

УДК 69.059.22:699.8

## **Міцність і деформативність залізобетонних пластинчастих конструкцій при високотемпературних впливах**

**Гордіюк М.П.**

Український науково-дослідний інститут пожежної безпеки, Україна

**Анотація.** Запропонована методика розрахунку залізобетонних плит при силових і високотемпературних впливах. Наведені передумови та припущення, які були покладені в основу розрахунку. Приведений опис розрахункових моделей.

**Аннотация.** Предложена методика расчета железобетонных плит при силовых и высокотемпературных воздействиях. Даны предпосылки и допущения, положенные в основу расчета. Приведено описание расчетных моделей.

**Abstract.** The method of calculation of reinforced-concrete slabs is offered at power and high temperature influences. Pre-conditions and assumption, fixed in basis of calculation are given. Description of calculation models is resulted.

**Ключові слова:** пластинчасті елементи, нагрівання, вогнестійкість, несуча здатність.

**Вступ. Постановка проблеми.** Конструкції будівель та споруд повинні проектуватись таким чином, щоб вони сприймали всі навантаження і впливи та передавали їх на ґрунтову основу. Надійність і довговічність будівель у процесі будівництва повинна забезпечуватись шляхом використання якісних матеріалів, дотримання технології робіт і повної відповідності проекту. В процесі експлуатації надійність і довговічність будівель під впливом різних факторів, у т.ч. і високотемпературних впливів при пожежі, може знизитись. Оскільки більшість впливових факторів мають випадковий характер, надійність і довговічність будівельних конструкцій визначаються законами теорії ймовірності.

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

Залізобетонні пластинчасті елементи використовуються як складові частини житлових і громадських будинків. Останнім часом у зв'язку зі значним обсягом будівництва монолітно-каркасних будівель підвищеної поверховості актуальним залишається питання пожежної безпеки при експлуатації, в першу чергу, перекриттів і стінових елементів.

Досвід експлуатації пластинчастих згинальних елементів свідчить про їхню підвищену деформативність. Однією з найбільш істотних причин підвищеної деформативності плитної частини вважаються технологічні дефекти (зсуви арматури в процесі бетонування плит), нелінійна робота бетону й арматури, а також різні непередбачені проектом впливи, наприклад, високотемпературні при пожежах. Як відомо, сталева арматура втрачає свої пружні властивості за температури приблизно 500 °С (рис. 1).

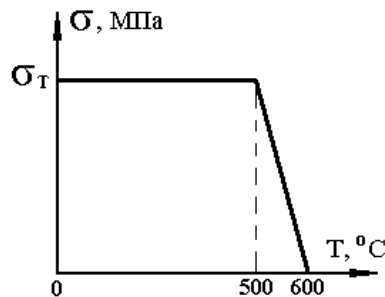


Рис. 1. Залежність межі текучості сталі від температури [1]

Оскільки для пластинчастих конструкцій захисний прошарок бетону для арматури становить 10...20 мм, нагрівання арматури до температури приблизно 500 °С відбудеться відразу після початку пожежі. Конструктивними заходами щодо захисту арматури від впливу високих температур є збільшення захисного прошарку бетону, встановлення захисних екранів [2, 3].

**Мета роботи.** Розроблення методики розрахунку міцності та деформативності залізобетонних плитних конструкцій за умов дії силових і високотемпературних впливів.

**Основна частина.** Як вже наголошувалося, залізобетонні перекриття з плитами, що працюють у двох напрямках, набули широкого розповсюдження в житловому та промисловому будівництві України. Вплив інтенсивного температурного нагріву під час пожежі на їх міцність і деформативність практично не вивчений, методики розрахунку вогнестійкості відсутні [4]. Складність проблеми полягає у тому, що існуючі нормативні документи пропонують тільки емпіричну формулу для визначення критичної температури, що визначає втрату вогнеперешкоджаючої та теплоізолювальної здатності плит (Е і І) [4 – 6].

У більшості джерел такі плити називають «плити, що обперті по контуру» і «плити, що працюють у двох напрямках» [4, 7, 8.]. Останнє визначення більш відповідає класифікації їхніх розрахункових схем, проте також має неточності. Серед різноманіття граничних умов вільне обпирання повинне означати задання на гранях односторонніх зв'язків, що сприймають тільки вертикальні зусилля стиснення.

Точний розрахунок залізобетонних плит, що працюють у двох напрямках, достатньо складний і виконується за допомогою спеціальних програмних комплексів чисельними методами (наприклад, методом скінченних різниць, методом скінченних елементів тощо [4, 8, 9]). Розрахунок пластинчастих конструкцій виконується за формулою [7]

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

де  $W = W(x, y)$  – прогин пластинки в точці з координатами  $x, y$ ;  $D$  – циліндрична жорсткість пластинки;  $p(x, y)$  значення інтенсивності розподіленого навантаження в точці з координатами  $x, y$ .

Розв'язок рівняння (1) повинен задовольняти граничні умови на всіх чотирьох краях пластинки. Граничні умови визначаються конструктивними особливостями перекриття. Наприклад, за умови вільного спирання по краях прогин  $W$  і момент на краях дорівнюють нулю.

Формули для визначення моментів і поперечних сил можуть бути записані таким чином:

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

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

Розрахунок пластинки з урахуванням пружнопластичних властивостей залізобетону можливий за умов використання чисельного методу скінченних різниць [8]. За цих умов достатньо отримати залежності «момент–кривизна» для перерізів із урахуванням властивостей залізобетону, в т.ч. і при високотемпературних впливах [3 – 6].

Розрахунок конструкції може бути виконаний методом скінченних елементів (МСЕ). При цьому адекватна існуючій конструкції модель МСЕ повинна враховувати всі властивості конструктивних елементів, зокрема, залізобетону [9].

Оскільки при перевірках конструкцій необхідно виконувати розрахунки по двох групах граничних станів, рекомендується розробляти дві розрахункові моделі [9]:

- спрощену – для перевірки (підбору) армування плити;
- ускладнену – практично адекватну існуючій конструкції (для визначення прогинів, переміщень тощо).

У спрощеній моделі залізобетонна плита моделюється плоскими СЕ, що деформуються за лінійним законом.

Для визначення прогинів конструкцій має бути розроблена ускладнена модель з використанням об'ємних СЕ з нелінійною залежністю деформацій бетону. Нелінійна робота залізобетону враховується за допомогою експериментально отриманих залежностей «напруження–деформації» [4] для бетону відповідного класу за міцністю при дії високотемпературного впливу. Арматура моделюється стрижньовими СЕ приведеної площі для прийнятого кроку дискретизації СЕ.

Ускладнена модель використовується при розрахунках на характеристичні величини навантажень і дозволяє в процесі силового навантаження змоделювати високотемпературний вплив заданням відповідних залежностей «напруження–деформації» для матеріалу СЕ. В результаті розрахунків можуть бути отримані чисельні величини деформацій конструкцій, а також величини напружень в елементах розрахункової схеми.

За умов вільного обпирання при високотемпературних впливах можливе відлипання країв пластинок від опор. Розрахунки конструкцій за цих умов

повинні проводитись із введенням в розрахункову схему СЕ однобічного зв'язку між вузлами, що працюють тільки на стиск і дозволяють залізо-бетонній плиті відриватися від опорного контуру. При лінійному перепаді температури по товщині плити з'являються температурні моменти. Це протирічить теоремі про те, що в одно- або багатозв'язковому тілі, яке вільне від усіх поверхневих навантажень і об'ємних сил і не має поверхонь з розривом переміщень, лінійний розподіл температури (у прямокутній декартовій системі координат) не викликає напружень [4].

Отже, якщо плита вільно лежить на 4 гранях, то її краї піднімаються за наявності температурного перепаду, а зусилля не виникають. Для виникнення температурних зусиль потрібний додаток зусиль по контуру для погашення цих переміщень або заборона вертикальних переміщень у всіх контурних точках. Створення нерозрізності підвищує несучу здатність плит: виключення з роботи нижньої, розтягнутої арматури приводить до істотнішого включення в роботу верхньої опорної арматури і надалі забезпечує просторове положення конструкції після пожежі, хоча і спричинює появу суттєвих прогинів. Природно, така конструкція після пожежі потребує огляду та ремонту, але на момент пожежі та гасіння дозволяє уникнути обвалення, тобто сприяє збереженню як конструкцій, що потрапили під дію високотемпературних впливів, так і конструкцій, що розташовані нижче (рис. 2).



Рис. 2. Загальний вигляд конструкції шатрової плити, яка отримала пошкодження під час пожежі і гасіння (руйнування захисних прошарків бетону, оголення арматури, прогини плити понад 80 мм тощо)

Температурні моменти є негативними, тобто вони викликають розтяг верхньої поверхні плити з найбільшою величиною біля контуру. Така ж картина спостерігається і при появі рівномірно розподіленого навантаження. Таким чином, поняття «плита, що оберта по контуру» допускає

наявність двостороннього зв'язку по вертикальному напрямку в опорній зоні [4].

Для розрахунку вогнестійкості мають значення температурні моменти як на контурі, так і в центрі плити, що призводять до перерозподілу зусиль у граничному стані. Величина температурних моментів залежить від характеристик міцності та деформативності бетону й арматури, геометричних характеристик (товщини плити, співвідношення сторін), характеру армування, виду крупного заповнювача.

Таким чином, у методиці інженерного розрахунку вогнестійкості при пружній схемі використовується принцип суперпозиції максимальних моментів від рівномірно розподіленого навантаження та максимальних моментів від розподілу еквівалентної температури для заданого часу дії стандартного режиму пожежі [4].

З умови рівності роботи зовнішніх сил при рівномірно розподіленому навантаженні і температурних моментів і роботи внутрішніх зусиль (згинальних моментів) у шарнірах при рівномірному армуванні плити в двох напрямках визначають граничні значення моментів.

Після проведення статичного розрахунку виконується оцінка несучої здатності плити за ускладненою деформаційною моделлю з урахуванням впливу температури на діаграми деформації бетону й арматури при нагріванні.

### **Висновки**

1. Запропонована методика розрахунку плит перекриттів будівель з урахуванням властивостей залізобетону, в т.ч. і при високотемпературних впливах. Врахування властивостей залізобетону можливе при розрахунках з використанням як відомих ОК МСЕ типу ЛПА, SCAD, так і з застосуванням інших чисельних методів.
2. У результаті розрахунку за даною методикою можна визначити не тільки напружено-деформований стан, але і дати варіанти підсилення конструкцій за рахунок введення в розрахункову схему додаткових СЕ.

### **Література**

- [1] Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций: Учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1982. – 272 с.
- [2] Монолитные перекрытия зданий и сооружений / И.В. Санников, В.А. Величко, С.В. Сломонов, Г.Б. Бимбад, М.Г. Томильцев. – К.: Будівельник, 1991. – 154 с.
- [3] Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. – М.: Ассоциация “Пожарная безопасность и наука”, 2001. – 382 с.

- [4] Фомин С.Л. Огнестойкость железобетонных плит, работающих в двух направлениях // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник / НДІБК. – Київ: НДІБК, 2007. – Вип. 67. – С. 361 – 372.
- [5] СНиП 2.03.04–84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстрой СССР. 1988. – 54с.
- [6] ДБН В.1.1–7–2002. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва / Держбуд України. – К.: Держбуд України, 2003. – 41 с.
- [7] Проектирование железобетонных конструкций: Справочное пособие /А.Б. Гольшев, В.Я. Бачинский, В.П. Полищук, А.В. Харченко, И.В. Руденко; Под ред. А.Б. Гольшева. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Будівельник, 1990. – 544 с.
- [8] Голоднов А.И., Риблов В.В. Расчет железобетонных плит, опирающихся на деформируемый контур // Збір. наук. пр. Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – К.: Вид-во «Сталь», 2008. – Вип. 2. – С. 18 – 24.
- [9] Голоднов А.И., Червинский А.Я., Лебедич И.Н. О совместном деформировании стальных балок и железобетонной плиты перекрытия // Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – К.: Вид-во «Сталь», 2008. – Вип. 2. – Вип. 2. – С. 18 – 24.

*Надійшла до редколегії 24.06.2009 р.*