УДК 614.841.332

А.І. Ковальов, к.т.н., с.н.с., ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ,
Ю.А. Отрош, к.т.н., доцент, доц. каф., НУЦЗУ,
О.М. Данілін, к.т.н., нач. каф., НУЦЗУ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЕРЕКРИТТІВ З СИСТЕМОЮ ВОГНЕЗАХИСТУ

(представлено д.т.н. Чубом І.А.)

Наведено результати випробувань на вогнестійкість залізобетонних перекриттів, які захищені системою вогнезахисту з мінеральної вати на основі базальту та клею. Зроблено висновок про мінімально необхідну товщину досліджуваного вогнезахисного покриття для забезпечення необхідної межі вогнестійкості багатопустотного залізобетонного перекриття.

Ключові слова: багатопустотні залізобетонні перекриття, вогнестійкість, вогнезахисне покриття, технічний стан.

Постановка проблеми. За 2018 рік в Україні зареєстровано 78608 пожеж. Матеріальні втрати від пожеж склали 8 млрд. 279 млн. 119 тис. грн. В середньому щодня виникало 215 пожеж, вогнем знищувалось або пошкоджувалось 70 будівель і споруд. Щоденні матеріальні втрати від пожеж становили 22,7 млн. грн. Кожною пожежею державі наносились прямі збитки на суму 28,0 тис. грн.

У зв'язку з цим виникає необхідність в проведенні робіт із обстеження, оцінки технічного стану залізобетонних конструкцій та відновлення експлуатаційної придатності існуючих конструкцій, а також прогнозування технічного стану та можливого руйнування після впливів високих температур з подальшим використанням захисних заходів. При цьому необхідно вирішувати питання, що пов'язані із забезпеченням тривалої та надійної експлуатації будівельних конструкцій за рахунок прийняття відповідних матеріалів або захисних заходів [1–3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведено аналіз вимог стандартів на випробування вогнестійкості конструкцій України, Білорусі та Європейського Союзу, а також даних численних випробувань вогнестійкості найбільш поширених залізобетонних багатопустотних плит [4]. Для зіставлення критеріїв різних стандартів проаналізовані результати випробувань плит, що найбільш часто зустрічаються. При цьому український і європейський стандарт більш точно передбачили значення прогину при руйнуванні. Проте різниця між часом досягнення 1/20 і 1/15 значення прольоту склала не більше 3%, а різниця між часом досягнення 1/20 і 1/30 значення прольоту склала не більше 10%.

Визначення вогнестійкості залізобетонних конструкцій, а саме ба-

гатопустотних залізобетонних перекриттів може вирішуватися за допомогою 3-х методів: розрахункового, експериментального і розрахунково-експериментального. Відзначимо, що експериментальний метод визначення вогнестійкості найбільш точний, але в той же час і найбільш дорогий. Розрахунковий метод менш трудомісткий, але вимагає точного завдання теплофізичних характеристик (ТФХ) матеріалів перекриттів, які часто невідомі. Тому певний розвиток отримав розрахунково-експериментальний метод, що дозволяє за даними одного або кількох випробувань зразків, використовуючи математичні і комп'ютерні моделі теплових процесів, що відбуваються в цих зразках, оцінювати вогнестійкість будівельних конструкцій.

Результати досліджень вогнестійкості будівельних конструкцій як з вогнезахисними покриттями, так і без них, та розрахунку нестаціонарної теплопровідності відображено в працях таких вчених, як Ройтман М.Я., Фомін С.Л., Романенко П.Н., Демчина Б.Г., Круковський П.Г., Бєліков А.С., Шмуклер В.С., Гивлюд М.М., Новак С.В., Довбиш А.В., Качкар Є.В., Поздєєв С.В., Ковальов А.І., Якименко О.П. та ін.

Проте, на сьогоднішній день поза увагою дослідників залишилося питання виявлення взаємозв'язку між параметрами вогнезахисного покриття на основі мінеральної вати та вогнестійкістю багатопустотного залізобетонного перекриття, умов підвищення ефективності вогнезахисту залізобетонних будівельних конструкцій із застосуванням таких систем вогнезахисту.

Постановка завдання та його вирішення. У зв'язку з цим, встановлення межі вогнестійкості залізобетонного перекриття із системою вогнезахисту для подальшого визначення залежності між товщиною покриття, товщиною захисного шару бетону залізобетонного перекриття та нормованою межею вогнестійкості перекриття шляхом обґрунтування параметрів таких вогнезахисних покриттів на основі мінеральної вати є актуальною науково-технічною задачею, розв'язання якої позитивним чином вплине на забезпечення вимог пожежної та техногенної безпеки під час проектування, будівництва або реконструкції об'єктів різного функціонального призначення [5].

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Визначення вогнестійкості багатопустотних залізобетонних перекриттів здійснювалося по [6, 7] і полягало у визначенні проміжку часу від початку випробування за стандартним температурним режимом [6] до настання одного з нормованих для перекриття граничних станів з вогнестійкості за ознаками втрати цілісності, несучої здатності або теплоізолювальної здатності.

Випробуванням піддавалися два зразки багатопустотної залізобетонної плити ПК 48-12-8 виробництва ПАТ «Дарницький завод ЗБК» з системою вогнезахисту для облицювання залізобетонних перекриттів та

елементів суміщених покриттів, яка складається з мінеральної вати на основі базальту та клею.

Зразки плит знизу попередньо очищувалися щіткою, ґрунтувалися силікатною грунтовкою Sylitol 111 Konzentrat.

На нижню поверхню мінераловатних плит розміром 1200×200×50 мм (густина 78 кг/м^3), була нанесена клейова суміш за два проходи, перший – шпатлівочний тонкий шар рівною стороною, другий – зубчастою стороною штукатурного шпателя по всій поверхні. Плити з вати приклеювали «в шаховому порядку».

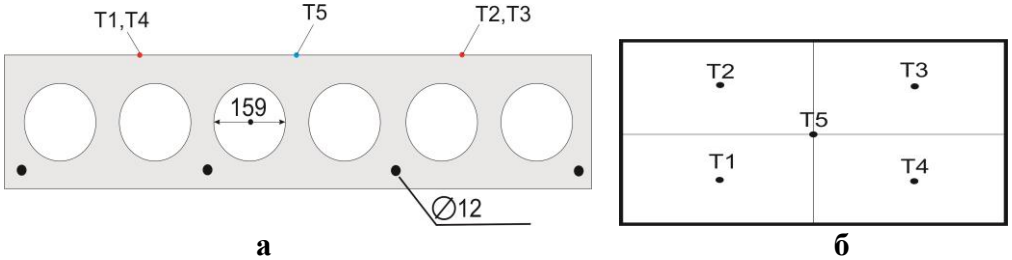
Плита перекриття ПК 48-12-8 розмірами 4780×1190 мм товщиною 220 мм. Плита має несучий сталевий каркас, який складається з сімох нижніх повздовжніх несучих арматур Ø12 А500С та арматурної проволоки Ø3 та Ø5 Вр-І. Бетон С12/15. Товщина захисного шару бетону до нижньої несучої арматури – 20 мм. Межа вогнестійкості плити за даними підприємства виробника становить REI 45.

Зразки встановлювались на горизонтальній печі з обпиранням по краях на шар з базальтових плит густиною 160 кг/м^2.

Навантаження здійснювалося каліброваними вантажами у вигляді бетонних блоків, які встановлювалися на зразках через компенсуючи опори. Фактичне навантаження на зразки встановлено, виходячи з створення у плитах напружень, що відповідають напруженням від питомого розподільчого навантаження 570 кг/м^2 (сталі та тимчасові довготривалі навантаження для плит під навантаження 800 кг/м^2).

Згідно з [5] граничне значення прогину зразків №1, №2 складало 220 мм, а граничне значення швидкості наростання деформації – 9,8 мм/хв. Прогин зразків визначався по центру плит.

Для вимірювання середньої та максимальної температури на необігрівній поверхні кожного зразка було встановлено по 5 термопар (Т1–Т5), одна термопара (Т1) у центрі зразка та чотири в геометричних центрах чвертей зразка (рис. 1).



а **б**

Рис. 1. Схема розташування термопар з необігрівної поверхні багатопустотного залізобетонного перекриття при випробуванні на вогнестійкість: а – поперечний переріз, що проходить через термопари Т1–Т2; б – вид зверху

Для випробувань використовувалась горизонтальна випробувальна піч і метрологічно повірені засоби вимірювальної техніки.

Результати вимірювань температур в вогневій печі наведені на рис. 2, а з необігрівної поверхні залізобетонної плити перекриття – на рис. 3.

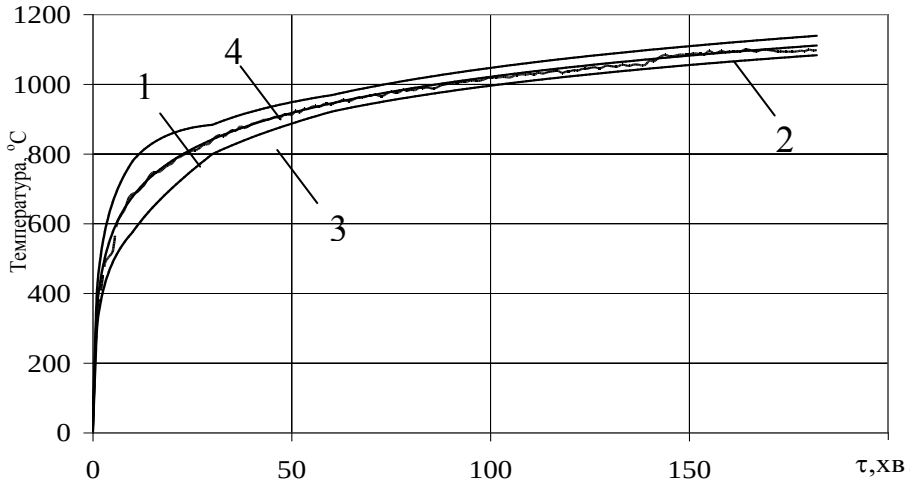


Рис. 2. Залежність температури в печі від часу вогневого впливу на обігрівній поверхні залізобетонної багатопустотної плити перекриття товщиною 220 мм, обробленої системою вогнезахисту із мінеральної вати: крива 1 – крива стандартного температурного режиму; крива 2 – реальна крива зміни температури в печі; 3 – допустимі при випробуваннях мінімальні значення температури в печі; 4 – допустимі при випробуваннях максимальні значення температури в печі

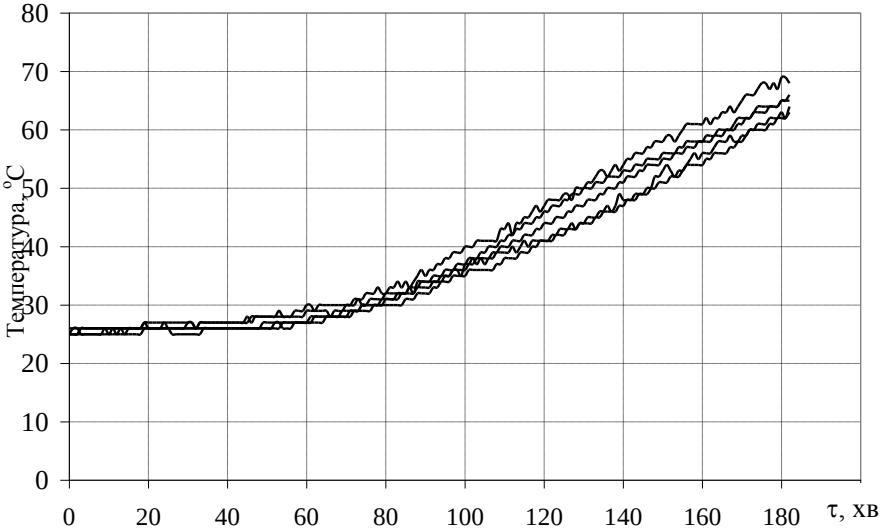


Рис. 3. Залежність температури від часу вогневого впливу на необігрівній поверхні багатопустотного залізобетонного перекриття з системою вогнезахисту із мінеральної вати в різних місцях вимірювання температури

Під час проведення випробувань температура та надлишковий тиск у печі відповідали вимогам, що регламентовані стандартом. Надлишковий тиск у печі на 5-й хв склав 9 Па, а з 10-ї хв – 12 Па.

Випробування зразків продовжувалися 182 хв. Максимальні значення прогину та швидкості наростання деформації склали, відповідно, 37 мм та 0,6 мм/хв (зразок №1) і 51 мм та 1,0 мм/хв (зразок №2). Під час випробувань зразків втрати цілісності, теплоізолювальної здатності та несучої здатності не відбулося. Похибка випробувань (Δt) згідно з формулою [5] склала 0,680 хв. Отримані в результаті випробувань на вогнестійкість значення температур (рис. 2, 3), в подальшому згідно методики [5] будуть використані для знаходження теплофізичних характеристик вогнезахисного покриття на основі мінеральної вати. Для цього буде використано одновимірну

математичну модель теплового стану плити перекриття з розбивкою плити на 6 шарів, описану в [8], яка являє собою одновимірне рівняння теплопровідності з урахуванням променистого теплообміну і граничними умовами 3-го роду на поверхні, що обігрівається, і на необігрівній поверхні.

Висновки. В результаті проведених випробувань встановлено, що межа вогнестійкості багатопустотної залізобетонної плити ПК 48-12-8 з системою вогнезахисту для облицювання залізобетонних перекриттів та елементів суміщених покриттів, яка складається з виробів з мінеральної вати на основі базальту (товщиною 50 мм) та клею складає не менше 182 хв (REI 180). Випробування конструкцій в умовах умовної пожежі регламентовано чинними нормативними документами і дозволяє виконати випробування з подальшим висновком про достатню вогнестійкість. За умов недостатньої вогнестійкості окремих конструкцій необхідно розробити додаткові заходи щодо захисту конструкцій від дії високих температур. Сучасні методики випробувань залізобетонних конструкцій на вогнестійкість не вимагають отримання побічних даних, які характеризують технічний стан конструкцій після випробувань [9].

Випробування на вогнестійкість залізобетонних конструкцій із різних бетонів із визначенням додаткових параметрів (міцності матеріалів до випробувань і після випробувань) дозволили б отримати експериментальну базу даних, яка б сприяла розробці розрахункових методів оцінювання вогнестійкості в залежності від застосованих матеріалів. Для вирішення цієї задачі необхідно надавати для випробувань, крім конструкцій, також і зразки бетону (куби або призми) та арматури. Інструментальне обстеження конструкцій до і після випробувань на вогнестійкість необхідно проводити методами і приладами руйнуючого і неруйнуючого контролю.

Перспективи подальших досліджень. Отримані результати (температури в печі та з не обігрівної поверхні) стануть основою для подальшого розрахункового визначення залежності між товщиною вогнезахисного покриття, товщиною захисного шару бетону залізобетонного перекриття та нормованою межею вогнестійкості перекриття шляхом обґрунтування параметрів таких вогнезахисних покриттів на основі мінеральної вати з використанням розрахунково-експериментального методу. Для верифікації даних експерименту буде виконано комп’ютерне моделювання залізобетонних конструкції у програмному комплексі ANSYS з подальшим розрахунком методом скінченних елементів.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану / Мінрегіон України. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 45 с.

2. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016. Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд. Надано чинності 01.04.2017, наказ від 20.06.2016 №185 / Мінрегіон України. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 45 с.

3. Отрош Ю.А. Комплекс взаємопов'язаних заходів щодо визначення параметрів напружено-деформованого і технічного стану констру-

кцій при різних впливах / Отрош Ю.А., Іванов А.П., Голоднов О.І. // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – К. : Вид-во «Сталь», 2011. – Вип. 8. – С. 98-109.

4. Отрош Ю.А. Сопоставительная оценка огнестойкости железобетонных многопустотных плит с использованием стандартов Беларуси, Украины, Европейского Союза, а также расчетных методов / Голоднов А.И., Кудряшов В.А., Полевода И.И., Отрош Ю.А., Ткачук И.А., Семиног Н.Н., Дробыш А.С // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2015. – Вып. 1(21). С. 30-39.

5. Ковалев А.И. Оценка огнестойкости многопустотных железобетонных перекрытий с огнезащитными покрытиями с помощью расчетно-экспериментального метода / А.И. Ковалев // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2012. – № 2(26). – С. 28–34.

6. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги (ISO 834:1975) : ДСТУ Б В.1.1–4–98. – [Чинний від 1998–10–28]. – К. : Укрархбудинформ, 1999. – 21с. – (Державний стандарт України).

7. Захист від пожежі. Перекриття та покриття. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-2:1999, NEQ) : ДСТУ Б В.1.1–20:2007. – [Чинний від 2007–10–26]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2007. – 14 с. – (Національний стандарт України).

8. Ковалев А.И. Усовершенствование метода оценки огнезащитной способности покрытий железобетонных перекрытий: дисс. … кандидата техн. наук : 21.06.02 / Ковалев Андрей Иванович. – К., 2012. – 163 с.

9. Отрош Ю.А. Використання системи моніторингу для оцінки технічного стану будівельних конструкцій / Отрош Ю.А. // Промислове будівництво та інженерні споруди. Український інститут сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – К.: Вид-во "Сталь", 2018. Вип. 3. С. 1-7.

Отримано редколегією 11.03.2019

А.И. Ковалев, Ю.А. Отрош, А.Н. Данилин

Экспериментальные исследования огнестойкости железобетонных перекрытий с системой огнезащиты

Приведены результаты испытаний на огнестойкость железобетонных перекрытий, которые защищены системой огнезащиты из минеральной ваты на основе базальта и клея. Сделан вывод о минимальной необходимой толщине исследуемого огнезащитного покрытия для обеспечения требуемого предела огнестойкости многопустотных железобетонных перекрытий.

Ключевые слова: многопустотные железобетонные перекрытия, огнестойкость, огнезащитное покрытие, техническое состояние.

A. Kovalov, Y. Otrosh, A. Danilin

Experimental studies of fire resistance of reinforced concrete floors with fire protection system

The results of tests on fire resistance of reinforced concrete ceilings, which are protected by a fire protection system from mineral wool on the basis of basalt and glue, are given. A conclusion is made about the minimum required thickness of the investigated flame retardant coating to provide the required fire resistance limit of multibrasive reinforced concrete overlap.

Keywords: ferroconcrete hollow-core floors, fire resistance, fire retardant coatings, technical condition.