

Лекція 4. Навантаження та впливи. Розрахункові ситуації

4.1 Граничні стани конструкцій

Граничними називають такі стани, у разі підвищення яких конструкція перестає задовольняти задані експлуатаційні вимоги.

Є дві групи граничних етапів:

перша – за втратою несучої здатності, або непридатності її до експлуатації.

друга – за непридатністю до нормальної експлуатації, яка здійснюється відповідно до технологічних або побутових вимог.

Розрахунок за першою групою граничних станів повинен зупинити руйнування конструкції (це розрахунок на міцність), втрату стійкості форми конструкції (розрахунок на повздовжній згин, стійкість тонкостінних конструкцій тощо) або її положення (розрахунок на опрокинення, ковзання підпірних стін, на спливання підземних або підводних споруд тощо); втомне руйнування (розрахунок на втому конструкції під час дії багаторазово повторним навантаженням), руйнування у разі сумісних дій силових факторів і несприятливих впливів зовнішнього середовища (поперемінне замерзання і відтанення, зволоження – висихання, дія агресивного середовища).

Розрахунок за другою групою граничних станів повинен усунути великі деформації (прогини, кути повороту) і коливання конструкцій, утворення тріщин, недопустиму ширину їх розкриття, а також неможливість закриття тріщин (за необхідності виконання цієї умови).

Мета розрахунку за граничними станами полягає в тому, щоб не допустити перевищення граничних станів під час експлуатації упродовж всього терміну служби конструкції, а також у стадії їх виготовлення, транспортування і монтажу або спорудження за найменших затрат праці, матеріалів та грошових витрат:

Ідею розрахунку конструкцій за першою групою граничних станів (за несучою здатністю) можна подати такою нерівністю:

$$N(\sum N_i^n n_i n_c) \leq \Phi(\sum S; R_i^n; \frac{1}{K_i}; \frac{1}{K_{mi}}; m_i),$$

Ліва частина виразу (2.1) являє собою розрахункове зусилля, що дорівнює практично можливому максимальному зусиллю у перерізі елемента за не вигідної комбінації розрахункових навантажень або впливів і залежить від зусиль N_i^n , зумовлених нормативними навантаженнями, а також від коефіцієнтів перенавантаження n_i (які оцінюють мінливість навантажень) і коефіцієнтів сполучення навантажень n_c (які враховують реальні умови завантаження конструкцій). Очевидно, що розрахункові зусилля не повинні перевищувати розра-

хункову несучу здатність перерізу Φ , яка є функцією: нормативних опорів матеріалів R_i^H (які задаються рівнем забезпеченості близько 0,95); коефіцієнтів безпеки $k_i > 1$ (які підвищують рівень надійності до 0,997); коефіцієнтів надійності $k_H \geq 1$ (їх вводять тільки для будівель і споруд підвищеної капітальності); коефіцієнти умов роботи $m_i \leq 1$ або $m_i \geq 1$ (які враховують несприятливі або сприятливі умови що не відображені явно у розрахунках); параметра δ , який залежить від геометричних характеристик і інших факторів, що впливають на утримувальну здатність.

Значення зусиль N , так як і несучої (утримувальної) здатності Φ , залежать від мінливості зазначених вище факторів і підпорядковуються нормальному закону розподілу Гаусса-Лапласа (рис. 2.1).

Виконання умови (2.1), зображене графічно на рис. 2.1, повинно гарантувати потрібну несучу здатність конструкцій з надійністю не менше 99,7 %.

У тих випадках, коли невідома схема граничного стану (тобто, схема руйнування) або коли умови настання граничного стану не можна виразити через зусилля у перерізі, розраховують за допомогою опору напружень з відповідними розрахунковими опорами: $\sigma \leq R$. У такому разі діють ті самі фактори запасу, оскільки σ – функція розрахункових навантажень.

Під час розрахунку за Методом граничних станів надійність конструкції забезпечується, враховуючи можливі відхилення, у несприятливий бік сторону дійсних навантажень або впливів, а також характеристик матеріалів від середньостатистичних значень. Врахування вказаних можливих відхилень, а також дійсних умов експлуатації конструкцій виконують на основі імовірнісно-статистичних методів, які забезпечують потрібну надійність конструкції залежно від ступеня безпеки того або іншого граничного стану.

Розрахункову несучу здатність визначають залежно від системи коефіцієнтів: перевантаження, який враховує мінливість навантаження або впливів; варіаційних коефіцієнтів, які враховують мінливість міцності матеріалів; коефіцієнтів безпеки; коефіцієнтів умов роботи матеріалів і конструкцій загалом. За допомогою відповідних коефіцієнтів за середньостатистичними значеннями навантажень або характеристик матеріалів визначають їхні розрахункові (або нормативні) величини, які вводимо до розрахунку.

Уведення системи коефіцієнтів, які забезпечують надійність конструкцій, замість єдиного коефіцієнта запасу дає змогу точніше врахувати дійсні умови роботи конструкції. З'являється можливість враховувати різні фактори окремо і незалежно один від одного, що дуже важко, оскільки ступінь їх мінливості різка і залежить від умов будівництва і у експлуатації. Наприклад, мінливість навантаження від власної ваги конструкції менша, ніж від снігової, а мінливість бетону істотно більша, ніж сталі. Тому природно, що коефіцієнти, які забезпечують в остаточному рахунку однакову надійність конструкції будуть різними. За такого підходу можливе максимальне наближення до дійсних умов роботи конструкції, що своєю чергою дозволяє, не знижуючи надійності конструкції, запроєктувати її з мінімальними витратами матеріалів.

Під час розрахунку конструкцій за другою групою граничних станів, враховуючи, що це зазвичай, не призводить до таких небезпечних наслідків, як у разі нестачі несучої здатності, рівень забезпечення прийнятий нижчим. Це відображено в тому, що, за винятком розрахунку за утворенням тріщин у всіх решта випадках навантаження вводять без коефіцієнтів перевантаження.

Окрім того, механічні характеристики матеріалів приймають підвищеними, які дорівнюють розрахунковим опорам для граничних станів другої групи. Останні числово дорівнюють нормативним опорам, оскільки у розрахунках за другою групою граничних станів коефіцієнти безпеки $k_i = 1$. Не враховують, зазвичай, і коефіцієнти умов роботи.

Під час розрахунку за утворенням тріщин повинна задовольнятися певна умова, яка залежить від характеру напруженого стану.

Так, за осьової дії зусиль

$$N \leq N_{crc},$$

де N – розрахункове зусилля, яке приймається таким, як і під час розрахунку на міцність (для конструкцій, у яких утворення тріщин недопустимо); N_{crc} – зусилля, яке сприймається перерізом під час утворення тріщин і визначається за розрахунковим опором для граничних станів другої групи.

Розрахунок за розкриттям тріщин полягає у визначенні розкриття тріщини a_{crc} від дії нормативних навантажень і порівнянні її з граничнодопустимим значенням $[a_{crc}]$, тобто у перевірці умови $a_{crc} \leq [a_{crc}]$.

Під час розрахунку на деформацію прогин f , обчислений за нормативними навантаженнями і розрахунковими опорами матеріалів для граничних станів другої групи, не повинен перевищувати вказаних у нормах граничнодопустимих значень, тобто $f \leq \Delta$.

4.2 Навантаження і впливи

Навантаження і впливи на будівлі і споруди можуть бути постійними і тимчасовими. Останні залежно від тривалості дії поділяються на довготривалі, короткочасні і особливі.

До постійних навантажень належать власна вага конструкцій, зусилля попереднього напруження, тиск ґрунту тощо.

До тимчасових довготривалих належать маса стаціонарного обладнання, тиск рідин і газів, навантаження у кригосховищах і складах, частина тимчасового навантаження у приміщеннях від одного мостового або підвісного крана, зменшується на 20 – 40%, частина снігового навантаження тощо. До складу короткочасних навантажень зараховують вагу людей, снігові, вітрові і кранові навантаження, температурні кліматичні впливи тощо. Значення цих навантажень під час розрахунку приймають повними (а не їх частину, як під час врахування в складі тимчасових довготривалих). Особливі навантаження виникають у разі сейсмічних, вибухових або аварійних впливів.

Величини нормативних навантажень встановлені в нормах ДБН В.1.2-2:2006, їх використовують для визначення розрахункових навантажень

$$q = q^n \cdot n :$$

де q^n – величина нормативного навантаження; n – коефіцієнт перевантаження, що враховує мінливість навантаження.

Власну вагу конструкції вводять до розрахунку на міцність, зазвичай, з коефіцієнтом $n = 1,1 \dots 1,2$, тимчасові навантаження – $n = 1,2 \dots 1,4$. Якщо ж зменшення ваги конструкції погіршує умови роботи (наприклад, під час розрахунку на стійкість положення – спливання, опрокинення, ковзання), то приймають – $n = 0,9$. Розрахунок конструкцій другої групи граничних станів, враховуючи меншу безпеку їх настання, виконується на нормативні навантаження, тобто $n = 1$.

Будівлі і споруди, зазвичай, піддаються одночасній дії різних навантажень, тому під час їх розрахунку враховують несприятливий склад зусиль, спричинених ними.

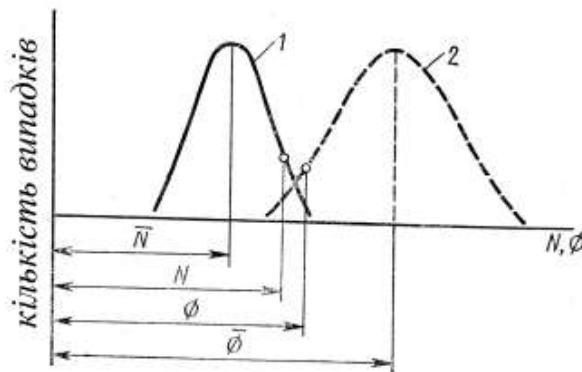


Рис. 2.1 Графіки розподілу значень зусиль (1) та несучої здатності (2): \bar{N} та N – середньостатистичне і розрахункове значення зусиль; $\bar{\phi}$ та Φ – теж, несучої здатності

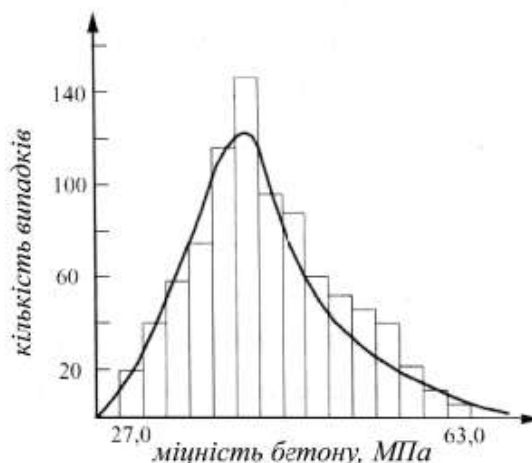


Рис.2.2 Гістограма міцності бетону

Залежно від складу навантажень розрізняють: основні сполучення, які складаються із постійних, довготривалих і короткочасних навантажень; особливі сполучення, які складаються із постійних, довготривалих, можливих короткочасних і одного із особливих навантажень.

Якщо за основного сполучення враховують одночасно два або більше короткочасних навантаження, то останні множать на коефіцієнт сполучення $n = 0,9$; оскільки вважається маломожливим, щоб вони одночасно досягали повних розрахункових значень. Під час розрахунку конструкцій на особливі сполучення, розрахункові значення короткочасних навантажень (або зусиль) множать на коефіцієнт $n_c = 0,8$; при тому особливі навантаження враховують без зниження.

Під час розрахунку колон, стін і фундаментів багатоповерхових будівель дозволяється знижувати сумарне короткочасне навантаження, одночасно діючи на перекриття множенням на коефіцієнт $n > 1$:

для читальних, торгових, виставкових, концертних тощо залів $n = 0,5 + 0,6\sqrt{m}$; для будинків відпочинку, лікарень, побутових приміщень, промислових, адміністративних і житлових будівель $n = 0,3 + 0,6\sqrt{m}$; де m – кількість повністю завантажених перекриттів над перерізом, який розглядаємо (при $m=1, n=1$).

2.3 Нормативні і розрахункові опори матеріалів

Нормативні опори матеріалів R різним силовим впливам призначені з визначеним певним рівнем надійності;

$$R^n = \bar{R}(1 - t\nu), \quad (2.2)$$

де R – середньостатистична міцність; t – показник надійності (кількість стандартів); ν – коефіцієнт варіації (змінності) міцності.

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n R_i / n, \quad (2.3)$$

де R – границя міцності i -го зразка; n – кількість зразків.

Середньоквадратичне відхилення (стандарт)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}}, \quad (2.4)$$

має таку саму розмірність, що і міцність. Зручнішим є безрозмірний показник відносної зміни властивості, що розглядається, коефіцієнт варіації.

$$\nu = S / \bar{R}. \quad (2.5)$$

У теорії ймовірності доведено, що не менше 68.3% всіх зразків покажуть міцність у межах $R \pm S$ (при $t=1$). Міцність $R \pm 1.64S$ покаже не менше 95% всіх зразків, а в межах $R \pm 3S$ практично вкладеться міцність всіх зразків (99.7%).

Подія вважається практично нездійсненною, якщо вона проявляється рідше як три рази на тисячу випадків. Тобто $R = \bar{R} - 3S$ є практично можлива межа зниження міцності. Про таку величину кажуть, що вона з надійністю 0.997.

Змінюваність міцності матеріалів, зазвичай, підпорядковується нормальному закону розподілу Гаусса Лапласа, який виражається кривими, характерний вигляд яких показано на рис. 2.1.

Нормативна міцність є основною базисною характеристикою матеріалу. Довірчий (інтервал) ймовірність нормативного опору використовується залежно від властивостей матеріалу. Для бетону її приймають 0.95, що відповідає показнику надійності $t = 1.64$ (за формулою (1)); для дерев'яних зразків під час визначення нормативних опорів прийнято $t = 2.25$, а для кам'яної кладки $t = 2$. Коефіцієнт варіації, який характеризує зміну міцності, прийнятий найменшим для металу. Найбільших значень (до 0.2) він досягає для кам'яної кладки. Для бетону і дерев'яних елементів $v = 0.13 - 0.2$.

Розрахунковий опір матеріалів, які використовують у розрахунку конструкцій за 1-ю групою граничних станів, задають з власною надійністю (0.997). Їх значення одержують діленням нормативних опорів на коефіцієнт безпеки за матеріалом K . Величину K визначають з врахуванням статистичного розрахунку міцності, а також надійності технологічного контролю якості виготовлення і методики випробування, характеру руйнування (критичного або пластичного) і інших факторів.

Для металу різних класів міцності у випадках, коли нормативні опори визначені за межею текучості, приймають $k = 1.1 - 1.2$. Якщо ж останні визначені за тимчасовим опором розриву, то для металу різних класів $k = 1.45 - 1.6$. Для кам'яної кладки різних видів $k = 1.45 - 1.6$, для важкого бетону при стиску $k = 1.3$, а розтягу $k = 1.5$. Найбільших значень коефіцієнт безпеки досягає для дерев'яних конструкцій за наявності у деревині природних пороків. Так при стиску елементів із сосни і ялини вздовж волокон $k = 2.2$, при згині – 3.8, а при розтягу – 5.5.

Значення розрахункових опорів у необхідних випадках потрібно помножити на коефіцієнт умов роботи матеріалу m . Залежно від умов роботи елемента, специфіки конструкції і інших факторів, які не враховуються у статичному розрахунку, $m_i \leq 1$ або $m_i \geq 1$.

Питання для самоперевірки

1. Які завдання розрахунку будівельних конструкцій.
2. Що таке граничний стан конструкцій?
3. Перерахуйте і назвіть групи граничних станів будівельних конструкцій.
4. Як поділяють навантаження залежно від часу дії? Які навантаження зараховують до постійних і які до тимчасових?
5. Що таке нормативні і розрахункові навантаження?
6. Назвіть сполучення навантажень під час розрахунків конструкцій.
7. Що таке нормативні і розрахункові опори матеріалів?
8. Що таке поняття про коефіцієнт надійності з матеріалу, умов роботи конструкцій, надійності за призначенням конструкції.
9. Яка структура розрахункових формул на міцність, деформації і розкриття тріщин (швів кладки).