

*к.т.н. Отрош Ю.А.,  
(Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля,  
м. Черкаси, Україна),  
к.т.н. Карапетян С.Х.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Україна)*

## **НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ СИЛОВИХ, ДЕФОРМАЦІЙНИХ ТА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВАХ**

*У роботі викладено методу розрахунку залізобетонних конструкцій при спільній дії силових, деформаційних та високотемпературних впливів. Методика дозволяє визначити можливий сценарій зміни напружено-деформованого стану і вичерпання несучої здатності. Прогноз вичерпання несучої здатності дозволить визначити слабкі елементи системи і розробити відповідні заходи для захисту конструкцій.*

**Ключові слова:** *залізобетонні елементи, силові, деформаційні та високотемпературні впливи, напружено-деформований стан, несуча здатність, заходи захисту.*

*В работе изложена методика расчета железобетонных конструкций при совместном действии силовых, деформационных и высокотемпературных воздействий. Предложенная методика позволяет определить возможный сценарий изменения напряженно-деформированного состояния и исчерпания несущей способности. Прогноз исчерпания несущей способности позволит определить слабые элементы системы и разработать соответствующие мероприятия для защиты конструкций.*

**Ключевые слова:** *железобетонные элементы, силовые, деформационные и высокотемпературные воздействия, напряженно-деформированное состояние, несущая способность, меры защиты.*

**Постановка проблеми.** Визначення напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій на всіх стадіях навантаження при комбінаціях силових і високотемпературних впливів залишається складним завданням, загальне рішення якого відсутнє. При вирішенні цього завдання необхідно зважати на специфіку деформації всіх елементів згинаємої системи (грунтової основи, фундаментів або колон, пластинчастих елементів перекриттів тощо), а також взаємний вплив.

До чинників, що визначають поведінку будівельних конструкцій в умовах пожежі, відносять [1]:

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

Згідно ДСТУ Б В.1.1–4–98\* [2], фактичні межі вогнестійкості будівельних конструкцій визначаються при дії нормативних навантажень (приймаються характеристичні значення величин навантажень згідно ДБН В.1.2-2:2006 [3]). Значення характеристичних навантажень встановлюються залежно від призначення конструкцій і умов експлуатації.

У відповідності з ДБН В.1.2-2:2006 [3] розрізняють навантаження постійні та тимчасові. Тимчасові навантаження підрозділяються на тривалі, короткочасні й особливі.

Постійними називаються такі навантаження, які діють на будівельну конструкцію постійно. До таких навантажень відносяться власна вага конструкцій, тиск ґрунту, дія попереднього напруження конструкцій тощо.

Тривалими називаються такі навантаження, що діють на конструкцію тривалий час. До таких навантажень відносять масу технологічного устаткування, тиск рідин і газів в резервуарах і трубопроводах, масу складованих вантажів тощо.

Короткочасними називають навантаження, що діють нетривалий час. До таких навантажень відносяться вага людей, рухоме підйомно-транспортне устаткування, сніг, вітер (при пожежі не враховується), вага матеріалів, використовуваних при монтажних, ремонтних і реконструктивних роботах тощо.

Особливі навантаження – це навантаження, які можуть з'явитися у виняткових випадках, а саме:

- при сейсмічній і вибуховій дії;
- аварійних порушеннях технологічного процесу;
- різких просіданнях ґрунтів.

Класифікація цих навантажень, що використовується в ДБН В.1.2-2:2006 [3], дозволяє віднести випадок пожежі до особливих впливів. У відповідності з цим, для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій використовуються постійні та тривалі навантаження.

**Постановка задачі та її розв'язання.** Мета досліджень полягає в розробці взаємозв'язаних заходів щодо визначення напружено-деформованого стану та несучої здатності залізобетонних конструкцій

при спільній дії силових, деформаційних та високотемпературних впливів з подальшим використанням отриманих даних для обґрунтування можливості продовження терміну експлуатації або необхідності ремонту (заміни) конструкцій.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Межею вогнестійкості будівельних конструкцій називають показник вогнестійкості конструкцій, який визначається часом від початку вогневого випробування за стандартним температурним режимом до настання одного з нормованих для даної конструкції граничних станів з вогнестійкості [2]. Межа вогнестійкості знижується зі збільшенням навантажень, що діють на конструкції.

Залежно від виду та умов з'єднання конструкцій, схеми завантаження та невідного поєднання чинних зусиль в перетинах елементів та вузлах визначають максимальні значення згинальних моментів  $M$  і стискаючих зусиль  $N$ . Розрахунок внутрішніх силових чинників, що виконується за правилами опору матеріалів і будівельної механіки, називається статичним розрахунком конструкції.

Пожежне навантаження – це кількість теплоти (МДж), яка виділяється при повному згоранні всіх горючих і важкогорючих матеріалів (зокрема, що входять до складу будівельних конструкцій), які знаходяться в приміщенні або які можуть поступати в нього [3].

Пожежне навантаження визначається на основі [3]:

- проектно-конструкторської документації;
- технологічних карт;
- натурального обстеження приміщень експлуатованих будівель;
- даних щодо пожежонебезпечних властивостей речовин і матеріалів, наведених в довідниковій літературі, спеціалізованих банках даних, а також отриманих в результаті лабораторних і натурних випробувань.

Розрахункова методика будується на основі наступних передумов.

1. Для опису властивостей ґрунтової основи, що деформується, приймається модель змінного коефіцієнта жорсткості [4, 5 та ін.].

2. Для опису властивостей залізобетону приймається модель НДІБК [6, 7 та ін.], основні положення якої наступні:

- як розрахунковий приймається перетин, напружено-деформований стан якого відповідає середньому стану блоку між тріщинами, якщо такі є;
- для середніх деформацій бетону й арматури приймається гіпотеза плоских перетинів;
- зв'язок між напруженнями та деформаціями бетону й арматури приймається у вигляді діаграм (рисунок 1, 2);

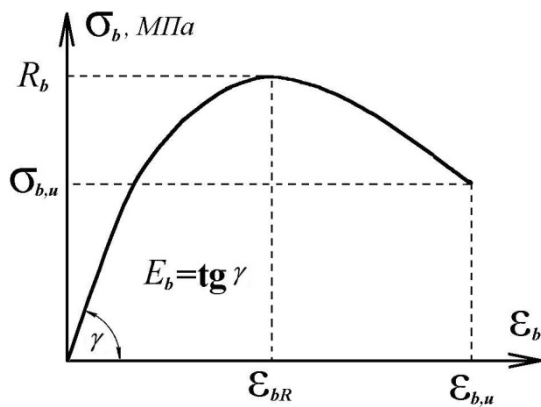


Рисунок 1 – Умовно-точна діаграма "σ - ε" бетону

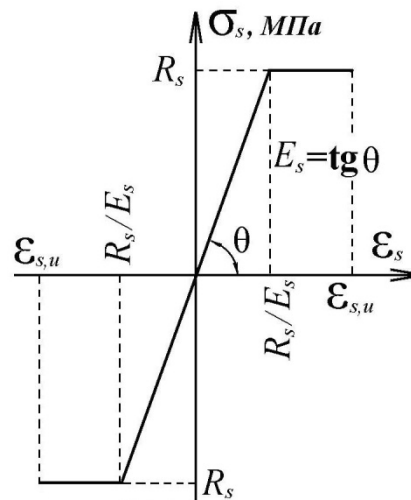


Рисунок 2 – Ідеалізована діаграма "σ - ε" арматурної сталі

- вплив тріщиноутворення на роботу залізобетону враховується шляхом множення опору  $R_{b,t}$  на коефіцієнт  $\varphi_{b,t} < 1$ ;

- вплив температурного нагріву на фізико-механічні властивості бетону враховується за допомогою системи коефіцієнтів:  $\gamma_{bT}$  – коефіцієнта умов роботи для призмової міцності бетону на стиск,  $\gamma_{tT}$  – коефіцієнта умов роботи бетону на розтяг,  $\beta_b$  – коефіцієнта зниження модуля пружності бетону. Емпіричні формули для коефіцієнта умов роботи бетону та коефіцієнта зниження модуля пружності бетону, якими можна користуватися в практичних розрахунках в залежності від виду бетону, наведено в монографії [9];

- напружено-деформований стан перетину залізобетонного елемента визначається за формулою:

$$V_i = M_i / \kappa_i, \quad (1)$$

де  $V_i$ ,  $M_i$ ,  $\kappa_i$  – відповідно жорсткість, згинальний момент і кривизна  $i$ -го перетину;

- вичерпання несучої здатності перетину відбувається у разі досягнення деформаціями стиснутого бетону або розтягнутої арматури своїх граничних значень  $\varepsilon_{b,u}$ ,  $\varepsilon_{s,u}$ .

3. Несуча здатність системи вважається вичерпаною, якщо:

- досягнуто максимум на кривій стану (рисунок 3)

$$\frac{dq_l}{df} = 0, \quad (2)$$

де  $q_l$  – модуль вектора силового впливу;  $f$  – деяке характерне переміщення конструкції;

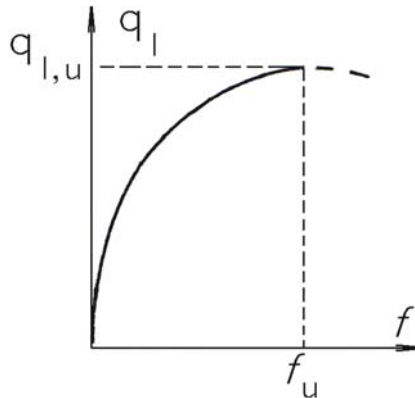


Рисунок 3 – Діаграма стану системи

- зруйновано хоч би один перетин будь-якого елемента;
- ширина розкриття тріщин перевищила допустимі з умов експлуатації значення.

4. Вплив поверхневих руйнувань бетону внаслідок агресивних дій навколишнього середовища, корозійного зносу арматури та високотемпературних впливів враховується шляхом завдання реальних розмірів перетинів елементів і зниження міцності бетону. Міцність бетону елементів, що знаходяться в експлуатації в умовах агресивного середовища або після пожежі, визначається методами неруйнівного контролю або шляхом вилучення проб.

Відповідно до прийнятих передумов, напружено-деформований стан перетину описується системою рівнянь [7]:

$$F(\kappa, \varepsilon_0) - N = 0; \quad (3)$$

$$\Phi(\kappa, \varepsilon_0) - M = 0, \quad (4)$$

де  $\kappa = 1/R$  – кривизна вигнутої осі в перетині ( $R$  – радіус кривизни перетину);  $\varepsilon_0$  – деформації в перетині на рівні центру тяжкості його бетонної частини.

При оцінці напружено-деформованого стану [7] розглядалася можливість існування двох форм рівноваги:

– весь перетин стиснутий або частина його розтягнута, причому деформації розтягування  $\varepsilon_{bt}$  не перевищують величини  $\varepsilon_{bt,R} = R_{bt} / E_b$ ;

– перетин має стиснуту і розтягнуту зони при  $\varepsilon_{bt} > \varepsilon_{bt,R}$ .

Функції  $F(\kappa, \varepsilon_0)$ ,  $\Phi(\kappa, \varepsilon_0)$ , приведені в рівняннях (3) і (4), для різних форм рівноваги мають різний вигляд [7] і залежать від характеристик міцності та деформативності бетону й арматури.

Знаючи параметри напружено-деформованого стану бетону й арматури, можна визначити напружено-деформований стан розрахункового перетину залізобетонного елемента на всіх стадіях навантаження. Це дозволить отримати залежності "зусилля–деформація" і "момент–кривизна" та на їхній основі залежності "деформація–модуль пружності". При цьому необхідно враховувати, що характеристики міцності бетону й арматури залежать як від тривалості дії силового навантаження, так і від можливої дії високої температури під час пожежі. Таким чином, при розрахунках необхідна побудова багатьох вищезазначених залежностей для різних умов експлуатації конструкцій.

Для визначення розрахункового пожежного навантаження розробляється сценарій розвитку можливої пожежі. При цьому необхідно врахувати розвиток площі горіння залежно від місця виникнення загорання, а також вигляду та місця розташування горючих і важкогорючих речовин і матеріалів, їхню швидкість і повноту згорання залежно від умов природної або вимушеної вентиляції, дію на динаміку пожежі систем пожежогасіння. Розрахункове пожежне навантаження визначається на основі критеріїв пожежної безпеки, встановлених ДБН В.1.1–7–2002 [8], для найбільш несприятливого з погляду цих критеріїв сценарію розвитку пожежі.

Напружено-деформований стан системи, яка складається із залізобетонних стрижньових конструкцій (в подальшому – системи), за умов спільної дії силових, деформаційних та високотемпературних впливів, а також агресивного середовища, можна визначити різними методами будівельної механіки. Залежності між прогинами та кривизнами перетинів з достатньою для практичних розрахунків точністю можна визначити за допомогою методу початкових параметрів [10]. Розрахунок системи в цілому можна виконати із застосуванням обчислювальних комплексів типу ЛРА, які засновано на методі скінченних елементів.

Розрахунки системи виконуються, послідовно уточнюючи характеристики перетинів залізобетонних елементів на основі попередньо отриманих залежностей, і елементів що моделюють ґрунтову основу.

Якщо існуюча система за результатами обстежень і розрахунків знаходиться на межі руйнування, необхідно розробити заходи щодо за-

безпечення її тривалої та безпечної експлуатації. Підсилення конструкції можна виконати одним із способів:

- введенням додаткових елементів, які розвантажують існуючі елементи системи;

- підсиленням бетоном або залізобетоном (з можливим введенням і металевих елементів).

Прийняття будь-якого з цих способів підсилення конструкцій залишається за технологами.

Методика розрахунку системи використовувалась при перевірочних розрахунках багатопустотних панелей перекриттів, що отримали пошкодження в результаті пожежі. В ході робіт було встановлено, що конструкції отримали небезпечні пошкодження: руйнування поверхневих шарів бетону на глибину до 50 мм, тріщини, відколи бетону, руйнування по похилих і нормальних перетинах, порушення зчеплення арматури та бетону. Залишкові прогини панелей склали 40...85 мм. Аналіз технічного стану та перевірочні розрахунки конструкцій дозволили зробити висновки про аварійний стан панелей і розробити заходи щодо забезпечення їхньої тривалої та безпечної експлуатації, включаючи проєкт підсилення конструкцій панелей і прилеглих конструкцій стін і перегородок.

#### **Висновки:**

1. Запропоновано методику деформаційного розрахунку залізобетонних елементів з урахуванням властивостей залізобетону, ґрунтів основи і можливості їхньої деградації. Розглядається можливість врахування зміни параметрів елементів і фізико-механічних властивостей матеріалів, в т.ч. і при високотемпературних впливах.

2. Методика розрахунку розповсюджується на залізобетонні стрижньові елементи. Визначено критерії вичерпання несучої здатності.

3. Результатами розрахунків за даною методикою можуть бути не тільки визначення НДС, але й прогноз поведінки конструкції в часі й оцінка залишкового ресурсу, тобто сумарного напрацювання елемента від моменту контролю його технічного стану до переходу в граничний стан. Прогноз вичерпання несучої здатності дозволить визначити слабкі елементи системи та розробити відповідні заходи захисту конструкцій.

#### **Бібліографічний список**

1. Мосалков И.Л. *Огнестойкость строительных конструкций* / И.Л. Мосалков, Г.Ф. Плюснина, А.Ю. Фролов / – М.: Спецтехника, 2001. – 484 с.

2. ДСТУ Б В.1.1-4-98\*. *Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги.* – К.: Держбуд України, 2005. – 18 с.

3. ДБН В.1.2-2:2006. *Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування.* – К.: Мінбуд України, 2006. – 60 с.

4. ДБН В.1.1-5-2000. *Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. Часть 1. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях. Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины.* – К.: Держбуд України, 2000. – 63 с.

5. ДБН В.1.1-5-2000. *Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. Часть 2. Здания и сооружения на просадочных грунтах. Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины.* – К.: Держбуд України, 2000. – 87 с.

6. *Методические рекомендации по определению жесткости железобетонных элементов.* – К.: НИИСК Госстроя СССР, 1987. – 42 с.

7. *Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона.* – К.: НИИСК Госстроя СССР, 1987. – 24 с.

8. ДБН В.1.1-7-2002. *Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва.* – К.: Держбуд України, 2003. – 41 с.

9. Псюк В.В. *Несущая способность стержневых элементов при наличии ниспадающего участка диаграммы «момент – кривизна»* / В.В. Псюк, Л.Н. Филатова, А.И. Голоднов / Буд. Конструкції. Міжвідом. наук.-техн. зб. Вип. 74. Книга 1. – К.: НДІБК, 2011. – С. 301-308.

10. *Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре* / А.Ф. Милованов. – М.: Стройиздат, 1988. – 304 с.

**Рекомендовано до друку д.т.н., проф. Должиковим П.М.**