

УДК 624.015.5

Методика і результати досліджень залізобетонного фрагмента будинку на вогнестійкість

Гордіюк М.П., Семиног М.М., Отрош Ю.А., к.т.н.

Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля, Україна

Анотація. Запропоновано методику експериментальних досліджень фрагментів будівель при високотемпературних впливах. Наведено деякі результати експериментальних досліджень фрагмента будівлі при високотемпературних впливах.

Аннотация. Предложена методика экспериментальных исследований фрагментов зданий при высокотемпературных воздействиях. Приведены некоторые результаты экспериментальных исследований фрагмента здания при высокотемпературных воздействиях.

Abstract. Methodology of experimental researches of building fragments at high temperature influences is offered. Some results of experimental researches of building fragment at high temperature influences are brought.

Ключові слова: будівля, фрагмент, випробування, вогнестійкість.

Вступ. Постановка проблеми. Сьогодні в будівництві панують нові технології та нестандартні конструктивні рішення, що пов'язано з розвитком будівництва житлових будинків із монолітного залізобетону. Проектні рішення висотних будинків та будинків підвищеної поверховості досить складні у порівнянні з проектами звичайних будівель із блочних та панельних залізобетонних конструкцій. Збільшення висоти будинків призводить до різкого зростання навантажень на несучі конструкції. Конструкції таких будинків повинні витримувати великі горизонтальні вітрові, динамічні та вертикальні навантаження. Вимоги до просторової жорсткості та несучої здатності забезпечуються використанням монолітних залізобетонних конструкцій із жорсткими з'єднаннями окремих елементів. Через особливості проектних рішень цих будинків важливим є забезпечення вогнестійкості як окремих будівельних конструкцій будинку, так і його вогнестійкості в цілому.

Для оцінювання вогнестійкості використовують два підходи: розгляд поведінки конструкцій в умовах реальної пожежі (тобто фрагмента будинку при реальному пожежному навантаженні) та в умовах умовної пожежі (тобто оцінювання вогнестійкості окремої конструкції у стандартному температурному режимі у випробувальній печі).

Вимоги до мінімальних значень межі вогнестійкості несучих будівельних конструкцій (балок, колон, перекриттів, покриттів, стін) для певного ступеня вогнестійкості малоповерхових, багатоповерхових, підвищеної поверховості (зазвичай шістнадцятиповерхових) та висотних будинків з умовною висотою вище 47 м визначено у ДБН В.1.1-7-2008 [1]. Для висотних будинків з умовною висотою вище 73,5 м необхідно встановлювати індивідуальні вимоги, які стосуються пожежної безпеки будинку. В зв'язку з цим сьогодні в Україні розробляють індивідуальні технічні умови для проектування кожного висотного житлового будинку, де, зокрема, встановлюють підвищені значення межі вогнестійкості конструкцій.

Однак для складних проектних рішень висотних будинків ці дані щодо межі вогнестійкості будуть неповними через те, що під час таких випробувань не враховано вплив взаємозв'язків між конструкціями на вогнестійкість конструкцій. На значення межі вогнестійкості окремих конструкцій впливає спільна робота покриттів та перекриттів зі стінами, статична схема будівлі, монолітність конструкції, стики та армування елементів, просторова робота елементів будинку, які об'єднано у загальну просторову систему з'єднань, перерозподіл зусиль від експлуатаційного й теплового навантаження на сусідні, неушкоджені елементи тощо.

За результатами досліджень оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій висотних будинків пропонується виконувати у два етапи. На першому етапі за результатами аналізу проектного рішення будинку визначають несучі конструкції (перекриття, балки, колони, пілони) з найменшою передбачуваною межею вогнестійкості. Зразки цих конструкцій випробовують на вогнестійкість у лабораторних умовах у стандартному температурному режимі у випробувальній печі стандартними методами. Другим етапом є проведення натурального вогневого випробування фрагмента будинку для визначення фактичного значення межі вогнестійкості конструкцій та оцінювання вогнестійкості будинку в цілому. Такі випробування дозволяють відпрацювати та відкоригувати проектні рішення будинку, які стосуються забезпечення його пожежної безпеки.

Сутність методу натурних вогневих випробувань полягає у визначенні проміжку часу від моменту запалювання модельного (реального) вогнища пожежі, яке розташовано в одному з приміщень будівельного об'єкта, до настання нормованих граничних станів будівельних конструкцій, які є у складі цього об'єкта, в умовах, що регламентуються цим стандартом.

Для випробувань використовують або сам будівельний об'єкт (споруду, будинок тощо), або його фрагмент, у разі якщо через технічні або економічні причини неможливо провести випробування на цьому об'єкті.

Для створення пожежного навантаження використовують модельне вогнище пожежі, спалювання якого забезпечує створення температурного режиму, який наближено до стандартного за ДСТУ Б В.1.1-4-98* [2]. Для створення протягом 30 хв. температурного режиму, наближеного до стандартного, питоме вогневе навантаження у перерахунку на масу деревини має становити не менш як 25 кг/м². Відповідно, для створення такого температурного режиму протягом 60 хв. питоме вогневе навантаження має бути не меншим за 50 кг/м².

У стандарті наведено приклад конструкції модельного вогнища пожежі, створеного з брусків із деревини хвойних порід певних розмірів та вологості. Кількість цієї деревини розраховують залежно від об'єму приміщення та тривалості випробування. Така конструкція модельного вогнища створює у приміщенні температурний режим, який наближено до стандартного.

Натурні вогневі випробування проводять під статичним навантаженням конструкцій будівельного об'єкта. Статичні навантаження будівельного об'єкта або його фрагмента мають відповідати найбільш невідповідним можливим умовам експлуатації згідно з проектною документацією.

Статичні навантаження на конструкції (перекриття, колони, стіни, пілони) фрагмента будівельного об'єкта визначає проектувальник на основі величин напружень або зусиль у відповідній будівельній конструкції згідно з розрахунками проектною документації та з урахуванням вимог ДСТУ Б В.1.1-4-98* [2].

Метою розроблення методики та проведення випробувань на вогнестійкість фрагмента будівлі було відпрацювання методики та отримання експериментальних даних щодо поведінки залізобетонних конструкцій під час проведення випробувань.

Основна частина. Було розроблено узагальнену методику та проведено дослідження на вогнестійкість залізобетонної просторової конструкції, яка моделювала кімнату багатоповерхового монолітного залізобетонного будинку. Вогневе навантаження приймалося у вигляді реального вогнища пожежі таким, що виникає при згоранні меблів внаслідок, наприклад, падіння недопалку сигарети на м'які меблі. Під час випробувань передбачалося визначення технічного стану залізобетонних конструкцій після короткочасного високотемпературного впливу і подальшого інтенсивного гасіння.

Для вогневого експерименту було підібрано конструктивну систему, яку пропонує сьогодні ринок для масового застосування в Україні, але яку ще не було досліджено на сумісну дію статичних навантажень і високих температур пожежі.

Конструктивна система являла собою просторову конструкцію із монолітними залізобетонними стінами та плитою перекриття розміром на кімнату. Армвання конструкцій стін і плити перекриття, а також застосовані матеріали (бетон, арматура), відповідали фактично використовуваним при будівництві сучасних житлових будинків із монолітного залізобетону. Стіни було виконано з трьох сторін, а одну сторону конструкції не було забудовано, що дозволило спостерігати розвиток пожежі в часі. Виготовлення конструкції здійснювалося за допомогою стандартної розбірної опалубки. В протилежній стіні від тої, яку було не забудовано, було два отвори: дверний і віконний.

Бетон прийнято класу С 25/30 (В30), арматура – в основному, дріт класу Вр-І діаметром 5 мм.

Крім цього, було виготовлено допоміжні зразки (куби, призми, фрагменти арматурних стрижнів). Випробування допоміжних зразків дозволило отримати дані про фізико-механічні характеристики застосованих матеріалів.

Усі основні та допоміжні зразки виготовлено з бетону одного складу. Дозування складових виконано за допомогою вагових дозаторів заводського БСУ. Перемішування бетонної суміші виконано у бетономішалці вільного падіння об'ємом 0,75 м³. Ущільнення бетонної суміші виконано глибинними вібраторами.

Допоміжні зразки (стандартні куби та призми) було виготовлено одночасно з основними в металевій інвентарній опалубці. Зразки зберігалися під шаром тирси поряд із фрагментом. Відрізки арматурних стрижнів було вилучено із арматури, що використовувалась для армування фрагмента.

Зразки знаходилися в опалубці впродовж семи діб під шаром вологої тирси. Після розпалубки фрагмент і допоміжні зразки зберігались протягом 28 діб.

Після витримки для визначення класу бетону було виконано випробування кубів та призм. Характеристики бетону визначено при стандартних випробуваннях допоміжних зразків. Розміри кубів було прийнято такими, що дорівнюють 100×100×100 мм, а призм – такими, що дорівнюють 100×100×400 мм.

Після витримки 28 діб і випробувань допоміжних зразків фрагмент зберігався в нормальних умовах температури і вологості до початку випробувань.

В процесі підготовки до натурального вогневого експерименту було розроблено засоби захисту стін і плити перекриття від високотемпературного впливу – це листи сухої штукатурки типу KNAUFF товщиною 12,5 мм, із кріпленням до монолітних залізобетонних елементів за допомогою спеціальних дюбелів. Підлогу було виконано з паркету.

В кімнаті було встановлено меблі, які зазвичай знаходяться в житлових кімнатах: м'які меблі (диван, стільці), дерев'яна шафа, дерев'яний стіл, вкритий скатертю, тумба з телевизором, штори біля вікна. На підлозі був килим.

Для імітації пожежі (рис. 1) було виконано підпал дивану (імітація падіння недопалка сигарети на частини м'яких меблів).



Рис. 1. Імітація пожежі (підпал дивана)

У відповідності до програми випробувань необхідно було спостерігати наростання температури при реальній пожежі. В зв'язку з цим було вибрано комплект вимірювачів, що складався з хромель-алюмелевих термопар 1...3 мм довжиною 2,5...5,0 м, які було ізольовано керамічним намістом. Всього було використано 30 термопар, для реєстрації показників яких у часі випробувань використано самописці (реєстраційні потенціометри КСП-4) у кількості 3 шт. Все обладнання було перевірено у встановленому порядку.

У приміщенні було встановлено додаткові термомпари у кількості 6 шт., які було підключено до багатоканального термовимірювача. Крім цього, для визначення проміжку часу, коли може бути встановлено наявність пожежі засобами автоматичного спостереження, було застосовано автоматичний пожежний сповіщувач.

Розвиток пожежі спостерігався з боку відсутньої стіни. Фіксація розвитку пожежі виконувалася за допомогою відеокамери.

До (приблизно) 2 хв. горіння були відсутні дим і характерний звук горіння. Пожежу неможливо було виявити з-за меж кімнати, при цьому продукти горіння поролону, синтетичних тканин, покриття деревини були дуже токсичними.

Через 2 хв. після початку пожежа набрала силу, і в цей час спрацював автономний пожежний сповіщувач. Полум'я починає випромінювати інтенсивне тепло, яке не дає можливості увійти в приміщення. Завдяки високій температурі починають розкладатися покриття та синтетичні матеріали (складові частини меблів) з виділенням горючих газів. Через 3 хв. після початку пожежі полум'я охопило диван, обпалило стіну і, частково, плиту перекриття.

Приблизно через 3 хв. 40 с. після початку пожежі висока температура сприяла самозайманню речей. Полум'я охоплює розташовану поряд з диваном шафу, починає тліти та частково займається килим на підлозі (рис. 2).

Ще через 1 хв. 20 с. починає тліти скатертина на столі та горить килим на підлозі. Полум'я обпалює не тільки стіну, розташовану поряд із диваном, а й стелю.

Приблизно через 5 хв. 40 с. після початку пожежі в приміщенні горіли всі меблі, обвалився гіпсокартон зі стін і стелі, зруйнувалося скло у вікні, і це сприяло горінню за рахунок додаткового притоку свіжого повітря.

Приблизно через 6 хв. 30 с. після початку пожежі у приміщенні горіли всі меблі, температура досягає 1000 °С (рис. 3). Незахищений (після обвалення гіпсокартону) бетон підпадає під дію високої температури. Подальше горіння могло спричинити руйнування конструкцій, що не відповідало кінцевій меті випробувань.



Рис. 2. Розвиток пожежі впродовж 3 хв. 40 с. після початку



Рис. 3. Розвиток пожежі впродовж 6 хв. 30 с. після початку

Під час проведення випробувань виконувалося вимірювання температур. Прийнятий комплект приладів дозволив виконати вимірювання температур у діапазоні від 20 °С до 1200 °С. Абсолютне значення похибки вимірювання не перевищувало 3 °С. Врахування температури «холодних» кінців термопар виконувалося через вимірювання опору мідного термоперетворювача опору, змонтованого на клемній панелі приладу.

Усі результати аналогово-цифрового перетворення через прийнятно-передавальний пристрій пересилалися до персонального комп'ютера. Центральний процесор керував вхідним комутатором та інтегруючим пристроєм аналогово-цифрового перетворення.

Приблизно на 6 хв. 31 с. після початку пожежі було виконано гасіння водою.

Крім цього, багатоканальний термовимірювач мав можливість розрахувати експериментальні температурні градієнти у всіх напрямках поперечних перетинів об'єкта в процесі випробування і провести оперативний аналіз із розрахунковими величинами температурних градієнтів.

Аналізуючи покази термопар в процесі вогневого випробування можна констатувати наступне:

- максимальна температура в досліджуваному приміщенні на 6 хв. 30 с. досягла приблизно 1000 °С, а середня температура в цей момент часу складала 700 °С після чого вона поступово зменшувалася;
- на 5 хв. 30 с. від початку пожежі відбулося зменшення температури, яке може бути пов'язано з руйнуванням скла, захисного покриття стелі та падінням гіпсокартону, що дещо збило полум'я;

- вогневе випробування та зростання температур при використанні реального вогнища не відповідало зростанню температур при використанні стандартної температурної кривої (модельного вогнища);
- максимальна температура на внутрішній поверхні стіни становила 650 °С на 6 хв. 30 с., а на зовнішній стороні в цей час зафіксовано 55 °С;
- максимальна температура на внутрішній поверхні плити перекриття становила 590 °С на 6 хв. 30 с., а на зовнішній стороні було зафіксовано 49 °С.

Обстеження приміщення після пожежі було проведено після розбирання згарища (через 2 дні) і дало такі результати:

- у приміщенні захисне покриття (шар гіпсокартону) стін і стелі було повністю зруйновано (рис. 4);
- двері вигоріли, а стіни ззовні випробувальної конструкції вкрилися шаром кіптяви та сажі;
- в полиці плити перекриття були в наявності тріщини з різною орієнтацією та шириною розкриття, прогин полиці становив 65 мм, що значно перевищує граничну величину для такого типу конструкцій. Бетон знеміцнено, є ознаки порушення анкерування арматури (рис. 4);
- обстеження залізобетонної стіни, яку було найбільш піддано дії високої температури (біля якої знаходився підпалений диван), дозволили встановити наявність видимих деформацій із площини та тріщин, руйнування захисного шару бетону для арматури, знеміцнення бетону, який легко руйнується (рис. 5).



Рис. 4. Вигляд плити покриття після вогневих випробувань



Рис. 5. Вигляд стіни, біля якої стояв диван, після випробування

Крім візуального обстеження, було виконано інструментальні дослідження міцності бетону.

Визначення міцності бетону виконувалося ультразвуковим методом згідно з ДСТУ Б В.2.7-226:2009 [3].

Ультразвукові випробування бетону виконувалися за допомогою приладу УК-14ПМ в комплекті з пристроєм для поверхневого прозвучування УПП з базою 120 мм.

Результати проведених досліджень бетону в зоні високотемпературного впливу дозволили встановити широкий розкид отриманих результатів визначення часу проходження ультразвуку, що свідчить про суттєве руйнування та розшарування бетону конструкцій. Встановити міцність бетону конструкції в зоні впливу високих температур після випробувань на вогнестійкість із задовільною імовірністю не вдалося.

Після цього випробувана конструкція була встановлена на підвір'ї, що дозволило виконати кондиціонування приміщення з метою вилучення продуктів згорання меблів і руйнування бетону. Після знаходження конструкції на відкритому повітрі протягом 2 років плита перекриття отримала розшарування бетону по товщині (найбільші розшарування були встановлені по арматурі в тій частині плити перекриття, яка найбільш підпала під дію високої температури – над підпаленим диваном). Таке руйнування було спричинене і додатковими атмосферними впливами: замочуванням атмосферними опадами, нерівномірним нагріванням в літній і розморожуванням в зимовий період тощо. Аналогічні руйнування (розшарування бетону, оголення арматури тощо), хоча і менші за обсягом, отримали стіни (рис. 6).



Рис. 6. Вигляд плити перекриття після кондиціонування на відкритому повітрі

Висновки

Випробування реальним вогнищем суттєво відрізняється від випробувань модельним; температура нагрівання при випробуваннях реальним вогнищем зростає набагато швидше, ніж при випробуваннях модельним вогнищем.

Високотемпературне нагрівання та подальше гасіння пожежі водою призводить до руйнувань поверхневих прошарків і знеміцнення бетону; кондиціонування конструкцій на свіжому повітрі призводить до руйнувань і розшарувань знеміцненого бетону з оголенням і кородуванням арматури.

Конструкції, які зазнали пошкоджень під час дії високих температур при пожежі, мають бути обов'язково підсилені або замінені; експлуатація таких конструкцій неможлива внаслідок локальних змін характеристик міцності та деформативності бетону.

Література

- [1] Пожежна безпека об'єктів будівництва : ДБН В. 1.1.7-2002. – Офіц. вид. – К. : Держбуд України, 2003. – 41 с. – (Захист від пожежі. Державні будівельні норми України).
- [2] Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги : ДСТУ Б В.1.1-4-98*. – Офіц. вид. – К. : Держбуд, 2005. – 17 с. – (Будівельні конструкції. Національний стандарт України).
- [3] Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності : ДСТУ Б В.2.7-226:2009. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 33 с. – (Будівельні матеріали. Національний стандарт України).

Надійшла до редколегії 15.07.2014 р.