

УДК 69.059.22:699.8

## **Зміна характеристик міцності та деформативності матеріалів залізобетонних конструкцій при високотемпературних впливах**

**Ткачук І.А.**

ТОВ «Тест», м. Бровари, Україна

**Анотація.** Викладені методичні підходи до визначення характеристик матеріалів будівель після високотемпературних впливів. Показана важливість рішення цього питання стосовно будівель для оцінки можливості їхньої подальшої експлуатації після пожежі.

**Аннотация.** Изложены методические подходы к определению характеристик материалов зданий после высокотемпературных воздействий. Показана важность решения этого вопроса применительно к зданиям для оценки возможности их дальнейшей эксплуатации после воздействия пожара.

**Abstract.** The methodical approaches is expounded near determination of descriptions of materials of buildings after high temperature influences. Importance of decision of this question is rotined as it applies to buildings for the estimation of possibility their to further exploitation after influences of fire.

**Ключові слова:** залізобетонні та сталеві конструкції, високотемпературні впливи, міцність бетону та сталі.

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

Досвід експлуатації стінових панелей, колон, інших пластинчастих стиснених 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 і деформативності під час і після пожежі. У зв'язку з цим виникає необхідність у проведенні робіт із обстеження, оцінки технічного стану та відновленню експлуатаційної придатності існуючих конструкцій, а також прогнозування технічного стану і можливого передбачення руйнування при високотемпературних впливах із подальшим використанням захисних заходів. При цьому необхідно вирішувати питання, пов'язані із забезпечен-

ням 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 – 5].

**Мета роботи.** Виявлення особливостей роботи, оцінка НДС і несучої здатності залізобетонних конструкцій, що знаходяться в експлуатації, за наявності високотемпературних впливів із розробленням заходів щодо запобігання руйнуванню конструкцій.

**Основна частина.** До чинників, що визначають поведінку будівельних конструкцій в умовах пожежі, відносять:

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

Згідно з [6] фактичні межі вогнестійкості будівельних конструкцій визначаються при дії нормативних навантажень (приймаються характеристичні значення величин навантажень згідно з [7]). Величини нормативних навантажень встановлюються залежно від призначення конструкцій і умов їх експлуатації.

У відповідності з [7] розрізняють навантаження постійні та тимчасові. Тимчасові навантаження підрозділяються на тривалі, короточасні 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 у резервуарах і трубопроводах, маса складованих вантажів тощо.

Короточасними називають навантаження, що діють нетривалий час. До таких навантажень відносяться маса людей, рухоме підйомно-транспортне устаткування, сніг, вітер (при пожежі не враховується), маса матеріалів,

використаних під час монтажних, ремонтних і реконструктивних робіт тощо.

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

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

Класифікація цих навантажень, що використовується в [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 із вогнестійкості [6]. Межа вогнестійкості знижується зі збільшенням навантажень, що діють на конструкції.

Залежно від виду та умов з'єднання конструкцій, схеми завантаження та невідного поєднання діючих зусиль в перерізах 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 згорянні всіх горючих і важкоспалимих матеріалів (зокрема, що входять до складу будівельних конструкцій), що знаходяться в приміщенні або які можуть надходити до 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 у довідковій літературі, спеціалізованих банках даних, а також отриманих у результаті лабораторних і натурних випробувань.

Для оцінки пожежного навантаження, за наслідками якого складається карта пожежного навантаження, необхідно скласти перелік усіх приміщень, розташованих у будівлі, і виконати опис пожежного навантаження в кожному з приміщень.

Для визначення розрахункового пожежного навантаження розробляється сценарій розвитку можливої пожежі. При цьому необхідно врахувати розвиток площі горіння залежно від місця виникнення загоряння, а також виду та місця розташування горючих і важкоспалимих речовин і матеріалів, їхню швидкість і повноту згоряння залежно від умов природної або вимушеної вентиляції, дію на динаміку пожежі систем пожежогасіння. Розрахункове пожежне навантаження визначається на основі критеріїв пожежної безпеки, встановлених [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 вид і кількість речовин, що згоряють (тобто пожежного навантаження в приміщенні), розмірів і конфігурації приміщення, розмірів отворів у захисних конструкціях тощо. Це означає, що при одному і тому ж пожежному навантаженні можливі різні варіанти розвитку пожежі.

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 виготовлені 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.

Збільшення температури матеріалу сприяє зниженню його модуля пружності, тобто деформативність конструкції при цьому збільшується. Модуль пружності конструкційних матеріалів при збільшенні температури знижується.

Важливе значення для аналізу поведінки конструкцій в умовах пожежі має характер їх деформації. Температурне розширення бетону в основному залежить від температурних деформацій його заповнювачів. Величина температурних деформацій у важких бетонах на гранітному щебені в два рази більше температурних деформацій легких бетонів на заповнювачі у вигляді керамзиту.

Деформації температурного розширення арматурних сталей зростають із зростанням температури до 700 °С.

Стосовно сталевих конструкцій, а також сталеві арматури в залізо-бетонних конструкціях, значення загальної деформації при пожежі залежить від деформації температурного розширення, зміни модуля пружності, а також деформації повзучості. Під поняттям «температурна повзучість» мається на увазі зміна деформацій в часі постійних значень температури та прикладеного навантаження. Основними чинниками, які впливають на величину та швидкість повзучості, вважаються величини напружень, температура, а також тривалість їхніх дій. Основним чинником залишається рівень напружень, що впливає на швидкість повзучості при певній температурі. Із збільшенням величини напружень швидкість температурної повзучості зростає.

На вогнестійкість будівельних конструкцій впливає умова їхнього нагріву і способи з'єднання конструкцій між собою.

Залежно від умов нагріву розрізняють одностороннє, тристороннє та чотиристороннє нагрівання конструкції [2].

Односторонньому нагріву в умовах пожежі піддаються стіни, перегородки, а також плоскі конструкції перекриття і покриття.

Тристоронньому нагріву можуть піддаватися стрижньові несучі конструкції, до яких відносяться балки перекриттів і покриттів, арки, рами, верхні пояси ферм, колони крайнього ряду, а також ребра ребристих панелей.

Колони середніх рядів в умовах пожежі піддаються обігріву з чотирьох сторін.

Умови нагріву при пожежі мають істотний вплив на несучу здатність будівельних конструкцій. Наприклад, несуча здатність металевої балки при односторонньому нагріванні знижується з меншою швидкістю, ніж при тристоронньому. При однакових зовнішніх геометричних розмірах перерізу і умовах нагріву на несучу здатність конструкції в умовах пожежі впливає масивність конструкції. Із збільшенням маси конструкції збільшується її теплоємність, а, значить і час прогрівання конструкції до температури, при якій спостерігається вичерпання її несучої здатності.

Несуча здатність конструкції в умовах пожежі залежить від способу її з'єднання з іншими конструкціями та способу обпирання (умов на контурі). У будівництві використовуються статично визначені і статично невизначені конструкції. При нагріванні статично невизначених конструкцій в них з'являються додаткові температурні напруження.

Так, при жорсткому заземленні на опорах конструкція позбавлена можливості вільно деформуватися, внаслідок чого в ній з'являються додаткові зусилля і згинальні моменти.

Вплив цього чинника на поведінку будівельних конструкцій в умовах пожежі залежить від матеріалу, з якого виконана конструкція. Наприклад, в статично невизначених металевих конструкціях ці напруження можуть привести до втрати несучої здатності при температурі приблизно 100 °С.

Нагрівання статично невизначених залізобетонних конструкцій призводить до перерозподілу зусиль в них і позитивно впливає на їхню несучу здатність при пожежі. Збільшення кількості сторін опирання плоских будівельних конструкцій також сприяє збільшенню межі вогнестійкості таких конструкцій.

Серед багатьох вимог, що пред'являються до будівельних конструкцій, є вимога відповідності конструкцій своєму призначенню і заданим умовам експлуатації в певний проміжок часу. Ця відповідність будівельних конструкцій необхідним вимогам обумовлюється розрахунком.

У 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 захист конструкцій розрахунковим шляхом від настання цих станів.

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

Розрізняють граничні стани першої і другої груп.

Граничні стани першої групи включають стани, які ведуть до втрати несучої здатності або до повної непридатності конструкції до умов її експлуатації.

До граничних станів цієї групи відносяться загальна втрата стійкості форми, втрата стійкості положення, руйнування будь-якого характеру, перехід у змінну систему, якісна зміна конфігурації, стани, при яких виникає необхідність припинення експлуатації в результаті плинності матеріалу, а також надмірних зрушень у з'єднаннях.

Граничні стани другої групи включають стани, настання яких ускладнює нормальну експлуатацію конструкції або веде до її недовговічності.

До таких станів відносяться неприпустимі переміщення, а також поява або розкриття тріщин у залізобетонних конструкціях.

Вимоги норм полягають у тому, щоб розрахункові величини зусиль, напружень, деформацій, переміщень, розкриття тріщин тощо не перевищували граничних значень, встановлених нормами проектування будівельних конструкцій для будівель і споруд різного призначення.

Основними нормованими характеристиками міцності конструкційних будівельних матеріалів залишаються нормативні та розрахункові опори, значення яких визначаються на підставі даних стандартних випробувань з урахуванням статистичної змінності показників міцності та різного ступеня забезпеченості (довірчої вірогідності) по мінімуму. Для нормативного опору  $R_n$  забезпеченість становить не нижче 0,95.

Коефіцієнт надійності за матеріалом дозволяє врахувати вплив неоднорідності матеріалу на його міцність при переході від малих стандартних зразків до натурних розмірів. Таким чином, використання розрахункових опорів дозволяє створити забезпеченість у проміжку 0,99...0,999.

Несуча здатність в умовах пожежі – це властивість конструкції зберігати свої функції, сприймаючи власну вагу, прикладені нормативні навантаження, а також температурні зусилля, що виникають в умовах вогняного впливу. Для несучих конструкцій (колони, балки, ферми, арки, рами) як граничний стан щодо вогнестійкості розглядається втрата несучої здатності. Залежно від виду матеріалу і характеру роботи конструкції граничний стан за вогнестійкістю може наступити в результаті крихкого руйнування матеріалу або за рахунок розвитку великих необоротних деформацій (рис. 1, 2).



Рис. 1. Руйнування поверхневих прошарків цегляної кладки після пожежі в квартирі житлового будинку



Рис. 2. Руйнування поверхневих прошарків цегляної кладки і бетону монолітних конструкцій перекриття після пожежі

Для конструкцій, що одночасно виконують несучі та огорожувальні функції, необхідно визначити час від початку пожежі до настання граничного стану щодо несучої і теплоізолюючої здатності, а за межу вогнестійкості прийняти мінімальне з набутих значень.

Для визначення межі вогнестійкості з умови настання граничного стану щодо несучої 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 перерізі 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;
- за графіком 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 припущень:

- 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 середньоб'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**

1. Проведений аналіз сучасного стану питання щодо визначення характеристик міцності бетону та арматури під час та після високотемпературного впливу від пожежі. Визначені напрями та завдання досліджень.
2. За результатами виконаного аналізу визначені такі завдання роботи:
  - узагальнення результатів досліджень в області визначення НДС і несучої здатності стиснених конструкцій, обґрунтування необхідності проведення досліджень у цій області, формулювання передумов і припущень;



- розроблення методики проведення експериментальних досліджень фрагментів стиснених залізобетонних елементів під час та після високотемпературних впливів із визначенням характеристик міцності бетону та арматури;
- проведення експериментальних досліджень залізобетонних елементів при високотемпературних впливах із визначенням характеристик міцності бетону та арматури;
- на основі аналізу відомих і отриманих експериментально результатів розроблення методу розрахунку залізобетонних елементів із урахуванням встановлених у процесі впливового навантаження характеристик матеріалів для обґрунтування можливості подальшої експлуатації після пожежі;
- розроблення інженерного методу визначення параметрів НДС і жорсткості стиснених елементів;
- впровадження отриманих результатів при вирішенні практичних задач.

### **Література**

- [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., Плюснина Г.Ф., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций. – М.: Спецтехника, 2001. – 484 с.
- [3] 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.
- [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. – 54 с.
- [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.

*Надійшла до редколегії 24.06.2009 р.*