

УДК 814.8

І.В.Рудешко, В.В.Золотарьов,  
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

## АНАЛІЗ ПОВЕДІНКИ БЕТОННИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ І ЗМІНИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ ДЛЯ РОЗРОБКИ ЕКСПРЕС-МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОСЕРЕДКУ ПОЖЕЖІ

Доведена необхідність розробки простих експрес-методів аналізу термічного ураження бетону під час пожежі для визначення осередку пожежі.

**Ключові слова:** осередок пожежі, будівельні конструкції, термічне ураження, вогневий вплив, структура бетону, фізико-механічні властивості.

**Мета роботи:** довести необхідність розробки нових експрес-методів аналізу термічного ураження бетону залізобетонних і бетонних конструкцій, що надають можливість визначення тривалості нагріву конструкції під час пожежі.

**Постановка проблеми.** Встановлення точних причин виникнення пожежі, їх врахування і глибокий аналіз мають дуже важливе значення в роботі з попередження пожеж, а також під час встановлення наявності або відсутності складу злочину. Достовірне встановлення причини виникнення пожежі можливе тільки за умови встановлення осередку її виникнення. У багатьох випадках вирішення цієї задачі дуже складним питанням.

Загальна схема і основні положення методики визначення осередку пожежі, що засновані на закономірностях протікання процесів горіння та специфічних особливостях окремих причин пожеж наведені у [1,2,3].

У більшості випадків висновок про місцезнаходження осередку пожежі робиться на підставі даних візуального огляду місця пожежі, опитування свідків, вивчення будівельної і технічної документації на об'єкт. Але під час великомасштабних і складних пожеж такої інформації буває недостатньо, тому, що такі пожежі розповсюджуються на великі площі, практично повністю знищують пожежне навантаження, візуальні ознаки осередку пожежі знищуються температурним впливом. Тому, на підставі вищезазначеного можна стверджувати, що проведення додаткових інструментальних досліджень конструкцій для визначення ступеня термічного ураження, являються необхідними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показує, що на теперішній час для експертного дослідження після пожежі виробів із бетону використовуються, в основному, лабораторні методи. Вони дуже інформативні, але мають істотні недоліки – високу вартість обладнання, довготривалість, трудомісткість підготовки проб у лабораторних умовах і глибокі знання фізико-механічних властивостей неорганічних будівельних матеріалів. Тому, подібні дослідження на практиці проводять дуже рідко.

**Постановка завдання.** На теперішній час дуже актуальним являється розробка простих і дешевих експрес-методів аналізу термічного ураження неорганічних матеріалів. А це, у свою чергу, потребує аналізу змін фізико-механічних властивостей бетону і, пов'язаними з ними особливостями поведінки бетонних конструкцій в умовах пожежі.

**Основний матеріал.** Поведінка бетонних будівельних конструкцій в умовах пожежі залежить від пожежного навантаження, їх конструктивного виконання і визначається тривалістю, а також температурним режимом пожежі, призначенням, розмірами, перерізом конструкцій, маркою бетону, типом заповнювача, класом арматури, товщиною захисного шару і т.п.

Температура і тривалість реальних пожеж різні. Якщо тривалість і температура пожеж у підвальних приміщеннях іноді складає 5-6 годин і 800<sup>0</sup>С відповідно, то у житлових приміщеннях 1,0 – 1,5 години і 1000-1100<sup>0</sup>С, у театрах, великих торговельних центрах 2-3

години і до  $1200^{\circ}\text{C}$ , на сховищах горючих рідин, мастильних матеріалів понад 2 години і до  $1300^{\circ}\text{C}$ [4].

Збірні залізобетонні конструкції мають різне функціональне призначення. Під час пожеж в приміщеннях стінові панелі, блоки, панелі і плити перекриття піддаються температурному впливу з однієї сторони [5]. На відміну ферми, ригелі і т.п. конструкції обігріваються з трьох сторін. Колони частіше за все під час пожежі обігріваються з усіх сторін.

Залізобетонні плити покриття і перекриття під час вогневого впливу швидко нагріваються знизу. При цьому температура по перерізу плит змінюється за параболічним законом. Максимальна температура нагрівання спостерігається на поверхні конструкцій і у поверхневому шарі завтовшки 1-2 см. У суцільних залізобетонних плитах, залежно від товщини і властивостей захисного шару бетону, арматура прогривається зі швидкістю 400-600 град/год [6].

Наявність пустот по товщині бетону у тонкостінних плитах суттєво не впливає на зростання температури. Збільшення товщини захисного шару бетону знижує швидкість прогрівання арматури і, тим самим підвищує вогнестійкість плит.

Під час пожежі більш товсті плити деформуються менше, ніж тонкі. Масивні плити мають більшу вологість, і тим самим прогриваються більш повільніше за рахунок випаровування води.

Тонкостінні елементи залізобетонних плит під дією температурних напружень руйнуються по бетону стиснутої зони. На при опорних ділянках тонкостінних плит у початковій стадії вогневого впливу утворюються похилі тріщини. Руйнування плит по похилим перерізам супроводжується розкриттям цих тріщин і незначним прогином елементу [7,8,9].

Швидке підвищення температури на поверхні тонкостінних перерізів елементів плит призводить до вибухоподібного руйнування бетону. Таке руйнування спостерігається у бетонів із вологістю понад 3% і щільністю понад  $1250 \text{ кг/м}^2$ .

Поведінка балок і ригелів в умовах пожежі відрізняється від поведінки плит і панелей. Під час трьохстороннього обігріву тонкі перерізи балок прогриваються дуже швидко. Особливо це стосується тонких стінок двотаврових балок. Збірні, тонкостінні і попередньо напружені балки виготовляють із бетону високої якості. Такі балки під час швидкого прогрівання розтріскуються на окремі блоки, іноді спостерігається вибухоподібне руйнування їх захисного шару.

Залізобетонні колони являються найбільш відповідальними елементами будівель і споруд. Під дією високих температур перепад по перерізу колони може досягати  $800-1000^{\circ}\text{C}$ . У початковий період пожежі спостерігається видовження колон, з'являються тріщини по гранях. Потім починається відшаровування захисного шару, продовжується утворення і розкриття поверхневих тріщин. Із розвитком пожежі, захисний шар бетону прогривається до  $600-800^{\circ}\text{C}$ , поверхневі шари бетону і робоча арматура втрачають міцність. Спостерігається інтенсивне розтріскування і відшаровування захисного шару бетону. Відбувається вигинання оголеної арматури і роздроблення бетону у ядрі перерізу. Різке зменшення поперечного перерізу і зростання напружень від зовнішнього навантаження сприяють руйнуванню колони[11].

Таким чином, на підставі вищезазначеного, можна зробити висновок, що одним із головних факторів, що впливає на вогнестійкість залізобетонних конструкцій під час пожежі являється стійкість бетону щодо високотемпературного впливу під час пожежі. Поведінка бетону при високотемпературному нагріванні визначається властивостями його складових: заповнювачів і цементного каменю [4,5].

Під час нагрівання відбувається усадка цементного каменю і розширення заповнювача. Внутрішні напруження, що виникають, руйнують зчеплення цементного каменю із заповнювачем [12,13].

За умови температур 100-150<sup>0</sup>Сіз цементного каменю виділяється вільна вода, основна частка якої втрачається при 300<sup>0</sup>С. В умовах пожежі у бетоні із вологістю понад 3% відбувається інтенсивне випаровування води. До дії внутрішніх температурних напружень додається тиск водяної пари. Структура бетону руйнується і його поверхневі шари відшаровуються.

При 350-600<sup>0</sup>С відбувається інтенсивне видалення зв'язаної води із цементного каменю, зміна його об'єму і розвиток мікротріщин. У такого бетону різко збільшується пористість і знижується міцність.

Кварц, що входить до складу піску і щебеню, при 573<sup>0</sup>С перетворюється із  $\beta$  у  $\alpha$  модифікацію [14]. Цей період супроводжується значним збільшенням об'єму і зменшенням щільності дрібного і крупного заповнювачів[5].

При 510<sup>0</sup>С розкладається гідрооксид кальцію цементного каменю із утворенням вільної води і оксиду кальцію. На поверхні бетону відбувається посилене утворення тріщин. Розкриття тріщин складає 1-2 мм, довжина – десятки сантиметрів.

При 800-900<sup>0</sup>С відбувається розкладання карбонату кальцію на вуглекислий газ і оксид кальцію, заповнювачі суттєво збільшуються в об'ємі. На поверхні бетону спостерігаються значні руйнування у вигляді відшарувань, утворюються макродефекти. Їх утворення продовжується до повного руйнування бетону. Для такого бетону характерно інтенсивне утворення тріщин, посвітління поверхневого шару, різке зниження міцності.

Поперечний переріз зруйнованого бетонного елемента складається із декількох шарів: перший – найбільш ушкоджений високими температурами має макродефекти, другий – менш зруйнований із мікродефектами, третій – найменш пошкоджений, без дефектів. Для конструкцій з перерізами понад 12 см, критична температура для бетону на гранітному заповнювачі складає 650<sup>0</sup>С.

Структурні зміни у звичайному бетоні під час високотемпературного впливу при обігріві з чотирьох сторін сприяють змінам його фізико-механічних характеристик, навіть до повної втрати міцності.

При нагріванні до 100-150<sup>0</sup>С міцність бетону на стискання збільшується на 10-15%. Під час короткочасної дії до 2 годин температури 200<sup>0</sup>С міцність бетону знижується на 15-25%, порівняно із початковою, а із збільшенням температури до 300<sup>0</sup>С – на 20-30%.

Видалення вільної і зв'язаної води, інтенсивне утворення тріщин у бетоні при 500<sup>0</sup>С знижує міцність бетону на 45-60%. При температурах 700<sup>0</sup>С упродовж години бетони марок М300 і вище практично повністю руйнуються вже за 40 хвилин. Зниження міцності при цьому складає 70-80%.

На підставі вищезазначеного можна сказати, що у результаті високотемпературного (до 700-800<sup>0</sup>С) короткочасного (до 1,5-2 годин) нагрівання у бетоні відбуваються незворотні структурні зміни, що сприяють зниженню, а іноді і повній втраті міцності конструкцій.

### **Висновок.**

Таким чином, бетонні конструкції являються одними із основних конструктивних елементів будівель і споруд. Вони зберігаються після пожежі і являються можливими потенційними об'єктами досліджень під час встановлення осередку пожежі.

На бетонних конструкціях зміни, що візуально фіксуються, відбуваються тільки у зонах високих температур і тому оцінка термічних уражень являє собою достатньо складну задачу. Але, у цементному камені при нагріванні під час пожежі відбувається ряд фізичних і хімічних процесів, що призводять до зміни структури і властивостей бетону, які візуально не фіксуються. Такі процеси можливо зафіксувати спеціальними методами і отримати можливість визначити їх вплив на термічне ураження конструкцій і встановлення осередку пожежі у випадках, коли візуальне оцінювання стану конструкцій являється не ефективним.

Зазначені процеси відбуваються не тільки на поверхні бетонної конструкції, але і всередині, внаслідок поступового прогрівання під час пожежі. Дана обставина обумовлює втрату вогнестійкості вказаних конструкцій, однак, ця ж обставина представляється дуже

цінною з експертної точки зору, бо дозволяє сподіватися на вирішення завдання визначення тривалості нагріву конструкції в тих чи інших зонах пожежі, та отримання, таким чином, якісно нової, порівняно зі ступенем термічного ураження, інформації.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мегорский Б.В. Методика установления причин пожаров. – М.: Стройиздат, 1966. – 347с.
2. Комплексная методика определения очага пожара / К.П. Смирнов, И.Д. Чешко, Б.С. Егоров и др. – Л.: ЛФ ВНИИПО, МВД СССР, 1985. – 114с.
3. De Haan J.D. Kirks Fire Investigation. // California Criminalistic Institute, 1991. – 416с.
4. Ройтман М.Я., Комиссаров Е.П., Пчелинцев В.А. Пожарная профилактика в строительстве. 2-е издание перераб. и доп. –М.: Стройиздат, 1978.
5. Ильин Н.А. Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции. - М.: Стройиздат, 1979.
6. Пожарная профилактика в строительстве / Грушевский Б.В., Яковлев А.И., Кривошеев И.Н. и др. – М.:Главмосстрой, 1989. – 452с.
7. Некрасов К.Д. Жароупорный бетон. – М.: Промстройиздат, 1987. – 283с.
8. Новикова С.И. Тепловое расширение твердых тел. –М.: 1994.
9. Крылов Б.А., Ли А.И. Форсированный электроразогрев бетона. – М.: 1985.
10. Некрасова К.Д., Тарасова А.П. Жаростойкий бетон на портландцементе. – М.: Стройиздат, 1989. – 192с.
11. Бартелеми Б., Крюппа Ж. Огнестойкость строителных конструкций / Пер. с франц. М.В. Предтеченского; под ред. В.В. Жукова. – М.:Стройиздат, 1989. – 216с.
12. Некрасов К.Д., Жуков В.В., Гуляева В.Ф. Тяжелый бетон в условиях повышенных температур. – М.: 1992.
13. Милованов А.В. Работа железобетонных конструкций при высоких температурах. – М.:1992.
14. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. Учеб. Пособие. – М.: Высш. Школа, 1993. – 335с.