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості та межі поширення вогню

Лати дахів та крокви у будівлях із горищами, перегородки, підлоги, облицювання стін, перегородок та підлоги, а також двері, ворота, рами вікон і ліхтарів у будівлях усіх ступенів вогнестійкості можуть бути виконані з горючих матеріалів. Облицювання горючими матеріалами поверхонь конструкцій у коридорах, сходових клітках, вестибюлях, холах та фойє будівель (за виключенням будівель V ступеня вогнестійкості), а також улаштування в зазначених приміщеннях підлоги із горючих матеріалів не допускається.

Металеві засклені перегородки допускається застосовувати у будівлях усіх ступенів вогнестійкості. Каркаси підвісних стель повинні виконуватися із негорючих матеріалів.

Підвісні стелі (за виключенням улаштованих у загальних коридорах, на сходах сходових кліток, вестибюлях, холах I – IV ступеня вогнестійкості) допускається заповнювати горючими матеріалами.

Протипожежні перешкоди у будівлях та приміщеннях, до яких належать протипожежні стіни, перегородки, перекриття, двері, ворота, люки, тамбури, шлюзи та вікна, повинні виконуватися із негорючих матеріалів.

Заповнення отворів у протипожежних перешкодах, конструкціях огорож шахт та ніш для комунікацій (протипожежні двері, люки та інші пристрої) допускається виконувати із важкогорючих матеріалів. Загальна площа отворів не повинна перевищувати 25% площі протипожежних перешкод. Протипожежні двері та ворота у протипожежних перешкодах повинні матипристосування для самозакриття та ущільнювачі у стулках. Протипожежні вікна не повинні відкриватися.

Усі виробничі приміщення та зовнішні установки (у яких експлуатується електрообладнання) необхідно розташовувати зовні приміщення відкрито або під навісом за сітчастими чи решітчастими огорожами. Згідно «Правил улаштування електроустановок» приміщення діляться за вибухонебезпекою на класи вибухонебезпечних зон. Потрібний клас зони, згідно якого вибирається електрообладнання, визначають технологи спільно із спеціалістами-електриками проектною або експлуатуючою організацією.

### **Досліди навантажень та опору конструкцій**

При розрахунку будь-яких будівельних конструкцій вирішуються три основні задачі: статична, тобто визначають внутрішні зусилля в конструкції; геометрична, тобто встановлюють співвідношення між переміщеннями і деформаціями і, нарешті, фізична, тобто визначають закон, за яким деформації залежать від внутрішніх напружень. Для пружних матеріалів ці закони визначаються простими рівняннями з курсу опору матеріалів. Це статичні умови рівноваги, фізичний закон у вигляді закону Гука і геометричний закон у вигляді гіпотези плоских перерізів. За цими законами можна нескладно

визначити деформації, напруження та прогини в заданій конструкції, виготовленій з пружного матеріалу.

Однак у залізобетонних конструкціях закони для пружних матеріалів не завжди застосовні. Властивості залізобетону і його складових свідчать про те, що цей матеріал далекий від пружного. Розрахунок залізобетонних конструкцій як пружних елементів можливий лише при дуже невеликих навантаженнях. При експлуатаційних навантаженнях ( $0,5 \div 0,6 R_{max}$ ) бетон не підкорюється закону Гука (діаграма  $\sigma - \varepsilon$  має нелінійний характер і залежить від часу); виявляється несправедливою гіпотеза плоских перерізів; з'являються тріщини, бетон втрачає суцільність, класичні методи опору матеріалів виявляються неприйнятними. Тому при розробці методів розрахунку залізобетонних конструкцій широко використовують дослідні дані, отримані в результаті спеціальних експериментів. І майже вся теорія розрахунку залізобетонних конструкцій будується тільки на експериментальній основі з введенням припущень і відомих математичних залежностей.

### **Існуючі методи розрахунку залізобетонних конструкцій.**

До початку застосування залізобетону (кінець ХІХ ст.) інженери мали у своєму розпорядженні найпростіші методи розрахунку будівельних конструкцій з урахуванням пружних властивостей матеріалів. В основу міцнісної характеристики перерізу було покладено значення напруження, що допускається за умови безпечної експлуатації конструкції.

За цим методом розраховувались і залізобетонні конструкції. В основу цього методу прийнята друга стадія напружено-деформованого стану залізобетонного елемента, що згинається, тобто розглядається трикутна епюра стискаючих напружень у стиснутій зоні бетону і використовується закон Гука і гіпотеза плоских перерізів, розтягнута зона бетону в розрахунку не враховується.

Застосування методу розрахунку по напруженнях, що допускаються, мало ряд недоліків, що призводило до неточних чи помилкових результатів. Так, неврахування нелінійних властивостей деформування бетону не дозволяло визначити дійсні напруження в бетоні й арматурі; прийняття трикутної епюри напружень у стиснутій зоні бетону давало занижене значення несучої здатності елементів, що згинаються; напруження, що допускаються, знижували міцнісні характеристики матеріалів. Проте даний метод використовувався довго і проіснував аж до 1938 р., коли на зміну йому прийшов більш прогресивний і теоретично обґрунтований метод розрахунку по руйнівних зусиллях. Хоча окремі елементи і передумови методу розрахунку по напруженнях, що допускаються, використовуються навіть на сучасному етапі розрахунку залізобетонних конструкцій.

У результаті великих експериментальних досліджень, виконаних А.Ф.Лолейтом, Я.В.Столяровим, М.Я.Штаерманом, А.А.Гвоздьовим та

іншими, був розроблений метод, що враховує пружньо-пластичні властивості залізобетону, і був включений у норми проектування в 1938 р. Цей метод звався розрахунком по руйнівних зусиллях. В основу даного методу була покладена вже не друга, а третя стадія напружено-деформованого стану елемента, при цьому епюра напружень у стиснутій зоні приймалася прямокутна, напруження в бетоні й арматурі досягали своїх граничних значень. Метод дозволяв визначати повну величину руйнівного навантаження і призначати загальний для всього перерізу коефіцієнт запасу  $k$ .

Величина навантаження, що допускається, знаходилася шляхом ділення зусилля, що руйнує, на цей коефіцієнт ( $M = Mp/k$ ,  $N = Np/k$ ). Цей метод більш об'єктивно відтворював дійсну роботу перерізів, підтверджувався експериментально і був кроком вперед у теорії розрахунку залізобетонних конструкцій.

До недоліків методу розрахунку по руйнівних зусиллях слід віднести введення єдиного коефіцієнта запасу  $k$ , що не міг враховувати різні особливості роботи як вихідних матеріалів, так і зовнішніх навантажень.

Розрахунки прогинів, утворення і розкриття тріщин як у методі розрахунку по напруженнях, що допускаються, так і в методі розрахунку по руйнівних зусиллях детально не розглядалися і мали наближений характер.

На зміну двом попереднім методам, починаючи з 1955 р., приходять більш сучасний і більш обґрунтований метод розрахунку по граничних станах. Цей метод є фактично розвитком методу по руйнівних зусиллях.

Сутність нового методу полягає в тому, що в ньому чітко встановлюються задані граничні стани конструкцій (чи то за міцністю, чи то за деформативністю, чи то за тріщиноутворенням і т.д.) і вводиться система розрахункових коефіцієнтів (не один, а багато), що гарантують конструкцію від настання цих станів при самих несприятливих сполученнях навантажень і найменших значеннях міцнісних характеристик матеріалів. Іншими словами, які великі не були б навантаження і які б малі не були міцнісні характеристики бетону й арматури, заданий граничний стан не наступить. Міцність перерізів у цьому методі визначається також за третьою стадією, але безпека роботи конструкції під навантаженням оцінюється не одним коефіцієнтом запасу, а цілою системою науково обґрунтованих коефіцієнтів.

Конструкції, запроектовані за методом граничного стану, виходять, як правило, більш економічні, ніж запроектовані з використанням інших методів.

Розглянемо докладно прийнятий в існуючих нормах СНиП 2.01.03-84 метод розрахунку залізобетонних конструкцій за граничними станами [1, 7].

## Незворотні деформації та зниження міцності конструкцій

Механічні властивості матеріалів визначають поведінку конструкцій під дією зовнішніх навантажень. Останні викликають руйнування або деформацію матеріалів. Опір матеріалів механічному руйнуванню характеризується їх властивостями: міцністю, твердістю, стираністю, опором удару, зносом. Здатність матеріалів змінювати під навантаженням форму і розміри характеризується деформаційними властивостями: пружністю, пластичністю, крихкістю і повзучістю. Під дією зовнішніх сил будівельні конструкції зазнають деформацію. Зміна форми і розмірів тіла під дією зовнішніх сил називається деформацією. При цьому тверді тіла по-різному реагують на зняття навантаження, проявляючи властивості пружності або пластичності. Пружність - властивість матеріалу відновлювати свої форму і об'єм після припинення дії зовнішніх сил. Пружну деформацію називають оборотною. Найбільша напруга, при якій діє лише пружна деформація. В цій царині діє закон Гука, тобто деформація пропорційна діючий напрузі.

Пластичність це властивість матеріалів незворотно деформуватись за рахунок зовнішніх сил. Пластична (залишкова) деформація, що не зникає після зняття навантаження, є незворотною. Механічні властивості будівельних матеріалів характеризують діаграмою деформацій в координатах: механічна напруга - відносна деформація. Початкові ділянки діаграми деформування – прямолінійні. Це визначає, що матеріал працює як пружне тіло і його деформація пропорційна напрузі. При підвищенні напруги в сталевому зразку спостерігають пластичні деформації у вигляді горизонтальної площадки стосовно плинності. Проте бетон характеризується руйнуванням при якому пластичні деформації незначні – площадка плинності відсутня.

На характер і величину деформації впливає не тільки величина механічного навантаження, а і швидкість його прикладання, а також температури матеріалу. Звичайно підвищення швидкості навантаження, а відповідно і деформування, разом із зниженням температури матеріалу – деформації наближаються до пружних і пружно-пластичних за характером. Деформації при цьому зменшуються за своєю абсолютною величиною. Якщо пластична деформація повільно зростає в продовж довгого часу під впливом постійних силових чинників, що не здатні викликати залишкову деформацію, її називають деформацією повзучості, а весь процес – повзучістю. Явище повзучості визначається у безупинної зміни розмірів тіла зразка під дією постійних силових впливів (напруги нижче межі міцності), якщо температура буде нижче температури плавлення. Повзучість визначається в одиницях швидкості деформації як відносне змінення розмірів зразка в мм за час в годинах.

Деформаційні властивості будівельних матеріалів обумовлюються

періодом або часом релаксації. Релаксацією називається процес мимовільного падіння внутрішньої напруги в матеріалі, пов'язаної з молекулярним переміщенням, за умови, що початкова величина деформації залишається незмінною, наприклад зафіксованою жорсткими зв'язками. Характер початкової деформації в період релаксації напруги може змінитися, наприклад з пружної перейти в необоротну (пластичну), що пов'язане з Час або період релаксації визначає тривалість релаксаційних процесів, в результаті яких первинна величина напруги при строго зафіксованій деформації знизилася в  $e$  разів ( $e$  - основа натурального логарифма, рівна 2,718...). Ця величина є важливою характеристикою будівельних матеріалів: чим вона менша, тим менш деформаційним є матеріал. Нерідка час релаксації залежить від температури матеріалів у момент випробування і швидкості додатка навантаження, будучи перемінною величиною.

До пружних матеріалів відносяться природні і штучні кам'яні матеріали, скло, сталь; до пластичних - бітуми при позитивних температурах, деякі види пластмас, бетонні і розчини суміші до твердіння. При вельми малій тривалості дії сил в порівнянні з величиною часу релаксації всі матеріали (тіла) поведуться як пружно-крихкі і мають повну оборотність деформацій, якщо, звичайно, напруга не порушує їх сплошності.

*Крихкість* - властивість матеріалу руйнуватися після незначної пластичної деформації. Крихкому матеріалу на відміну від пластичного не можна надати при пресуванні бажану форму, оскільки такий матеріал під навантаженням дробиться на частини, розсипається. Крихкими є природні і штучні камені, скло, чавун і ін. Приблизним значенням міри крихкості служить такий стан матеріалу, коли руйнування відвантаження відбувається без гальмування тріщини, раптово.

Провести чітку межу між пластичними і крихкими тілами неможливо. Навіть у одному і тому ж тілі можна спостерігати або пластичність, або крихкість. На характер деформації впливають різні чинники, такі як температура, тип напруженого стану, швидкість деформації, довкілля і ін. Підвищення температури, як правило, сприяє пластичності, при пониженні температури зростає крихкість. Вплив напруженого стану на характер деформації показують досліди з крихкими матеріалами. Наприклад, мармур при лінійному напруженому стані - крихке тіло, але при деформації в умовах об'ємного напруженого стану він набуває пластичності. У всякому тілі, схильному до дії зовнішніх сил, виникають внутрішні сили. Це відбувається унаслідок деформації твердого тіла: атоми або іони, створюючи кристалічну решітку, зміщуються відносно своїх положень рівноваги, а сили зв'язку між ними протидіють цьому зсуву як внутрішні сили.

*Міцність* - здатність матеріалу чинити опір руйнуванню, а також незворотній зміні форми (пластичній деформації) при дії зовнішніх



навантажень. Мірою міцності матеріалу є межа міцності - найбільша напруга, відповідна наростаючому навантаженню, при якому зразок матеріалу руйнується. Окрім вказаної, типовими характеристиками служать межі пружності і пластичності, відповідні напрузі на діаграмі деформації відповідно для крапок А і Б. Все ці характеристики міцності відносяться до короткочасної дії прикладеного навантаження. При тривалій дії навантаження зростає небезпека порушення структури матеріалу. На практиці руйнування матеріалу починається значно раніше за той момент, коли напруга в нім досягне теоретичного граничного значення. Це пояснюється тим, що в реальних матеріалах багато дефектів самого різного рівня (починаючи від молекулярного і кінчаючи макродефектами, наприклад тріщинами). Для експериментального визначення межі міцності матеріалу використовують зразки правильної геометричної форми - куби, призми, циліндри, стрижні, смужки. Розміри зразків, процедура випробування, вигляд і швидкість вантаження, правила обробки результатів витримуються в строгій відповідності з вимогами стандарту. Найчастіше матеріали випробовують стискуючим або розтягуючим навантаженням  $F$ .

Різні матеріали вірізняються межею міцності при стискуванні: від 0,05 (пінополістирол) до 1000 МПа і більш (високоміцна сталь). Часто одні і ті ж матеріали мають неоднакову межу міцності, і залежно від цього їх підрозділяють на марки і сорти. Так, марки будівельного розчину відповідають межі міцності (кгс/см<sup>2</sup>) від 4 до 200, звичайного бетону - від 100 до 600, керамічної цеглини - від 75 до 300.

Міцність матеріалу залежить від його структури, пористості, вологості, дефектів будови, температури, стану поверхні і інших чинників.