

*д.т.н. Голоднов О.І.
(ВАТ УкрНДІПСК ім. В.М.Шимановського, м. Київ, Україна),
Гордійок М.П.
(УкрНДІПБ, м. Київ, Україна),
Ткачук І.А.
(Випробувальний центр ТОВ «ТЕСТ», м. Бровари, Україна),
Семиног М.М.
(Броварське управління ГУ МНС України в Київській обл.)*

МІЦНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ СИЛОВИХ І ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВАХ

Викладені методичні підходи до визначення характеристик матеріалів конструкцій будівель при силових і високотемпературних впливах. Показана важливість рішення цього питання стосовно будівель для оцінки можливості їхньої подальшої експлуатації після пожежі.

***Ключові слова:** залізобетонні конструкції, міцність бетону й арматури, силові та високотемпературні впливи.*

Изложены методические подходы к определению характеристик материалов конструкций зданий при силовых и высокотемпературных воздействиях. Показана важность решения этого вопроса применительно к зданиям для оценки возможности их последующей эксплуатации после пожара.

***Ключевые слова:** железобетонные конструкции, прочность бетона и арматуры, силовые и высокотемпературные воздействия.*

Аналіз досліджень і публікацій. Залізобетонні елементи залишаються основними складовими частинами житлових і громадських будинків. Останнім часом у зв'язку зі значним зростанням об'ємів будівництва монолітно-каркасних будівель підвищеної поверховості актуальним залишається питання пожежної безпеки при експлуатації, в першу чергу, колон і пілонів, оскільки виключення з роботи стиснутих елементів може призвести до руйнування будинку в цілому.

Досвід експлуатації стінових панелей, колон, інших пластинчастих стиснутих і згинаних елементів свідчить про їхній достатній запас несучої здатності за умов відсутності непередбачуваних високотемпературних впливів. Як одна з найбільш істотних причин

підвищеної небезпеки для таких конструкцій розглядається нерівномірний нагрів і зміна характеристик міцності та деформативності під час і після пожежі. У зв'язку з цим виникає необхідність в проведенні робіт по обстеженню, оцінці технічного стану та відновленню експлуатаційної придатності існуючих конструкцій, а також прогнозування технічного стану та можливого передбачення руйнування при високотемпературних впливах з подальшим використанням захисних заходів. При цьому необхідно вирішувати питання, пов'язані із забезпеченням тривалої та надійної експлуатації будівельних конструкцій, в тому числі при дії підвищених і високих температур, за рахунок прийняття відповідних матеріалів або захисних заходів, визначенням напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій при різних впливах і виконанням робіт із продовження терміну експлуатації як окремих конструкцій, так і будівель в цілому [1, 2, 3, 4, 5 тощо].

Постановка задачі. Основною задачею цієї роботи є розробка інженерної, орієнтованої на чинні норми, методики розрахунку залізобетонних стрижньових і пластинчастих елементів при силових і високотемпературних впливах.

Мета роботи – виявлення особливостей роботи, оцінки НДС и несучої здатності залізобетонних конструкцій, що знаходяться в експлуатації, за наявності високотемпературних впливів з розробленням заходів щодо запобігання руйнування конструкцій.

Викладення матеріалу та його результати. Як відомо, до чинників, що визначають поведінку будівельних конструкцій в умовах пожежі, відносять:

- 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* [6], фактичні межі вогнестійкості будівельних конструкцій визначаються при дії нормативних навантажень (приймаються характеристичні значення величин навантажень згідно ДБН В.1.2-2:2006 [7]). Величини нормативних навантажень встановлюються залежно від призначення конструкцій і умов їх експлуатації.

У відповідності з ДБН В.1.2-2:2006 [7] 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 маса конструкцій, тиск ґрунту, дія попереднього напруження конструкцій тощо.

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

Короткочасними називають навантаження, що діють нетривалий час. До таких навантажень відносяться маса людей, рухоме підйомно-транспортне устаткування, сніг, вітер (при пожежі не враховується), маса 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 [7], дозволяє віднести випадок пожежі до особливих впливів. У відповідності з цим, для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій використовуються постійні та тривалі навантаження.

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 [6]. Межа вогнестійкості знижується зі збільшенням навантажень, що діють на конструкції.

Залежно від виду та умов з'єднання конструкцій, схеми завантаження та не вигідного поєднання чинних зусиль в перетинах елементів та вузлах визначають максимальні значення згинальних моментів M і стискальних 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 трудногорючих матеріалів (зокрема, що входять до складу будівельних конструкцій), що знаходяться в приміщенні або які можуть поступати в нього [2].

Пожежне навантаження визначається на основі [2]:

- проектно-конструкторської документації;
- технологічних карт;
- натурального 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.

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 трудногорючих 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 [5], для найбільш несприятливого з погляду цих критеріїв сценарію розвитку пожежі.

Поведінка будівельних конструкцій при пожежі визначається також температурним режимом пожежі та його 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 захисних конструкціях тощо. Це означає, що при одному і тому ж пожежному навантаженні можливі різні варіанти розвитку пожежі.

В даний час основним методом розрахунку будівельних конструкцій для умов експлуатації і монтажу є метод граничних станів. Суть методу полягає у встановленні для конструкцій так званих граничних станів і в забезпеченні конструкцій розрахунковим шляхом від настання цих станів.

Граничним називається такий стан конструкції, при досягненні якого вона перестає задовольняти вимогам, що пред'являються до неї в процесі експлуатації або монтажу, тобто конструкція втрачає здатність чинити опір зовнішнім діям або отримує неприпустимі деформації.

В основу розробленої методики врахування нелінійних властивостей залізобетону при силових впливах покладені такі передумови [8, 9 та ін.]:

- як розрахунковий приймається перетин, НДС 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 умовно-точних або ідеалізованих діаграм;
- вплив тріщиноутворення на роботу залізобетону, врахований шляхом множення опору R_{bt} на коефіцієнт $\psi_{bt} < 1$;

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

Несуча здатність (придатність для нормальної експлуатації) залізобетонної конструкції вважається вичерпаною, якщо:

– досягнутий максимум на кривій стану (граничний стан першої групи)

$$\frac{dq}{df} = 0, \quad (1)$$

де q – модуль вектора силового впливу;

f – деяке характерне переміщення конструкції;

– зруйнований хоч би один перетин будь-якого елемента конструкції (граничний стан першої групи);

– ширина розкриття тріщин або прогини перевищили допустимі за умов експлуатації значення (граничний стан другої групи).

На несучу здатність і деформативність будівельних конструкцій, що знаходяться в умовах пожежі, впливають фізико-механічні властивості матеріалу конструкції, що змінюються залежно від температури нагріву. Зокрема, такі властивості визначаються межею міцності (R) і модулем пружності (E) матеріалу, з якого виконані конструкції. При зміні температури від 20 °С до 200...300 °С межа міцності деяких марок сталей і бетону збільшується: в першому випадку за рахунок зниження технологічних напружень, а в другому – за рахунок зменшення вільної вологи в порах бетону (рис. 1). На цьому рисунку: $R_{b,tem}$ – призмове міцність в залежності від температури, %; $R_{bt,tem}$ – міцність на розтяг в залежності від температури, %.

Залежності зміни характеристик міцності можуть бути отримані безпосередньо з рисунку 1 або розраховані любим відомим методом, наприклад, методом найменших квадратів. Формули, отримані із застосуванням методу найменших квадратів для призмової міцності, мають вигляд:

- для керамзитобетону

$$\frac{R_{b,tem}}{R_b} = 0,98 + 0,102 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,02555 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2; \quad (2)$$

- для важкого бетону на ділянці від 60 °С до 700 °С

$$\frac{R_{b,tem}}{R_b} = 0,6184 + 0,232 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,03608 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2. \quad (3)$$

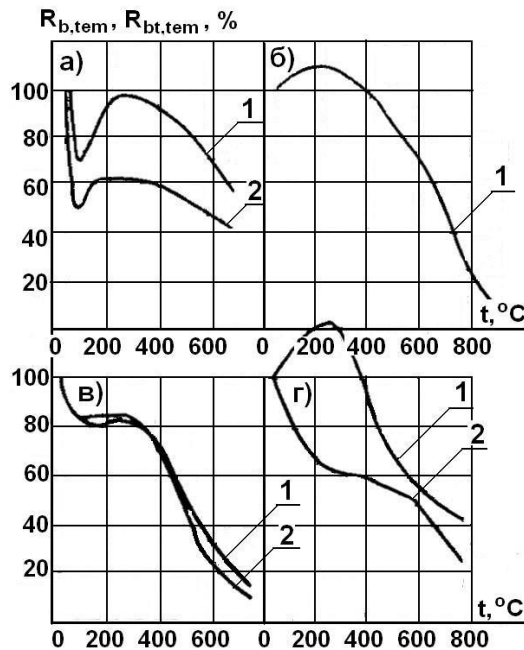
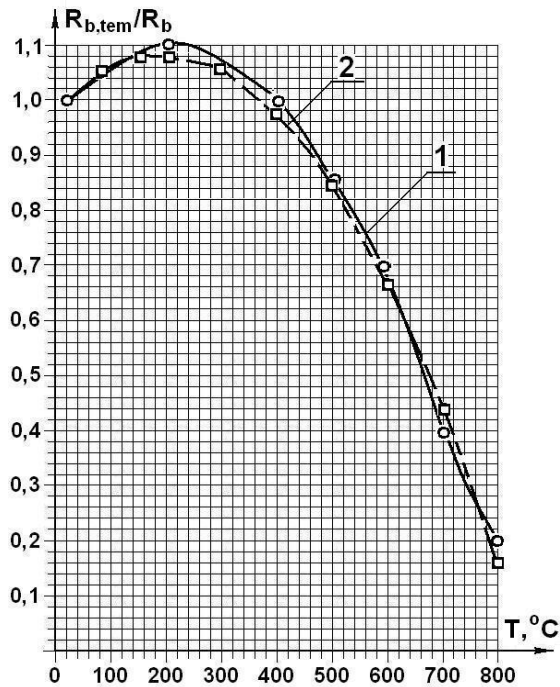


Рисунок 1 – Вплив нагрівання на призмову міцність (крива 1) і міцність на розтяг (крива 2) [3]:
а) звичайного важкого бетону; б) керамзитобетону; в) високоміцного бетону; г) керамзитоперлитобетону

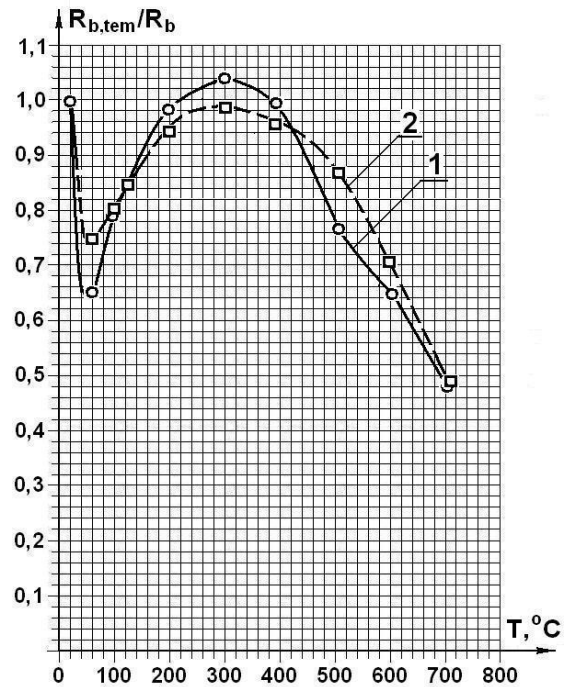
Графіки залежності « $R_{b,tem} / R_b - t$ » для керамзитобетону і важкого бетону, побудовані за формулами (3) і (4) наведені на рисунку 2. На цьому рисунку: криві 1 побудовані за даними А.Ф. Мілованова [3] і рисунок 1; теоретичні криві 2 побудовані відповідно за формулою (2) для керамзитобетону і формулою (3) для важкого бетону.

Як видно з цього рисунку, теоретичні криві 2 доволі близько співпадають з експериментальними кривими 1, що дозволяє зробити висновок про можливість використання формул (2) і (3) для подальших розрахунків конструкцій.

Збільшення температури матеріалу сприяє зниженню його модуля пружності, тобто деформативність конструкції при цьому збільшується. Модуль пружності конструкційних матеріалів при збільшенні температури знижується. Загальний вигляд зміни модуля пружності бетону від температури наведений на рисунку 3.



а)



б)

Рисунок 2 – Графіки залежності « $R_{b,tem}/R_b - t$ » для керамзитобетону (а) і важкого бетону (б)

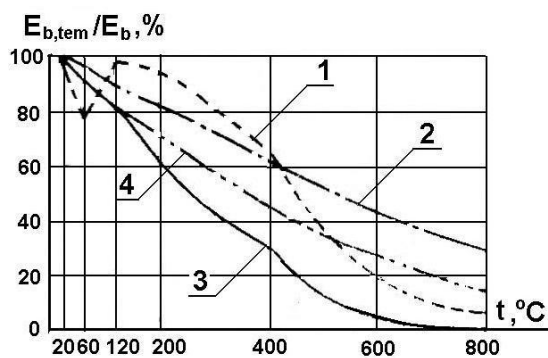


Рисунок 3 – Залежності

« $E_{b,tem}/E_b - t$ » [3]:

крива 1 – для звичайного важкого бетону; крива 2 – для керамзитобетону; крива 3 – для високоміцного бетону; крива 4 – для керамзитоперлітобетону

Залежності зміни модуля пружності бетону від температури можуть бути отримані по аналогії із залежностями для міцності бетону методом найменших квадратів. Формули, отримані із застосуванням методу найменших квадратів для модуля пружності, мають вигляд:

- для керамзитобетону

$$\frac{E_{b,tem}}{E_b} = 1,025 - 0,121 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) + 0,00367 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2; \quad (4)$$

- для важкого бетону на ділянці від 120 °C до 800 °C

$$\frac{E_{b,tem}}{E_b} = 1,2 - 0,14 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,0012 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2. \quad (5)$$

Графіки залежності « $E_{b,tem}/E_b - t$ » для керамзитобетону і важкого бетону, побудовані за формулами (4) і (5) наведені на рисунку 4. На цьому рисунку: криві 1 побудовані за даними А.Ф. Мілованова [3] і рисунок 3; теоретичні криві 2 побудовані відповідно за формулою (4) для керамзитобетону і формулою (5) для важкого бетону.

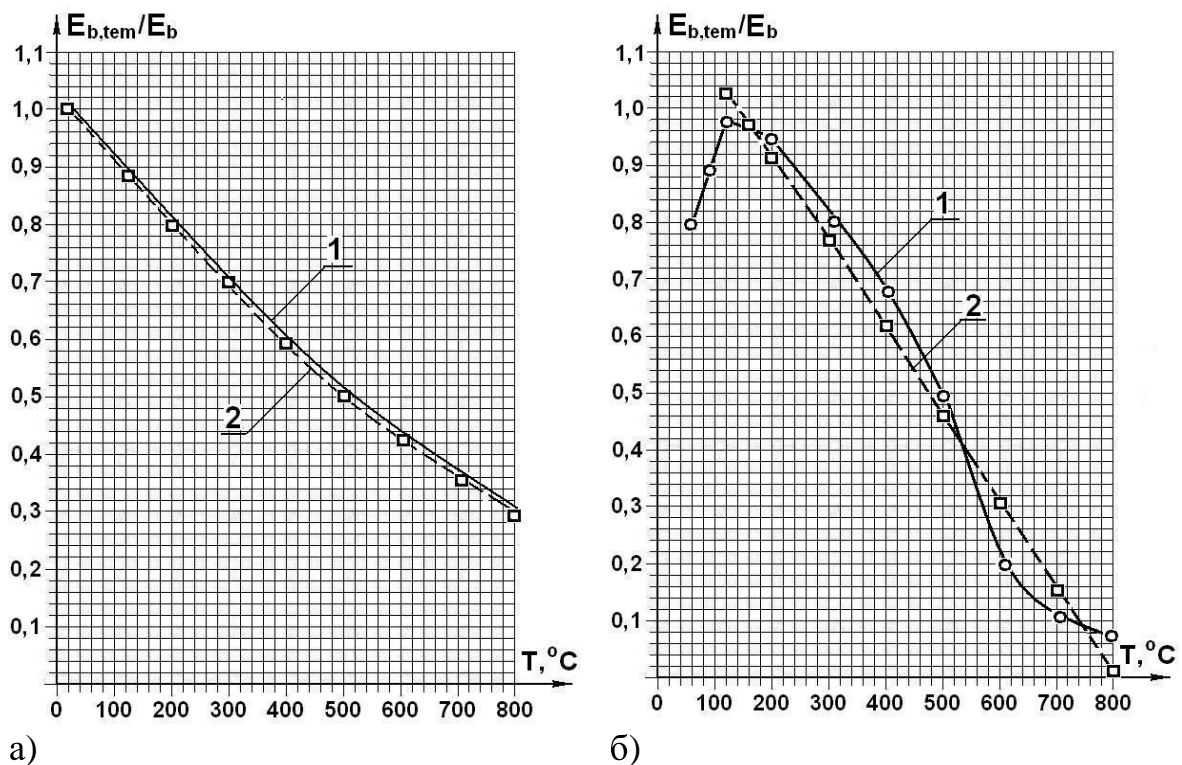


Рисунок 4 – Графіки залежності « $E_{b,tem}/E_b - t$ » для керамзитобетону (а) і важкого бетону (б)

Як видно з цього рисунку, теоретичні криві 2 доволі близько співпадають з експериментальними кривими 1, що дозволяє зробити висновок про можливість використання формул (4) і (5) для подальших розрахунків конструкцій.

Для визначення межі вогнестійкості з умови настання граничного стану по несучій здатності необхідно виконати статичну (міцнісну) частину розрахунку. У статичній частині обчислюють несучу здатність конструкцій, що нагріваються при пожежі, з урахуванням зміни характеристик міцності матеріалів при високих температурах.

Виконується наступна послідовність розрахунку:

- задаються окремими періодами часу нагрівання конструкції;

- для заданих періодів часу теплотехнічним розрахунком визначають температуру в перетині конструкції;
- статичним розрахунком для цих же проміжків часу визначають несучу здатність конструкції з урахуванням зміни механічних характеристик матеріалу;
- будують графік зниження несучої здатності конструкції в часі;
- по графіку визначають значення межі вогнестійкості t_{fr} , тобто часу, після досягнення якого несуча здатність конструкції знизиться до величини внутрішніх силових чинників від нормативного навантаження.

Розрахунок межі вогнестійкості будівельних конструкцій виконується з урахуванням наступних допущень:

- розрахунку піддається окрема конструкція або конструктивний елемент без урахування зв'язку з іншими конструкціями, тобто не враховується спільна робота конструкцій будівлі або споруди;
- конструктивні елементи в умовах дії температурного режиму, представленого у вигляді залежності середньооб'ємної температури від часу, нагріваються однаково по всій довжині або висоті;
- витоками тепла по торцях конструкції нехтують, температурні напруження в конструкції, що з'являються в результаті її нерівномірного прогрівання і через зміну пружнопластичних властивостей матеріалу, не враховуються.

Висновки

На основі проведених досліджень зроблені наступні висновки.

1. Пожежні навантаження на конструкції та будівлі в цілому можливі за любых умов експлуатації. В чинних нормах проектування залізобетонних конструкцій відсутні розрахункові методики та пропозиції з конструювання, які б забезпечили вогнестійкість конструкцій на стадії проектування для подальшої безпечної експлуатації при дії високих температур.

2. Наведені передумови та допущення, за допомогою яких можна виконувати врахування непружних властивостей бетону при силових і високотемпературних впливах.

3. Наведені залежності, які дозволяють враховувати зміну модуля пружності та призмової міцності різних бетонів в залежності від температури як для проєктованих конструкцій, так і тих, що знаходяться в експлуатації. Запропоновані формули дозволять виконати теплотехнічний і статичний розрахунки залізобетонних конструкцій і в подальшому зробити висновок про можливість подальшої експлуатації або необхідність ремонту та підсилення.

Бібліографічний список

1. 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.
2. Мосалков И.Л, Плюсина Г.Ф., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций. – М.: Спецтехника, 2001. – 484 с.
3. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.
4. 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.
5. ДБН В.1.1–7–2002. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва / Держбуд України. – К.: Держбуд України, 2003. – 41 с.
6. 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.
7. 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.
8. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона / НИИСК Госстроя СССР. – Киев, 1987. – 24 с.
9. Гольшев А.Б. О диаграмме состояния бетона при осевом сжатии и деформациях его предельной сжимаемости // Буд. конструкції: Міжвідом. наук.-техн. зб. / НДІБК. – Київ: НДІБК, 2003. – Вип. 58. – С. 21–24.