

## РОЗРАХУНОК ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ПРИ СИЛОВИХ, ДЕФОРМАЦІЙНИХ І ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВАХ

**Гордіюк М.П.**

*Український науково-дослідний інститут пожежної безпеки, Київ*

---

Реальні конструкції, матеріали та впливи через свою складність відрізняються від проектних. Ці відмінності враховуються введенням в розрахунок відповідних коефіцієнтів надійності, які повинні забезпечувати нормальні умови експлуатації, тобто гарантувати конструкції будівель від настання граничного стану першої або другої групи. Для більшості конструкцій будівель та споруд визначальним залишається питання міцності або розрахунку за граничними станами першої групи. Критерієм граничного стану є ознака або сукупність ознак граничного стану об'єкту, які встановлюються нормативно-технічною та (або) проектною документацією. При цьому залежно від умов експлуатації для одного й того ж об'єкту можуть бути встановлені два та більше критеріїв граничного стану.

Останнім часом у зв'язку зі значним об'ємом будівництва мостів, монолітно-каркасних будівель підвищеної поверховості актуальним залишається питання пожежної безпеки при експлуатації, в першу чергу, перекриттів і стінових елементів. Незважаючи на те, що залізобетонні плити є достатньо широким класом будівельних конструкцій, в нормативній літературі відсутні практичні методики розрахунку з урахуванням властивостей залізобетону, а також специфіки силових і високотемпературних впливів.

При такому положенні справ необхідно розробляти методи розрахунку пластинчастих конструкцій, в т.ч. і із застосуванням стандартних обчислювальних комплексів МСЕ (ЛІРА, SCAD). При виконанні розрахунків необхідно враховувати вимоги нормативних документів [1], а також пропозиції [2, 3, 4 і ін.].

Мета роботи – розробка методики розрахунку залізобетонних пластинчастих конструкцій з урахуванням непружних властивостей залізобетону за умов спільної дії силових і високотемпературних впливів.

Під вогнестійкістю будівельних конструкцій розуміється їхня здатність чинити опір дії пожежі протягом певного часу, зберігаючи при цьому звичайні експлуатаційні функції, тобто зберігати несну та огорожувальну функції [5, 6, 7 тощо].

До таких чинників, що визначають поведінку конструкції при дії високих температур, відносять:

- ступінь навантаження конструкції та її елементів;
- вигляд і кількість пожежного навантаження, що визначає температурний режим, а також теплоту пожежі;
- теплове навантаження на конструкцію;
- теплофізичні та фізико-механические характеристики матеріалів, з яких виконано будівельні конструкції;
- умови нагріву та способи з'єднання конструкцій.

Згідно [8] фактичні межі вогнестійкості будівельних конструкцій визначаються при дії характеристичних навантажень [9]. Величини характеристичних навантажень приймаються в залежності від призначення конструкцій і умов їхньої експлуатації.

Межа вогнестійкості будівельних конструкцій знижується із збільшенням діючих навантажень і збільшується при їхньому зменшенні.

Пожежне навантаження характеризується кількістю теплоти (МДж), що виділяється при повному згоранні всіх пальних і трудногорючих речовин і матеріалів (зокрема тих, що входять до складу будівельних конструкцій), які знаходяться в приміщенні або які можуть знаходитись в ньому.

Для визначення пожежного навантаження в будівлі створюється спеціальна комісія, яка розробляє карту пожежного навантаження. В цю комісію повинні входити фахівці з техніки безпеки, технології виробництва, а також представник органів Державної пожежної безпеки.

Пожежне навантаження визначається на основі: проектно-конструкторської документації; технологічних карт; натурального обстеження приміщень експлуатованих будівель; даних про пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, які наведено в довідковій літературі, спеціалізованих банках даних, а також результатів лабораторних і натурних випробувань.

У карті пожежного навантаження повинно бути вказано: найменування, призначення і приналежність будівлі; склад комісії; перелік приміщень і (або) пожежонебезпечні ділянки з вказанням розміщення пальних і трудногорючих речовин і матеріалів; специфікація пальних і трудногорючих речовин і матеріалів в кожному приміщенні.

Карта пожежного навантаження затверджується: на стадії проектування будівлі – керівником проекту, а для експлуатованої будівлі – керівником організації або підприємства.

Для визначення розрахункового пожежного навантаження розробляється сценарій розвитку можливої пожежі. При цьому необхідно врахувати розвиток площі горіння залежно від місця виникнення загоряння, а також вигляду і місця розташування пальних і трудногорючих речовин і матеріалів; швидкість і повноту їхнього згорання залежно від умов природної або вимушеної вентиляції; дію на динаміку пожежі систем пожежогасінні. Розрахункове пожежне навантаження визначається на основі критеріїв пожежної безпеки для найбільш несприятливого з погляду цих критеріїв сценарію розвитку пожежі [7].

Поведінка будівельних конструкцій при пожежі визначається також температурним режимом пожежі та її тривалістю. Кількісні значення температури в об'ємі приміщення, а також тривалість пожежі залежать від таких чинників, як: вигляд і кількість речовин, що згорають, тобто пожежного навантаження в приміщенні; розмірів і конфігурації приміщення; розмірів отворів в конструкціях тощо. Це означає, що при одному й тому ж пожежному навантаженні можливі різні варіанти розвитку пожежі, а відтак і види теплового навантаження на конструкції.

Розрахунки згинаних елементів проводяться за відомими правилами будівельної механіки. Якщо пластинку виготовлено з однородного матеріалу, розрахунок не викликає суттєвих ускладнень. За умов виготовлення пластин з матеріалів, які при навантаженні працюють нелінійно, а також за умов деформацій на контурі методика розрахунку потребує введення окремих допущень. Ці допущення ускладнюють розрахунок, але дозволяють врахувати специфіку деформування пластин під дією силового, деформаційного та високотемпературного навантаження.

Як відомо, основне диференціальне рівняння для прогину  $W$  пластинки під дією поперечного навантаження, записується у вигляді [3]

$$D \left( \frac{\partial^4 W}{\alpha^4} + 2 \frac{\partial^4 W}{\alpha^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} \right) = p(x,y), \quad (1)$$

де  $D = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}$  – циліндрична жорсткість пластинки;

$t$  – товщина пластинки.

Рівняння, що зв'язують зусилля і переміщення в пластинці, записуються так

$$\left. \begin{aligned} M_x &= -D \left( \frac{\partial^2 W}{\alpha^2} + \nu \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \\ M_y &= -D \left( \nu \cdot \frac{\partial^2 W}{\alpha^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \\ M_{xy} &= -M_{yx} = D (1 - \nu) \frac{\partial^2 W}{\alpha \partial y} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_x &= -D \frac{\partial}{\alpha} \left( \frac{\partial^2 W}{\alpha^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \\ Q_y &= -D \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial^2 W}{\alpha^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Замість рівняння (1) можна використовувати рівняння, яке безпосередньо виходить з попередніх

$$\frac{\partial^2 M_x}{\alpha^2} + 2 \frac{\partial^2 M_{xy}}{\alpha \cdot \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} = p(x,y). \quad (4)$$

У разі врахування непружної роботи матеріалу пластинки рівняння (1) набуває вигляду [10]

$$D \left( \theta_x \frac{\partial^4 W}{\alpha^4} + 2 \sqrt{\theta_x \cdot \theta_y} \frac{\partial^4 W}{\alpha^2 \partial y^2} + \theta_y \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} \right) = p(x,y), \quad (5)$$

де  $\theta_x = E_{x,i,pl}/E$ ,  $\theta_y = E_{y,i,pl}/E$  – відношення пружнопластичного модуля в напрямку осей  $X$  і  $Y$  відповідно до модуля пружності в точці з координатами  $x, y$ .

Вирази для моментів і поперечних сил можуть бути записані наступним чином з урахуванням коефіцієнтів переведення модуля пружності в модуль пружнопластичності в напрямку осей  $X$  і  $Y$  ( $\theta_x, \theta_y$ ) і модуля пружності зсуву в модуль пружнопластичності зсуву ( $\sqrt{\theta_x \cdot \theta_y}$ ):

$$\left. \begin{aligned} M_x &= -D \left( \theta_x \frac{\partial^2 W}{\alpha^2} + \nu \sqrt{\theta_x \cdot \theta_y} \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \\ M_y &= -D \left( \nu \sqrt{\theta_x \cdot \theta_y} \frac{\partial^2 W}{\alpha^2} + \theta_y \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \\ M_{xy} &= -D \sqrt{\theta_x \cdot \theta_y} (1 - \nu) \frac{\partial^2 W}{\alpha \partial y} \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_x &= -D \frac{\partial}{\partial x} \left( \theta_x \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \sqrt{\theta_x \cdot \theta_y} \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \\ Q_y &= -D \frac{\partial}{\partial y} \left( \sqrt{\theta_x \cdot \theta_y} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \theta_y \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Таким чином, врахування нелінійної роботи залізобетону можливе шляхом введення додаткових коефіцієнтів у відомі рівняння вигину пластин. Величини цих коефіцієнтів можуть бути вираховані окремо. В першу чергу величини цих коефіцієнтів залежать від рівня навантаження пластини, тобто від рівня чинних навантажень.

Розрахунок пластин з урахуванням пружнопластичної роботи залізобетону може бути виконаний шляхом введення інтегрального коефіцієнта, що враховує пружнопластичну роботу. Тоді в формулах (1), (2), (3) необхідно при визначенні циліндричної жорсткості ввести знижувальний коефіцієнт для кожної точки з координатами  $x, y$ . Особливо такий підхід можна вважати обґрунтованим за умов спільної дії силових, деформаційних та високотемпературних впливів, коли зменшення жорсткості пластинки в окремих точках може бути суттєвим.

Розв'язка рівнянь (1) або (5) повинні задовольняти граничні умови на всіх краях. Граничні умови визначаються конструктивними особливостями перекриття. Наприклад, за умови вільного обпирання по краях  $b$  прогин  $W$  і момент на краях  $x=0, x=a$  дорівнюють нулю.

Чисельний розв'язок рівнянь (1) або (5) може бути отримано будь-яким відомим методом.

При розв'язанні рівнянь (1) або (5) методом скінченних різниць область інтегрування розбивається сіткою з регулярним кроком  $\Delta_x, \Delta_y$  відповідно по осях  $x$  і  $y$  так, щоб ділильні прямі були паралельні до осей координат. Значення прогинів у вузлах пластинки позначено  $W_{i,j}$  де  $i, j$  – нумерація вузлів сітки у напрямі відповідного  $x$  і  $y$  [10].

Наближені значення похідних функцій прогинів  $W$  у вузлах сітки з координатами  $(i, j)$  можуть бути записані через значення цих функцій у вузлах сітки по наступних формулах [10]:

$$\left[ \frac{\partial W}{\partial x} \right]_{i,j} \cong \frac{W_{i+1,j} - W_{i-1,j}}{2\Delta_x}; \quad (8)$$

$$\left[ \frac{\partial W}{\partial y} \right]_{i,j} \cong \frac{W_{i,j+1} - W_{i,j-1}}{2\Delta_y}; \quad (9)$$

$$\left[ \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right]_{i,j} \cong \frac{W_{i+1,j} - 2W_{i,j} + W_{i-1,j}}{2\Delta_x^2}; \quad (10)$$

$$\left[ \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right]_{i,j} \cong \frac{W_{i,j+1} - 2W_{i,j} + W_{i,j-1}}{2\Delta_y^2}; \quad (11)$$

$$\left[ \frac{\partial^2 W}{\partial x \cdot \partial y} \right]_{i,j} \cong \frac{W_{i+1,j+1} - W_{i-1,j+1} - W_{i+1,j-1} + W_{i-1,j-1}}{4\Delta_x\Delta_y}; \quad (12)$$

$$\left[ \frac{\partial^4 W}{\partial^4 x} \right]_{i,j} \cong \frac{W_{i+2,j} - 4W_{i+1,j} + 6W_{i,j} - 4W_{i-1,j} + W_{i-2,j}}{\Delta_x^4}; \quad (13)$$

$$\left[ \frac{\partial^4 W}{\partial^4 y} \right]_{i,j} \cong \frac{W_{i,j+2} - 4 \cdot W_{i,j+1} + 6W_{i,j} - 4W_{i,j-1} + W_{i,j-2}}{\Delta_y^4}; \quad (14)$$

$$\left[ \frac{\partial^4 W}{\partial^2 x \cdot \partial^2 y} \right]_{i,j} \cong \frac{W_{i+1,j+1} + W_{i+1,j-1} - 2W_{i+1,j} - 2W_{i-1,j} + 4W_{i,j} - 2W_{i,j+1} - 2W_{i,j-1} + W_{i-1,j+1} + W_{i-1,j-1}}{\Delta_x^2 \Delta_y^2}, \quad (15)$$

де  $W_{i,j}, W_{i-1,j}$  тощо – значення прогинів пластинки в точках  $(i, j), (i-1, j)$  тощо.

Для всіх внутрішніх вузлів пластинки значення похідних підставляються в рівняння (1) або (5), внаслідок чого виходять скінченно-різницеві рівняння щодо значень  $W_{i,j}$ . При складанні скінченно-різницевих рівнянь для приконтурних вузлів сітки як відомі величини прогинів на кінці використовуються граничні умови (8) або інші, що враховують реальні умови на контурі.

Значення прогинів пластинки в законтурних точках визначаються таким чином: вибираються законтурні точки для яких приймаються фіктивні значення прогинів  $W_{0,j}, W_{N+1,j}, W_{i,0}, W_{i,M+1}$  де  $N$  і  $M$  – кількість вузлів сітки відповідно по осі  $x$  і  $y$ .

За наявності даних про прогини контура (наприклад, прогини сталевих або залізобетонних ригелів, визначені шляхом безпосередніх вимірювань в натурі) величини прогинів підставляються в рівняння (1), (4), (5). Якщо такі дані відсутні, виконується розрахунок контурних елементів з побудовою залежностей «навантаження–прогин», а величини прогинів підставляються в рівняння (1), (4), (5).

## Висновки

1. Запропоновано методика розрахунку залізобетонних пластинчастих елементів при силових, деформаційних та високотемпературних впливах з урахуванням властивостей пружнопластичності матеріалів. Прогини контурних точок пластинки вважаються або заданими, або визначаються додатково при розрахунках контурних елементів.
2. Запропонована методика розрахунку може бути поширена на комбіновані згинані сталезалізобетонні елементи, які працюють за межами пружної стадії.

## Література

1. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции / Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 76 с.
2. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона / НИИСК Госстроя СССР. – Киев, 1987. – 24 с.
3. Проектирование железобетонных конструкций: Справочное пособие / А.Б. Голышев, В.Я. Бачинский, В.П. Полищук, А.В. Харченко, И.В. Руденко; Под ред. А.Б. Голышева. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Будівельник, 1990. – 544 с.
4. Голоднов А.И. Исчерпание несущей способности железобетонных стержневых элементов существующих зданий и сооружений // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2007. – № 71 (94). – С. 64-69.

5. ДБН В.1.1-7-2002. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва / Держбуд України. – К.: Держбуд України, 2003. – 41 с.
6. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. – М.: Ассоциация “Пожарная безопасность и наука”, 2001. – 382 с.
7. Мосалков И.Л, Плюснина Г.Ф., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций. – М.: Спецтехника, 2001. – 484 с.
8. ДСТУ Б В.1.1-4-8\*. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги / Держбуд України. – К.: Держбуд України, 2005. – 18 с.
9. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбуд України. – Київ: Мінбуд України, 2006. – 60 с.
10. Голоднов А.И., Риблов В.В. Расчет железобетонных плит, опирающихся на деформируемый контур // Зб. наук. праць Українського науково-дослідного і проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М.Шимановського. – Київ: Вид. “Сталь”, 2008. – Вип. 2. – С. 43-48.