

УДК 624.012

## **Методика дослідження залізобетонних конструкцій після пожежі та визначення осередку займання**

**Отрош Ю.А., к.т.н.**

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України, Україна

**Анотація.** Наведено методику дослідження технічного стану бетонних та залізобетонних конструкцій, які пошкоджено пожежею, а також приклади застосування методики на практиці для технічної експертизи пошкоджених пожежами об'єктів. В ході виконання робіт виявляються осередок та причини займання, величина максимальної температури при пожежі, зони термічних пошкоджень тривалості нагрівання в різних зонах пожежі тощо. На основі отриманих даних розробляється висновок про технічний стан конструкцій та можливість або неможливість відновлення їхньої експлуатаційної придатності шляхом ремонту, підсилення або заміни.

**Аннотация.** Приведена методика исследований технического состояния бетонных и железобетонных конструкций, которые повреждены пожаром, а также примеры применения методики на практике для технической экспертизы поврежденных пожарами объектов. В ходе выполнения работ устанавливаются очаг и причины возгорания, величина максимальной температуры при пожаре, зоны термических повреждений, длительность нагревания в разных зонах пожара и т. д. На основе полученных данных разрабатывается заключение о техническом состоянии конструкций и возможности или невозможности возобновления их эксплуатационной пригодности путем ремонта, усиления или замены.

**Abstract.** Methodology of researches is presented concerning technical state of concrete and reinforce-concrete constructions which are damaged by a fire, and also examples of practical application of the methodology for technical examination of the objects damaged by fires. During implementation of works a hearth and reasons of ignition, size of maximal temperature at a fire, zone of thermal damages, duration of heating in the different zones of fire et cetera are set. On the basis of obtained data the conclusion is developed about the technical state of constructions and possibility or impossibility of proceeding in their serviceability by repair, strengthening or replacement.

**Ключові слова:** залізобетонні конструкції, пожежа, осередок займання, вогнестійкість, вплив високих температур, відновлення.

**Вступ. Постановка проблеми.** Точне встановлення причин пожеж та їхній поглиблений аналіз мають важливе значення в організації роботи з попередження пожеж та у вирішенні питань про наявність чи відсутність складу злочину. Достовірне визначення причини пожежі можливо тільки при встановленні осередку її виникнення, що являє собою складну задачу.

Для визначення причини пожежі необхідно виявити осередок займання, величину максимальної температури при пожежі, зони термічних пошкоджень тривалості нагрівання в різних зонах пожежі, тощо. Отримані дані дозволять зробити висновок про технічний стан конструкцій та можливість або неможливість відновлення їхньої експлуатаційної придатності шляхом ремонту, підсилення або заміни.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Проблема встановлення достовірних причин виникнення пожеж далеко не вичерпана, вона залишається актуальною і в наш час. На сьогодні склалася певна система знань про процеси, що відбуваються під час пожеж. Напрацьовано відповідний масив довідково-інформаційних даних, які характеризують такі процеси, але не вирішують усіх проблем до кінця. Аналіз літературних даних показав, що в даний час для експертного дослідження будівельних конструкцій після пожежі застосовуються, в основному, лабораторні методи: ІЧ-спектроскопія, рентгенівський аналіз, термічний аналіз. Ці методи мають високу інформативність, але, поряд з цим, і досить істотні недоліки, які пов'язані з високою вартістю устаткування, тривалістю і трудомісткістю підготування проб в лабораторних умовах, необхідністю глибоких спеціальних знань фізико-хімічних властивостей неорганічних будівельних матеріалів [1, 2].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.** На сьогодні для визначення осередкових ознак пожеж та встановлення причин їхнього виникнення широкого застосування набули фізико-хімічні методи досліджень [1, 2]. Методи ґрунтуються на можливості визначати структурні перетворення, які відбуваються під впливом високих температур і безпосередньо полум'я на пожежах.

Оскільки рівень підготовки та поінформованості співробітників ДСНС з цих питань недостатній, то й використання методичної бази обмежене та неповне, через що досить часто має місце спрощений підхід при встановленні причин пожеж.

Виходячи з вищевикладеного, актуальним завданням залишається розроблення простих і відносно дешевих експрес-методів аналізу термічних пошкоджень матеріалів конструкцій, що дозволяють виконувати оперативні дослідження на місці пожежі для встановлення осередку займання, дослідження залізобетонних конструкцій, встановлення відповідного технічного стану та можливості подальшої експлуатації. Роботу виконано в рамках науково-дослідної роботи кафедри будівельних конструкцій Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля за темою «Прогнозування технічного стану будівельних конструкцій при дії силових, деформаційних та високотемпературних впливів» РК № 0113U004019.

Перелік додаткових робіт, які необхідно виконати після ліквідації пожежі, регламентовано чинним ДБН В.1.2-1-95 [3]. Ще за часів СРСР на допомогу організаціям і фахівцям, які проводять обстеження будівельних конструкцій, НДІЗБ розроблено відповідні «Рекомендації з обстеження будівель та споруд, які пошкоджено пожежею» [4].

**Мета роботи.** Мета роботи – розробка методики дослідження технічного стану бетонних та залізобетонних конструкцій, які пошкоджено пожежею, застосування методики на практиці для технічної експертизи пошкоджених пожежами об'єктів, виявлення осередку та причини займання (осередку, величини максимальної температури при пожежі, зон термічних пошкоджень, температури та тривалості нагрівання в різних зонах пожежі тощо), підготування висновку про технічний стан і можливість або неможливість відновлення їхньої експлуатаційної придатності та подальшої експлуатації таких об'єктів.

**Основний матеріал і результати.** У відповідності до [3, 4] відразу після пожежі власнику будівлі, де відбулася пожежа, необхідно наказом призначити комісію для попереднього обстеження. У комісію слід включити: представника адміністрації (голова комісії), інженера-будівельника, інженера з техніки безпеки, електрика та фахівця з газового господарства, а також доцільно запросити представника ДСНС.

В ході обстеження комісія отримує наступні відомості про пожежу, необхідні для подальшого детального обстеження конструкцій:

- час виявлення пожежі, початку інтенсивного горіння (характеризується наявністю спалахів), повної ліквідації пожежі;
- тривалість інтенсивного горіння під час пожежі (від початку інтенсивного горіння до початку зниження температури пожежі);
- засоби гасіння пожежі (вода, піна тощо);
- місце знаходження осередку займання (пожежі);
- максимальну температуру середовища під час пожежі.

Детальне обстеження залізобетонних конструкцій, що пропонується в розробленій методиці, рекомендується проводити в наступній послідовності:

- вивчити всю наявну документацію;
- ознайомитися з пошкодженим пожежею об'єктом;
- виконати обстеження конструкцій з метою з'ясування їхнього технічного стану після пожежі;
- виконати обстеження конструкцій, які найбільш постраждали від високотемпературного впливу під час пожежі;
- скласти та передати адміністрації підприємства, де відбулася пожежа, висновок.

Розвиток пожежі, як правило, призводить до нерівномірного нагрівання та руйнування конструкцій, обладнання та матеріалів. Ця обставина завжди використовується при візуальному виявленні осередкових ознак і визначенні осередку пожежі. З місцем найбільшого вигорання, руйнування зазвичай пов'язують розташування осередка займання. При цьому вважають, що найбільше руйнування обумовлено більш тривалою дією високої температури, тобто фактором часу. Найчастіше так і буває, проте у всіх випадках ототожнювати зону найбільших термічних уражень та місце виникнення пожежі неправомірно.

Поверхні, які повернуто в бік вогнища, можуть отримати великі пошкодження і орієнтувати при визначенні напрямку поширення горіння. Очевидно також, що найбільший прогрів і руйнування конструкцій, предметів і матеріалів відбувається, як правило, ближче до місця виникнення пожежі. Пояснюється це насамперед фактором часу. На віддалених ділянках горіння виникає пізніше, тому на цих ділянках менше і пошкоджень. Слід враховувати також, що на пожежі може бути і декілька осередків. Найчастіше це буває при підпалах.

У випадках коли ознаки осередку не зберігаються, а також на великих і складних пожежах великого значення набуває використання (на додаток до візуальної оцінки) фізико-хімічних методів інструментальної оцінки виявлення прихованих осередкових ознак. Якщо положення осередку пожежі сумнівів не викликає, застосування цих методів підсилює доказове значення проведених досліджень.

Натурні дані про максимальну температуру в приміщеннях під час пожежі комісія може отримати на основі оцінки температури, при якій змінився зовнішній вигляд і форма окремих предметів, що залишилися після пожежі, та температури плавлення матеріалів будівельних конструкцій. Такі дані можна отримати в довідковій літературі, наприклад [1, 2, 3, 4 та ін.].

У більшості випадків фахівець робить висновок про осередок займання на основі даних візуального обстеження конструкцій в зоні пожежі, опитування очевидців, вивчення будівельної або технічної документації по об'єкту. Однак на великих і складних пожежах цієї інформації виявляється явно недостатньо. Великі пожежі характеризуються тим, що горіння поширюється на великі площі, практично повністю вигорає пожежне навантаження, візуальні ознаки вогнища виявляються «стертими» тепловим впливом. Тому стає необхідним проведення додаткових інструментальних досліджень для визначення ступеня термічних уражень предметів і конструкцій, які перебували на пожежі. Неорганічні будівельні матеріали, які виготовлено без обпалювання на основі цементного в'язучого, є одним з основних об'єктів експертного дослідження при пошуку осередку пожежі. На відміну від конструкцій, які згорають, стіни

та перекриття, які виготовлено з бетону та залізобетону, залишаються на місці пожежі і являють собою важливе потенційне джерело інформації про неї. При цьому задача встановлення осередку пожежі при дослідженнях бетонних і залізобетонних будівельних конструкцій базується на визначенні зміни тих чи інших фізико-хімічних властивостей цих виробів і корелюється зі ступенем термічного ураження.

Визначення технічного стану будівельних конструкцій і їхнього залишкового ресурсу викладено в роботах [5, 6, 7, 8, 9 та ін.]. Оцінка технічного стану конструкцій (споруди) проводиться шляхом зіставлення контрольованих параметрів, які визначено в ході проведення візуального й інструментального обстежень, з відповідними проектними параметрами, а також з результатами перевірочних розрахунків.

Технічний стан конструкцій за відсутності дефектів може вважатися нормальним або задовільним, якщо не виконуються [7, 8, 9]:

— умова відмови конструкцій:

$$F > F_u, \quad (1)$$

де  $F$ ,  $F_u$  – величини відповідно найбільш можливого за час експлуатації зусилля в елементі від розрахункових навантажень і найменшої несучої здатності;

— умова досягнення конструкцією граничних станів II групи

$$f > f_u, \quad (2)$$

де  $f$ ,  $f_u$  – характерне переміщення конструкції (прогин, кут повороту, крен тощо) відповідно визначене в результаті розрахунку або обстеження та граничне, встановлене нормами.

Як параметри граничних станів другої групи, досягнення яких розглядається як відмова-перешкода, розглядаються надмірне або тривале розкриття тріщин в залізобетонних конструкціях, а також досягнення граничних величин прогинів.

Граничні стани цієї групи викликають тимчасове припинення або часткове порушення умов нормальної експлуатації, але разом з тим чітка межа переходу в граничний стан відсутня.

Перехід конструкцій в граничний стан можливий, якщо досягли граничних величин такі параметри як геометричні розміри (зменшення внаслідок корозійного зносу арматури та бетону), міцність бетону, а вузли сполучення, закладні деталі й елементи кріплення зруйновано або пошкоджено.

Мінімально допустимі величини контрольованих параметрів встановлюються за результатами розрахунків будівельних конструкцій відомими методами будівельної механіки й опору матеріалів для визначення несучої здатності та порівняння її з максимальним зусиллям, яке діє в конструкції:

$$F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)] > F; \quad (3)$$

де  $F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)]$  – функція несучої здатності елементів.

Як параметри  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)$  приймаються розміри поперечного перерізу та міцність матеріалів як функції часу. Визначення величини діючого зусилля  $F$  для статично визначених конструкцій не представляє ускладнень з принципової точки зору. Для статично невизначених конструкцій величина  $F$  визначається за результатами математичного моделювання технічного стану, який встановлено за результатами обстеження.

Перехід нерівності (3) в рівність свідчить про вичерпання несучої здатності (ресурсу) конструкції. Подальша експлуатація можлива після проведення робіт із підсилення (заміни) або ремонту.

Методику було розроблено та апробовано на прикладі пожежі торгового центру «Кредо» по вул. Доброго, 5 в м. Чернівці. Будівля торговельного центру займає приміщення першого та підвального поверхів чотириповерхового житлового будинку III-го ступеню вогнестійкості. Стіни будинку цегляні, оштукатурені, перекриття залізобетонні, покрівля – металеві листи по дерев'яній обрешітці.

Лінійна швидкість поширення горіння складала 1,0–1,5 м за хв. Оскільки в приміщеннях було встановлено стелажі з товаром, які було виконано з горючих матеріалів, а також було значне пожежне навантаження, швидкість зростання площі пожежі складала приблизно 5–7 м<sup>2</sup> за хв. Враховуючи те, що в склад пожежного навантаження входили речовини синтетичного походження (електропобутові прилади, підкладка виробів зі шкіри, штучний шкірозамінник, пластикові деталі прилавоків), в яких була сильна димоутворювальна здатність, під час пожежі спостерігались сильні виділення диму, чорного та сірого кольорів.

Вздовж лівої та правої стін приміщення торгового залу на першому поверсі було встановлено стелажі та прилавки з товаром. В правому (дальньому) від входу куті наявна вільна площа складала орієнтовно 20 м<sup>2</sup>. Стіни, стеля, вікна, вітрини, прилавки та товари в зазначеному приміщенні були в закопченому стані. В лівій стіні в просторі сходової клітини встановлено вікна, які було виконано з склопакетів у металопластикових рамах. Скління у зазначених вікнах було в закопченому стані. Характер пошкодження стін та вікон (закопчення), свідчить про те, що газоподібні продукти горіння піднімались з

підвального приміщення. Про це також свідчить їхня конусоподібна форма з вершиною у підвальному приміщенні. При вході до підвального приміщення з боку сходової клітки виявлено, що у лівому, дальньому від входу куті підвалу на відстані приблизно 1–1,5 м від сходів, було встановлено прилавок із скляною вітриною з шкіряними виробами (гаманці, сумки, портфелі). За ним вздовж лівої та протилежної від входу стін були встановлені стелажі з товаром, а саме дорожні сумки з синтетичної тканини, шкіряний верхній одяг. На момент обстеження зазначене обладнання та товари на стелажах вздовж лівої стіни знищено повністю внаслідок дії факторів пожежі. Вздовж протилежної від входу стіни частково збереглися стелаж та товар на ньому, причому ступінь пошкодження по мірі віддалення від лівої стіни у правий від сходової клітини бік зменшується.

Для вирішення поставленої задачі було проведено комплекс робіт розробленої методики:

- аналіз наявної проектної, виконавчої й експлуатаційної документації;
- попередній огляд об'єкта обстеження;
- візуальне обстеження стану будівельних конструкцій перекриття, покриття та прилеглих стін, оцінка їхнього технічного стану за зовнішніми ознаками і вибір конструкцій для інструментального обстеження. При обстеженні виконано диференціювання зони горіння і зони задимлення. Зону горіння було виявлено за візуальними ознаками (послідовно спадаючим або зростаючим термічним впливом). Осередок пожежі було виявлено територіально (наскільки це можливо) з послідовним обмеженням зони горіння;
- інструментальне обстеження стану будівельних конструкцій (вимірювання геометричних параметрів будівлі та конструктивних елементів, визначення міцності бетону та цегляної кладки). На місці пожежі за результатами візуального обстеження було вибрано конструкції для інструментального обстеження;
- аналіз результатів візуального й інструментального обстеження стану вище визначених будівельних конструкцій. За отриманими даними (зонам термічних уражень, які зіставляються з розподілом пожежного навантаження, а також з урахуванням архітектурно-будівельних особливостей будівлі) було вирішено питання про місце розташування осередку пожежі за методикою [1, 2, 4]. Дані по температурах було використано при побудові температурних зон, розподіл яких, за місцем пожежі, характеризував температурний режим у різних його зонах. Отримані дані в подальшому було використано при пошуку осередку, описі процесу виникнення і розвитку горіння, а також при встановленні причини пожежі. Осередок пожежі визначено в зоні екстремальних високих значень тривалості теплового впливу;

- виконання перевірочних розрахунків;
- підготовки висновку про технічний стан будівельних конструкцій;
- розроблення рекомендацій щодо забезпечення тривалої та безпечної експлуатації вище визначених будівельних конструкцій, а також технічних рішень щодо підсилення конструкцій.

Під час обстеження підвального приміщення було виявлено, що максимальні пошкодження стін, стелі, обладнання та товарів спостерігаються в лівому від сходової клітини куті (рис. 1). В зазначеному місці приміщення повністю знищено прилавок з шкіряними виробами, який було встановлено на відстані 1–1,5 м від сходів паралельно ним, стелаж з товарами, який було встановлено вздовж лівої стіни, та частково стелаж та товар, що було встановлено вздовж протилежної сходам стіни.



Рис. 1. Подовжувач, який був підключений до електромережі

При цьому пошкодження зменшувались по мірі віддалення від лівої стіни в бік запасного виходу. На стінах були в наявності вигорання матеріалу, відкладення сажі та утворення білих плям, що свідчить про те, що саме у зазначеному місці стіни піддавались максимальному тепловому впливу внаслідок впливу пожежі. Стеля над зазначеним місцем сильно закопчена та місцями зруйнована.

Також в зазначеному місці між стіною та стележком було встановлено батарею парового опалення, фарба на якій вигоріла повністю та під тепловим впливом її поверхня змінила колір у вигляді конусу, вершина якого знаходиться у місці розташування електричного подовжувача, а саме у місці ймовірного виникнення пожежі. Слід відмітити, що на стіні у зазначеному місці наявне



вигорання штукатурки у вигляді конуса з вершиною у місці розташування електричного подовжувача. Характер пошкодження прилавоків з канцтоварами, а саме максимальні пошкодження з боку стелажів біля лівої стіни, також вказує на виникнення пожежі в даному місці.

Найбільш поширеною ознакою осередку пожежі є “осередковий конус”, який утворюється на місці пожежі. Висхідний потік газоподібних продуктів горіння (конвективна колонка) має тенденцію до розширення під час піднімання і тому являє собою конус, що звернений своєю вершиною донизу, в бік осередку. Проектуючись на поверхні конструкцій, “конус” залишає сліди у вигляді трикутника, трапеції, кола або еліпса. Залежно від умов осередковий конус може проявлятися більш чи менш чітко, а форма і пропорції його елементів можуть бути різними.

У ряді випадків при великих розмірах пожежі “осередковий конус” чітко виділяється під час огляду об’єкта з певного боку, коли в поле зору потрапляють характерні руйнування огорожувальних конструкцій або відбитки зони задимлення. Пошкоджена ділянка батареї опалення та стіни, на якій вона була встановлена у лівому дальньому куті торгового залу в підвальному приміщенні, нагадує конус, який більше схожий на трапецію. Конус чітко видно, якщо оглядати зазначені конструкції зі сторони запасного виходу. Даний конус повернуто своєю вершиною до низу. Вершина конуса знаходиться в місці між прилавком та стелажем.

За результатами обстеження місця пожежі, врахування обставин її виникнення та розвитку встановлено, що горіння виникло всередині приміщення в районі встановлення стелажів, про що свідчать найбільше вигорання конструктивних елементів внутрішнього оздоблення, ступінь пошкодження будівельних конструкцій, осередковий конус.

Комісія склала акт попереднього обстеження, який було затверджено власником будівлі, де відбулася пожежа.

У акті вказано:

- коротку характеристику будівлі;
- характеристики температурного режиму за даними пожежного підрозділу та натурального обстеження предметів в приміщенні, де відбулася пожежа;
- місце розташування вогнища пожежі;
- засоби гасіння пожежі;
- аварійні приміщення та конструкції;
- необхідність запрошення експертів для детального обстеження;
- перелік робіт, які необхідно виконати до прибуття експертів;
- стан електричної проводки, газової та водопровідної мереж.

## **Висновки**

1. Запропоновано методику визначення технічного стану конструкцій, будівель та споруд після пожежі. Методика базується на відомих пропозиціях і дозволяє врахувати специфіку впливу високих температур на зміну фізико-механічних і фізико-хімічних властивостей матеріалів конструкцій.
2. Бетонні вироби використовуються як один з основних конструкційних елементів будинків і споруд. Вони зберігаються після пожежі на місці події і, таким чином, є можливими потенційними об'єктами дослідження при експертизі пожеж та, зокрема, при встановленні причини та осередку пожежі.
3. Розроблено методику оцінки технічного стану конструкцій (споруди) шляхом зіставлення контрольованих параметрів, які визначено в ході проведення візуального й інструментального обстежень, з відповідними проектними параметрами, а також з результатами перевірочних розрахунків.
4. За розробленою методикою встановлення осередку пожежі виконується шляхом оцінки ступеня термічних уражень матеріалів і конструкцій в різних зонах пожежі візуальним та інструментальним методами. На бетонних конструкціях візуально фіксовані зміни відбуваються тільки в зонах високих температур і тому така оцінка термічних уражень являє досить складне завдання.
5. Зазначені процеси протікають не тільки на поверхні бетонної будівельної конструкції, але і в глибині неї по мірі поступового прогріву протягом пожежі. Дана обставина обумовлює, зокрема, втрату вогнестійкості зазначених конструкцій, однак ця ж обставина є дуже цінною з експертної точки зору, бо дозволяє вирішувати завдання визначення тривалості нагріву конструкції в тих чи інших зонах пожежі та отримання, таким чином, якісно нової інформації.
6. За результатами обстеження місця пожежі, яка сталася в приміщенні торговельного центру «Кредо» по вул. Доброго, 5 в м. Чернівці, врахування обставин її виникнення та розвитку встановлено, що горіння виникло всередині приміщення в районі встановлення стелажів, про що свідчать найбільше вигоряння елементів внутрішнього оздоблення, пошкодження будівельних конструкцій, осередковий конус.

## **Література**

- [1] Дослідження пожеж : Довідково-методичний посібник. – К. : Пожінформтехніка, 1999. – 60 с.
- [2] Методи дослідження пожеж : Методичний посібник. – К. : ТОВ "Поліграфцентр "ТАТ", 2010. – 240 с.
- [3] Положення про розслідування причин аварій (обвалень) будівель, споруд, їх частин та конструктивних елементів : ДБН В.1.2-1-95. – Офіц. вид. – К. : Держбуд України, 1995. – 23 с. – (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).
- [4] Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром / НИИЖБ. – М. : Стройиздат, 1987. – 80 с.
- [5] Правила визначення фізичного зносу житлових будинків : СОУ ЖКГ 75.11–35077234.0015:2009. – Офіц. вид. – К. : ЖКГ України, 2009. – 49 с. – (Стандарт житлово-комунального господарства України).
- [6] Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. Норми проектування : ДБН В.1.2-5:2007. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2007. – 16 с. – (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).
- [7] Голоднов А. И. Определение остаточного ресурса железобетонных конструкций в условиях действующих предприятий / А. И. Голоднов // Будівельні конструкції : міжвідом. наук.-техн. зб. / НДІБК. – К. : НДІБК, 2005. – Вип. 62. – Т. 2. – С. 138–143.
- [8] Голоднов А. И. Обоснование продления эксплуатации конструкций бескаркасных зданий / А. И. Голоднов, К. А. Голоднов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури: збірник наукових праць. – Вип. 28. – Одеса : Зовнішрекламсервіс, 2007. – С. 90–96.
- [9] Отрош Ю. А. Методика визначення технічного стану будівельних конструкцій виробничих будівель після пожежі / Ю. А. Отрош //Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2016. – №. 160. – С. 110–119.

*Надійшла до редколегії 30.11.2016 р.*