

УДК 69.059.22:699.8

## **Вплив технологічних факторів на вогнестійкість залізобетонних плит**

**Отрош Ю.А., к.т.н., Ткачук І.А., Семиног М.М.**

Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля, Україна

**Анотація.** Викладено методичні підходи до визначення вогнестійкості залізобетонних конструкцій будівель. Показано важливість вирішення цього питання стосовно конструкцій перекриттів. Наведено результати деяких випробувань залізобетонних плит на вогнестійкість. Відмічено вплив технологічних чинників на вогнестійкість плит.

**Аннотация.** Изложены методические подходы к определению огнестойкости железобетонных конструкций зданий. Показана важность решения этого вопроса применительно к конструкциям перекрытий. Приведены результаты некоторых испытаний железобетонных плит на огнестойкость. Отмечено влияние технологических факторов на огнестойкость плит.

**Abstract.** The methodical approach is expounded concerning determination of the fire-resistance of reinforce-concrete constructions of buildings. The importance to solve this problem is shown as it applies to the ceiling constructions. The results of some fire-resistance tests of the reinforced concrete slabs are cited. The influence of technological factors on the fire-resistance of the slabs is marked.

**Ключові слова:** залізобетонні плити, високотемпературні дії, випробування, вогнестійкість.

**Вступ. Постановка проблеми.** Залізобетонні елементи були і залишаються основними складовими частинами перекриттів житлових і громадських будинків. У зв'язку з цим актуальним залишається питання пожежної безпеки при експлуатації, в першу чергу, тонких плитних елементів, оскільки виключення їх з роботи може призвести до руйнування будинку в цілому.

Досвід експлуатації стін, колон, інших стиснутих і зігнутих елементів свідчить про достатній запас їх 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. Безпечна експлуатація таких конструкцій має бути підтримана різними заходами. При цьому необхідно вирішувати питання, пов'язані з забезпеченням надійної експлуатації конструкцій за рахунок прийняття відповідних матеріалів або захисних заходів, визначення напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій

при різних впливах і виконанням робіт із продовження терміну експлуатації як окремих конструкцій, так і будівель в цілому [1–6 та ін.].

Робота виконується відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 409 від 5 травня 1997 р. «Про забезпечення надійності та безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж».

**Мета дослідження** – виявлення особливостей роботи, оцінки вогнестійкості залізобетонних конструкцій за наявності високотемпературних впливів із розробленням заходів щодо підвищення вогнестійкості.

**Основна частина.** 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 з ДСТУ Б В.1.1-4-98\* [3] фактичні межі вогнестійкості будівельних конструкцій визначаються при дії нормативних навантажень (приймаються характеристичні значення величин навантажень згідно з ДБН В.1.2-2:2006 [4]). Величини нормативних навантажень встановлюються залежно від призначення конструкцій і умов їх експлуатації.

Класифікація цих навантажень, що використовується в ДБН В.1.2-2:2006 [4], 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 [3]. Межа вогнестійкості знижується зі збільшенням навантажень, які діють на конструкції.

Стандартний температурний режим характеризується стандартною кривою зміни температури в залежності від часу для випробувань конструкцій на вогнестійкість, яка описується формулою [2, 3, 5, 6]:

$$t = 345 \cdot \lg(8 \cdot \tau + 1) + t_e, \quad (1)$$

де  $t$  – температура середовища, °С;  $\tau$  – час, хв.;  $t_e$  – початкова температура, °С.

Залежно від виду та умов з'єднання конструкцій схеми завантаження та невідного поєднання чинних зусиль у 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.

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

Межа вогнестійкості конструкцій визначається в процесі випробувань на вогнестійкість. Методи випробувань на вогнестійкість регламентовані відповідними національними стандартами України [2, 3, 5, 6] і дозволяють шляхом випробувань на спеціальному обладнанні визначити межу вогнестійкості.

Нижче наведено результати випробувань на вогнестійкість двох серій плит перекриття (по дві штуки в кожній серії) залізобетонних багатопустотних попередньо напружених безопалубочного формування ПБ 36-12-8 (3а). Обидві серії плит було випробувано у випробувальному центрі ТОВ «Тест» в м. Бровари згідно з вимогами [3, 5].

Метод випробувань полягав у нагріві в стандартному температурному режимі плит, встановлених горизонтально в отвір вогневої печі, та у визначенні часу, коли досягається один із граничних станів за ознаками втрати несучої здатності (ознака  $R$ ), цілісності (ознака  $E$ ) або теплоізолювальної здатності (ознака  $I$ ).

Граничним станом за ознакою втрати несучої здатності приймався стан, згідно з яким виконувалась одна з наступних умов [3, 5]:

- значення прогину ( $D$ ) конструкції перевищувало значення  $D = L^2/400b$  мм;
- швидкість наростання деформації перевищувала значення  $dD/dt = L^2/9000b$  мм/хв.

У цих формулах:  $L$  – прогін, м;  $b$  – розрахункова висота перетину конструкції, мм.

Граничним станом за ознакою втрати цілісності є стан, за якого виконується одна з наступних умов: полум'яне горіння або тління зі свіченням ватного тампона, піднесеного до поверхні зразка, що не обігрівалася, в місцях тріщин на відстань 20...30 мм протягом часу 30 с; полум'я на поверхні зразка, що не обігрівалася, спостерігається протягом часу не менш ніж 10 с; виникнення тріщини (або отвору), через яку можна вільно ввести в піч щуп діаметром 25 мм; виникнення тріщини (або отвору), через яку можна вільно ввести в піч щуп діаметром 6 мм і перемістити його вздовж тріщини на відстань не менше 150 мм.

Граничним станом за ознакою втрати теплоізолювальної здатності є перевищення середньої температури поверхні зразка (середнє арифметичне значення середніх температур окремих ділянок поверхні площею не менш 0,2 м<sup>2</sup>) над початковою середньою температурою цієї поверхні на 140 °С або перевищення температури в довільній контрольній точці поверхні зразка, що не обігрівалася, над початковою температурою в цій точці на 180 °С.

Під час проведення випробувань надлишковий тиск у печі на відстані 100 мм від поверхні зразка повинен складати  $(10 \pm 2)$  Па після 5-ї хвилини випробувань.

Межа вогнестійкості визначалася за формулою:

$$t_{fr} = t_{mes} - \Delta t, \quad (2)$$

де  $t_{fr}$  – межа вогнестійкості, хв;  $t_{mes}$  – найменше значення часу від початку випробування до досягнення граничного стану з вогнестійкості, хв;  $\Delta t$  – похибка випробування, хв.

Значення похибки  $\Delta t$  визначається за формулою:

$$\Delta t = (0,015 \cdot t_{mes} + 3)(A_s - A_f)/(A_s - A_{min}), \quad (3)$$

де  $A_s, A_f, A_{min}$  – інтегральні значення (площі, що знаходяться під кривими) стандартної температури, середньої температури в печі та мінімальної допустимої температури в печі, відповідно, °С·хв. Якщо  $A_f > A_s$ , то  $\Delta t = 0$ .

Для випробувань першої серії було надано два зразки плити ПБ 36-12-8 (армування 3а) розмірами 3580x1195x220 мм. Несучий арматурний каркас складався з чотирьох верхніх поздовжніх попередньо напружених арматурних стрижнів з арматурного дроту  $\varnothing 5$  Вр II та семи нижніх груп по три арматурних стрижні  $\varnothing 5$  Вр II. Товщина захисного шару бетону до осі нижньої арматури становила 20 мм. Бетон за міцністю належав до класу В30.

Зразки було змонтовано на горизонтальній печі з обпиранням на 100 мм по краях через шар із базальтових плит ROCKMIN (товщина 100 мм, густина 30 кг/м<sup>3</sup>). Торці плити не було замуровано, а нижню поверхню не було облицьовано шпаклівкою.

Вигляд зразків на печі під навантаженням наведено на рис. 1. Навантаження здійснювалося каліброваними вантажами у вигляді бетонних блоків, які встановлювалися на зразках через компенсуючі опори 160x30x25 мм з мінеральних плит CONLIT 150 Р (виробництва «Rockwool Polska Sp.z o.o.», номінальна густина 165 кг/м<sup>3</sup>). Фактичне навантаження на зразки встановлено, виходячи зі створення у плитах напружень, що відповідають напруженням від питомого розподіленого навантаження 520 кг/м<sup>2</sup>.



Рис. 1. Вигляд зразків на печі під навантаженням

Граничне значення прогинів, яке було розраховано за формулами (1) і (2), складало 212 мм (прогін  $L = 3380$  мм, розрахункова товщина плит 135 мм), а граничне значення швидкості наростання деформації – 9,4 мм/хв. Прогин визначався в центрі плити.

На кожному зразку зі сторони, що не обігрівалася, було встановлено по 5 термопар ТХА. Випробування було проведено на горизонтальній випробувальній печі.

У процесі випробувань було виконано вимірювання температури в печі та надлишкового тиску, які відповідали вимогам, регламентованим стандартами [3, 5]. Надлишковий тиск у печі на 5 хв. складав 9 Па, а починаючи з 10 хв. – 11 Па.

На 25-й хвилині випробувань у зразках відбулося утворення поздовжніх тріщин з обох сторін, які з часом збільшувались, і на 39-й хвилині випробувань відбулося обвалення (втрата цілісності та несучої здатності) краю зразка № 2 (рис. 2).



Рис. 2. Зона обвалення зразка № 2

Випробування було продовжено до 45 хвилин. Втрати несучої здатності, цілісності та теплоізолювальної здатності зразка № 1 не відбулося.

Максимальні значення прогину та швидкості наростання деформацій (45 хв.) склали відповідно 30 мм та 1 мм/хв. (зразок № 1) і 31 мм та 1 мм/хв. (зразок № 2).

Значення  $A_s$ ,  $A_f$ ,  $A_{\min}$  для часу випробувань 38 хв. склали 27676, 27541, 25031 °С·хв. відповідно.

Похибка випробувань, яку було розраховано за формулою (3), склала 0,2 хв.

За результатами випробувань зроблено висновок: межа вогнестійкості плит перекриття без замурування торців і облицювання шпаклівкою становить 38 хв. (REI 30).

Як відомо, більшість будівель, для яких виготовляються багатопустотні плити перекриття, належать до I або II ступеню вогнестійкості (додаток Д [2]). Згідно з таблицею 4 [2] межа вогнестійкості конструкцій перекриття для таких будівель має бути не нижчою за REI 60.

З метою підвищення межі вогнестійкості було випробувано ще дві плити, в яких, на відміну від попередніх плит, було виконано наступні заходи:

- порожноти в торцях плит на глибину 150 мм було замуровано бетоном на цементно-піщаному розчині;
- із нижньої сторони кожний зразок було облицьовано шаром гіпсової шпаклівки SATENGIPS завтовшки 1 мм.

Випробування було виконано у послідовності, яку було прийнято для попередніх двох плит. Випробування тривали, згідно з замовленням, 62 хв. Під час випробувань втрати цілісності, теплоізолюючої спроможності та несучої здатності обох зразків не відбулося.

За результатами випробувань було встановлено наступне: межа вогнестійкості плит перекриття із замурованными на глибину 150 мм торцями і облицьованою нижньою поверхнею шаром шпаклівки склала не менш як 61 хв. (REI 60).

Таким чином експериментально було встановлено вплив технологічних факторів на вогнестійкість конструкцій. Дані, які було отримано під час проведення випробувань, не суперечать відомим результатам випробувань на вогнестійкість [7–9].

Враховуючи вищевикладене, можна зробити висновок: підвищення вогнестійкості залізобетонних багатопустотних плит до нормативних значень можна досягти простим дотриманням технологій виготовлення та монтажу конструкцій.

### **Висновки**

Наведено методику випробувань багатопустотних залізобетонних плит на вогнестійкість. Виконано порівняльні випробування різних серій зразків для виявлення можливостей підвищення вогнестійкості конструкцій з урахуванням впливу технологічних факторів.

За результатами виконаних випробувань конструкцій встановлено, що зразки без замурування торців (як це вимагає технологія виконання монтажу) і за відсутності облицьовання гіпсовою шпаклівкою нижньої поверхні плити мали межу вогнестійкості REI 30.

Суттєвого підвищення межі вогнестійкості для багатопустотних плит (до REI 60) можна досягти за рахунок виконання звичайних заходів, які передбачено технологією виготовлення і монтажу, а саме:

- замуруванням торців плит на глибину 150 мм бетоном на цементно-піщаному розчині;
- облицьованням нижньої поверхні плити гіпсовою шпаклівкою.

## Література

- [1] Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур : СНиП 2.03.04–84 / Госстрой СССР. – Офиц. изд. – Госстрой СССР, 1988. – 54 с. – (Строительные нормы и правила).
- [2] 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).
- [3] Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги : ДСТУ Б В.1.1-4-98\*. – Офіц. вид. – К. : Держбуд України, 2005. – 18 с. – (Захист від пожежі. Національний стандарт України).
- [4] Навантаження і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2-2:2006. – Офіц. вид. – К. : Мінбуд України, 2006. – 60 с. (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).
- [5] Перекриття та покриття. Метод випробувань на вогнестійкість : ДСТУ Б В.1.1-20:2007 (EN 1365-2: 1999, NEQ). – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2007. – 14 с. – (Захист від пожежі. Національний стандарт України).
- [6] Споруди та фрагменти будівель. Метод натурних вогневих випробувань. Загальні вимоги : ДСТУ Б В.1.1-18:2007. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2007. – 10 с. – (Захист від пожежі. Національний стандарт України).
- [7] Милованов А. Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций / А. Ф. Милованов. – М. : Стройиздат, 1986. – 224 с.
- [8] Мосалков И. Л. Огнестойкость строительных конструкций / И. Л. Мосалков, Г. Ф. Плюсина, А. Ю. Фролов. – М. : Спецтехника, 2001. – 484 с.
- [9] Фомин С. Л. Огнестойкость железобетонных плит, работающих в двух направлениях / С. Л. Фомин // Будівельні конструкції : міжвідомчий науково-технічний збірник / НДІБК. – К. : НДІБК, 2007. – Вип. 67. – С. 361–372.

*Надійшла до редколегії 29.05.2013 р.*