

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
КОНСТРУКЦІЙ ПРИ СПІЛЬНІЙ ДІЇ СИЛОВИХ, ДЕФОРМАЦІЙНИХ
ТА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ**

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ СИЛОВЫХ,
ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВЛИЯНИЙ**

**FEATURES OF PLANNING OF REINFORCE-CONCRETE
CONSTRUCTIONS AT THE UNITED ACTION OF POWER,
DEFORMATION AND HIGH TEMPERATURE INFLUENCES**

Отрош Ю.А., к.т.н. (Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля, м. Черкаси)

Отрош Ю.А., к.т.н. (Академия пожарной безопасности им. Героев Чернобыля, г. Черкасы)

Otrosh Y.A., candidate of technical sciences (Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes, Cherkassy)

Викладено особливості проектування залізобетонних конструкцій при спільній дії силових, деформаційних та високотемпературних впливів. Методика дозволяє отримати прогноз вичерпання несучої здатності, визначити слабкі конструкції, ефективно розподілити матеріал або розробити відповідні заходи для захисту конструкцій.

Изложены особенности проектирования железобетонных конструкций при совместном действии силовых, деформационных и высокотемпературных воздействий. Методика позволяет получить прогноз исчерпания несущей способности, определить неравнопрочные конструкции, эффективно распределить материал или разработать соответствующие мероприятия для защиты конструкций.

The features of planning of reinforce-concrete constructions are expounded at the united action of power, deformation and high temperature influences. Methodology allows to get the prognosis of exhausting of bearing strength, define constructions, effectively to distribute material or work out corresponding measures for defence of constructions.

Ключові слова:

Залізобетонні елементи, силові, деформаційні та високотемпературні впливи, напружено-деформований стан, несуча здатність, заходи захисту.

Железобетонные элементы, силовые, деформационные и высокотемпературные воздействия, напряженно-деформированное состояние, несущая способность, меры защиты.

Reinforced-concrete elements, power, deformation and high temperature influences, tensely-deformed state, bearing ability, measures of defence.

Стан питання та задачі досліджень. Визначення напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій при спільній дії силових, деформаційних і високотемпературних впливів залишається складним завданням, загальне рішення якого відсутнє. При вирішенні цього завдання необхідно зважати на специфіку деформації всіх елементів системи (грунтової основи, фундаментів, колон, пластинчастих елементів перекриттів, стін будівлі тощо), а також їхній взаємний вплив. Деформаційні впливи можуть отримати розвиток як під час тривалого терміну експлуатації будівлі (підроблення території внаслідок розробки родовищ корисних копалин, процеси деградації в ґрунтах основи, в т.ч. за рахунок зволоження, локальне перевантаження конструкцій тощо), так і під час гасіння пожежі, оскільки цей процес супроводжується локальними замочуваннями ґрунтів основи в місцях пожежі.

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]).

Класифікація цих навантажень, що використовується в ДБН В.1.2-2:2006 [3], дозволяє віднести випадок пожежі до особливих впливів.

Постановка мети. Мета досліджень – врахування особливостей визначення напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій при спільній дії силових, деформаційних та високотемпературних впливів з подальшим використанням отриманих даних для обґрунтування конструктивних рішень конструкцій, будівель та споруд в цілому.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Залежно від виду та умов з'єднання конструкцій, схеми завантаження та невігідного поєднання чинних зусиль в перетинах елементів та вузлах визначають максимальні значення згинальних моментів M і стискальних зусиль N .

Пожежне навантаження визначається на основі [3]:

- проектно-конструкторської документації;
- технологічних карт;
- натурного обстеження приміщень експлуатованих будівель;

- даних щодо пожежонебезпечних властивостей речовин і матеріалів, наведених в довідковій літературі, спеціалізованих банках даних, а також отриманих в результаті лабораторних і натурних випробувань.

Методика досліджень. 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 [6, 7, 8 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 (рис. 1, 2);

- 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: γ_{bT} – коефіцієнта умов роботи для призмової міцності бетону на стиск, γ_{iT} – коефіцієнта умов роботи бетону на розтяг, β_b – коефіцієнта зниження модуля пружності бетону. Емпіричні формули для коефіцієнта умов роботи бетону та коефіцієнта зниження модуля пружності бетону в залежності від виду бетону наведено в монографії [9];

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

$$F(\kappa, \varepsilon_0) - N = 0; \quad (1)$$

$$\Phi(\kappa, \varepsilon_0) - M = 0, \quad (2)$$

де $\kappa = 1/R$ – кривизна вигнутої осі в перетині (R – радіус кривизни перетину); ε_0 – деформації в перетині на рівні центру тяжкості його бетонної частини;

- залежність між кривизною розрахункового перетину і діючим згинальним моментом у цьому перетині можна записати у вигляді:

$$B_i = M_i / \kappa_i, \quad (3)$$

де B_i, M_i, κ_i – відповідно жорсткість, згинальний момент і кривизна i -го перетину;

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

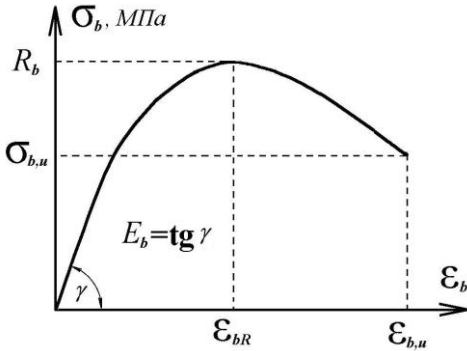


Рис. 1. Умовно-точна діаграма "σ - ε" бетону

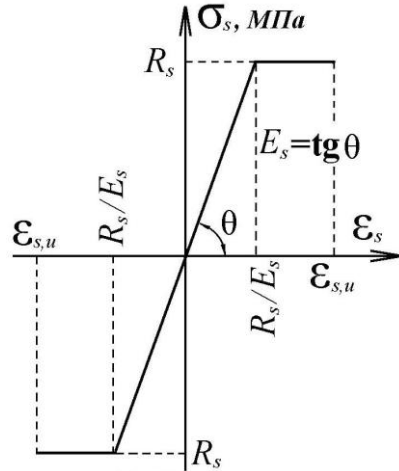


Рис. 2. Ідеалізована діаграма "σ - ε" арматурній сталі

3. Зміну жорсткості перетинів залізобетонного елемента за довжиною можна врахувати за допомогою коефіцієнтів α_i , чисельні значення яких можна визначити за наступною формулою:

$$\alpha_i = B_i/B_{el} = M_i/(\kappa_i \cdot B_{el}), \quad (4)$$

де B_{el} – пружна жорсткість залізобетонного елемента, яка визначається за відомими формулами опору залізобетону.

4. Несуча здатність системи вважається вичерпаною, якщо:

- досягнуто максимум на кривій стану (рис. 3)

$$\frac{dq_l}{df} = 0, \quad (5)$$

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

- зруйновано хоч би один перетин будь-якого елемента;
- ширина розкриття тріщин перевищила допустимі з умов експлуатації значення;
- розрахункова межа вогнестійкості конструкцій не відповідає вимогам чинних норм.

При оцінці напружено-деформованого стану розглядається можливість існування двох форм рівноваги:

весь перетин стиснутий або частина його розтягнута, причому деформації

розтягування ε_{bt} не перевищують величини $\varepsilon_{bt,R} = R_{bt}/E_b$;

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

Функції $F(\kappa, \varepsilon_0)$, $\Phi(\kappa, \varepsilon_0)$, які наведено в рівняннях (1) і (2), для різних форм рівноваги мають різний вигляд і залежать від характеристик міцності та деформативності бетону й арматури.

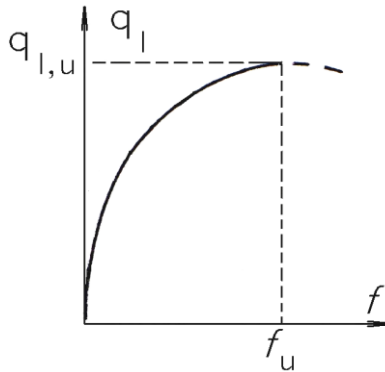


Рис. 3 Діаграма стану системи

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.

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.

Напружено-деформований стан системи, яка складається із залізобетонних стержньових конструкцій, 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 [11]. Розрахунок системи в цілому можна виконати із застосуванням обчислювальних комплексів типу ЛПРА.

Розрахунки системи виконуються, послідовно уточнюючи характеристики перетинів залізобетонних елементів на основі попередньо отриманих залежностей, і елементів що моделюють ґрунтову основу. Врахування нелінійних властивостей бетону можна виконати шляхом зменшення модуля

пружності бетону залізобетонних шляхом множення його на коефіцієнт α_1 , яким визначається за формулою (4).

Якщо проектувана система за результатами розрахунків з урахуванням усіх чинників знаходиться на межі руйнування, необхідно розробити заходи щодо забезпечення її тривалої та безпечної експлуатації. Підсилення конструкції можна виконати одним із способів:

- введенням додаткових елементів, які розвантажують існуючі елементи системи;

- прийняттям ефективних перетинів для несучих конструкцій (наприклад, для колон – круглого перетину) або нанесення захисних покриттів;

- ефективним розподілом матеріалу в системі (прийняття підвищеного шару бетону для арматури, введення додаткового армування тощо).

Результати досліджень. Як приклад, наведено результати визначення вогнестійкості найбільш навантаженої колони паркінгу однієї з проєктованих адміністративних будівель [12].

Максимальне навантаження на колону паркінгу згідно розрахунку при нормативних значеннях навантажень становить 705,32 т. Враховуючи розміри колони (перетин 800x800 мм, висота 3,3 м), а також незначну величину згинального моменту, в подальших розрахунках умовно вважалось, що колона працює на центральний стиск.

На рис. 4 наведено схема розподілу температури по перетину колони при різних проміжках часу нагрівання (наведено четверту частину перетину) [13].

Розрахункові параметри бетону і арматури при розрахунках за граничними станами II групи:

бетон класу B25 – $R_b = 18,5 \text{ МПа}$, $R_{bt} = 1,6 \text{ МПа}$;

арматура класу АIII – $R_s = 390 \text{ МПа}$.

Для визначення вогнестійкості конструкції перетин був розбитий на квадрати зі стороною 5 см. В центрі кожного квадрата визначалась температура за даними з рис. 4 і розрахунковий опір бетону в залежності від температури. Залежність розрахункового опору бетону від температури визначалась за формулами, які наведено в роботі [14]. Температура визначалась і в арматурі, причому при досягненні в арматурі температури 500 °С вважалось, що арматуру виключено з роботи. Після визначення розрахункових опорів в залежності від температури визначено несучу здатність при прогріванні упродовж певного проміжку часу τ . Результати розрахунків (крива 1) наведено на рис. 5.

Як видно з рис. 5, несуча здатність колони після 120 хв. її прогрівання з чотирьох сторін становить 740,65 т, що перевищує максимальну величину чинного зусилля, яке дорівнює 705,32 т. На основі виконаних розрахунків зроблений висновок, що вогнестійкість колони становить не менш як 120 хв, тобто відповідає R120.

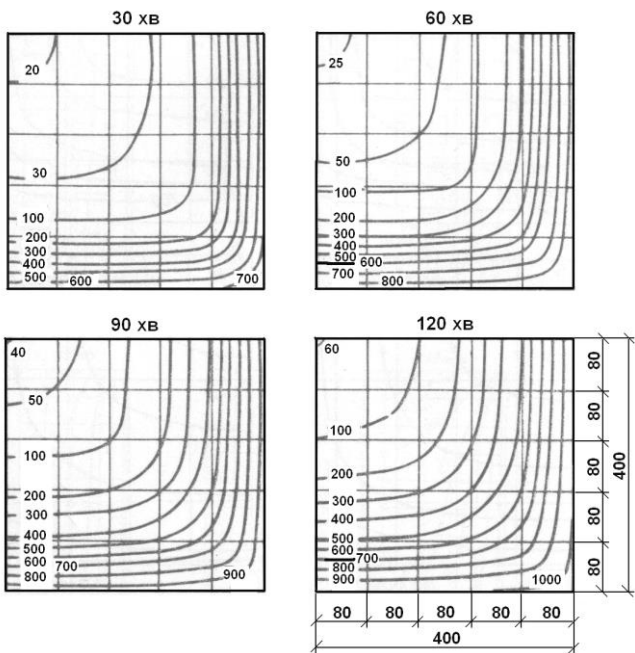


Рис. 4. Розподіл температури в перетині колони при пожежі

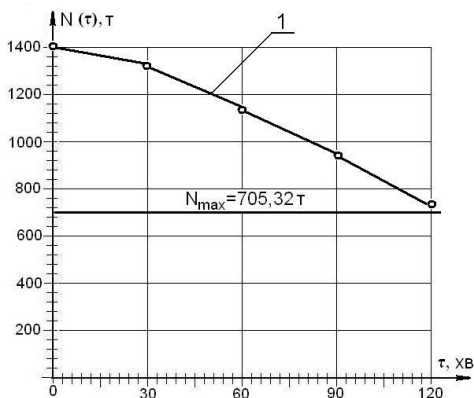


Рис. 5. Результати визначення вогнестійкості колони

Висновки :

1. Запропоновано методику розрахунку залізобетонних стрижневих елементів з урахуванням властивостей залізобетону та ґрунтів основи. Розглядається можливість врахування зміни параметрів елементів і фізико-механічних властивостей матеріалів.

2. Наведено результати практичних розрахунків вогнестійкості проєктованих конструкцій. Розподіл температури по перетину конструкції можна визначити за результатами теплотехнічного розрахунку або прийняти за довідковими даними. В залежності від температури розігріву визначено контрольовані параметри і виконано розрахунок міцності.

Список використаних джерел.

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 / Держбуд України. – 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 проєктування / Мінбуд України. – 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 / НИИСК Госстроя СССР. – К.: НИИСК, 1987. – 42 с. 7. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона / НИИСК СССР. – К.: НИИСК, 1987. – 24 с. 8. ДБН В. 2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення / Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. 9. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. – М.: Стройиздат, 1998. – 304 с. 10. ДБН В.1.1–7–2002. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва / Держбуд України. – К.: Держбуд України, 2003. – 41 с. 11. 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. / НДІБК. – К.: НДІБК, 2011. – Вип. 74. – Книга 1. – С. 301-308. 12. Голоднов О.І. Особливості розрахунку і проєктування каркасно-монолітних будинків в умовах існуючої міської забудови / О.І.Голоднов, С.В.Козлов, О.Я. Червинський та ін. // Нові технології в будівництві. – 2008. – № 1 (15). – С. 84–88. 13. Рекомендації по обстеженню зданий і споружений, поврежденных пожаром / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1987. – 80 с. 14. Семиног М.М. До розрахунку елементів будівель при високотемпературних впливах / М.М. Семиног // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури: Збірник наукових праць: Будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Макіївка: ДонДАБА, 2009. – Вип. 2009-4 (78). – С. 193–198.