

МІНІСТЕРСТВО НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ЦИВІЛЬНОГО
ЗАХИСТУ

КОВАЛЬОВ АНДРІЙ ІВАНОВИЧ



614.841.332

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ
ЗДАТНОСТІ ПОКРИВІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЕРЕКРИТТІВ**

21.06.02 – пожежна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля МНС України (м. Черкаси).

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Круковський Павло Григорович**, Інститут технічної теплофізики НАН України, завідувач відділом моделювання процесів тепломасообміну;

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Беліков Анатолій Серафимович**, Придніпровська державна академія будівництва і архітектури, завідувач кафедри «Безпека життєдіяльності»;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **Новак Сергій Вікторович**, ТОВ «Пожежний аудит», директор.

Захист відбудеться “14” березня 2012 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.720.01 в Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту МНС України за адресою: 01011, м. Київ, вул. Рибальська, 18.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту МНС України за адресою: 01011, м. Київ, вул. Рибальська, 18.

Автореферат розісланий «__» лютого 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник

А.В. Антонов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ

Актуальність теми. Вогнестійкість будівельних конструкцій є важливою характеристикою, яку необхідно враховувати при проектуванні будівель і споруд. Для забезпечення необхідної межі вогнестійкості таких конструкцій здійснюється їх обробка вогнезахисними речовинами, а для визначення їх вогнестійкості використовується експериментальний, розрахунковий та розрахунково-експериментальний методи. Останнім часом все більш широкого застосування набув більш економічний розрахунково-експериментальний метод, який дозволяє за результатами одного або декількох експериментів (вогневих випробувань), використовуючи математичні моделі, оцінювати вогнезахисну здатність покривів і вогнестійкість конструкцій.

Цей метод отримав розвиток у працях Ройтмана В.М., Мілованова А.Ф., Кошмарова Ю.А., Страхова В.Л., Крутова А.М., Харченка І.О., Демчини Б.Г., Яковлева А.І., Круковського П.Г., Новака С.В., Довбиша А.В., Цвіркуна С.В., Качкара Є.В. та ін. при визначенні вогнестійкості різних видів будівельних конструкцій та їх елементів, зокрема, вогнезахисної здатності вогнезахисних покривів металевих конструкцій, вогнестійкості гіпсокартонних плит, а також визначення залежності мінімальної необхідної товщини вогнезахисних перегородок від нормативної межі вогнестійкості.

Слід зазначити, що в цих роботах не знайшли відображення питання застосування такого методу для оцінки вогнестійкості багатопустотних залізобетонних перекриттів, в першу чергу, через те, що не були розкриті особливості тепломасообміну в порожнинах таких перекриттів, які раніше не враховувалися. Розкриття і врахування цих особливостей є важливим елементом наукового обґрунтування удосконалення розрахунково-експериментального методу оцінки вогнезахисної здатності покривів залізобетонних конструкцій і поширення сфери його застосування на багатопустотні залізобетонні перекриття, що зумовило актуальність даної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проводилися відповідно до «Програми забезпечення пожежної безпеки на період до 2010 року», затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 1 липня 2002 року № 870, в рамках виконання науково-дослідної роботи за темою: «Провести дослідження та розробити метод визначення вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів для будівельних несучих залізобетонних конструкцій «Вогнезахист ЖБК» (номер держреєстрації 0110U001991), в якій здобувач був виконавцем.

Ідея роботи полягає в удосконаленні розрахунково-експериментального методу оцінки вогнезахисної здатності покривів залізобетонних конструкцій шляхом врахування конвективно-радіаційного теплообміну в порожнинах багатопустотних залізобетонних перекриттів.

Метою роботи є наукове обґрунтування удосконалення розрахунково-експериментального методу оцінки вогнезахисної здатності покривів залізобетонних перекриттів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- провести аналіз стану питання вогнестійкості залізобетонних багатопустотних і монолітних перекриттів з вогнезахисними покриттями і без них, а також методів її оцінки;
- провести аналіз можливості оцінювання вогнезахисної здатності покривів залізобетонних перекриттів за допомогою розрахунково-експериментального методу за результатами випробувань на вогнестійкість на основі існуючого національного стандарту України;
- розробити двовимірну математичну модель теплового стану багатопустотного залізобетонного перекриття, що враховує тепломасообмінні процеси в порожнинах, а також одновимірну, еквівалентну двовимірній, математичну модель теплового стану цих перекриттів, що дозволяє визначати теплофізичні характеристики і характеристику вогнезахисної здатності вогнезахисних покривів;
- провести теоретичні та експериментальні дослідження по виявленню особливостей теплового стану багатопустотних залізобетонних перекриттів, зумовлених процесами тепломасообміну в порожнинах;
- розробити методику застосування розрахунково-експериментального методу для визначення характеристики вогнезахисної здатності покривів багатопустотних і монолітних залізобетонних перекриттів за ознакою втрати теплоізолюючої здатності або досягнення арматурою критичної температури при заданому рівні навантаження;
- провести апробацію розробленої методики оцінювання вогнезахисної здатності покривів монолітних залізобетонних перекриттів.

Об’єкт дослідження – вогнестійкість залізобетонних багатопустотних і монолітних перекриттів з вогнезахисними покриттями та без них, а також методи її оцінки.

Предмет дослідження – вплив процесів тепломасообміну, що відбуваються в багатопустотних і монолітних залізобетонних перекриттях з вогнезахисними покриттями та без них, на вогнестійкість цих конструкцій.

Методи дослідження. Для визначення межі вогнестійкості багатопустотних залізобетонних перекриттів з вогнезахисними покриттями та без них використані експериментальні методи дослідження поведінки зразків при нагріванні, регламентованих вимогами ДСТУ Б В.1.1-20-2007 *Захист від пожежі. Перекриття та покриття. Метод випробування на вогнестійкість*; здійснювалось математичне та комп’ютерне моделювання процесів нестационарного теплообміну в системі "залізобетонне перекриття - вогнезахисний покрив"; визначення теплофізичних характеристик і характеристики вогнезахисної здатності покривів залізобетонних перекриттів на основі розв’язання прямих і обернених задач теплопровідності.

Наукова новизна дослідження:

- розкрито особливості процесів тепломасообміну в порожнинах багатопустотних залізобетонних перекриттів та їх вплив на вогнестійкість цих конструкцій з вогнезахисними покриттями та без них, при цьому вперше виявлено вплив радіаційно-конвективного теплообміну в порожнинах, що призводить до більш інтенсивного (в 2 рази), порівняно з суцільними перекриттями, нагрівання поверхні перекриття, що не обігрівається, в умовах випробувань на вогнестійкість;
- вперше запропоновано враховувати розроблену одновимірну багат шарову математичну модель, еквівалентну двовимірній моделі теплового стану багатопустотного перекриття для реалізації розрахунково-експериментального методу оцінки вогнестійкості багатопустотних залізобетонних перекриттів, що дозволяє визначати теплофізичні характеристики і характеристику вогнезахисної здатності покриттів з урахуванням результатів випробувань на вогнестійкість;
- набула подальшого розвитку сфера застосування розрахунково-експериментального методу оцінювання ефективності вогнезахисних покриттів будівельних залізобетонних конструкцій і науково обґрунтовано можливість його застосування для оцінки вогнестійкості багатопустотних залізобетонних перекриттів, що враховує конвективно-радіаційний теплообмін в порожнинах цих перекриттів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується використанням відомих математичних моделей тепломасообміну для системи "залізобетонне перекриття - вогнезахисний покрив", апробованих чисельних методів інтегрування математичних моделей теплообміну і розв'язання обернених задач, а також задовільним збігом розрахункових та експериментальних температур в випробуваних залізобетонних перекриттях.

Практичне значення отриманих результатів полягає в застосуванні запропонованого методу для оцінки вогнезахисної здатності покриттів залізобетонних перекриттів, які використовуються в будівництві та при розробці відповідної нормативної документації, для визначення нормованих вимогами пожежної безпеки меж вогнестійкості, що в порівнянні з існуючим методом є більш економічним та об'єктивним. Розроблений метод оцінки вогнезахисної здатності покриттів залізобетонних перекриттів застосований на ТОВ «Завод Буддеталь» м. Черкаси та ТОВ «ПТК «А+В Україна» м. Київ, а також впроваджено в навчальний процес Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України при вивченні дисциплін: «Будівлі і споруди та їх поведінка в умовах пожежі» і «Пожежна профілактика в населених пунктах».

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні мети і задач дослідження, аналізі літературних джерел, розробці методики для визначення характеристики вогнезахисної здатності покривів залізобетонних перекриттів для граничного стану конструкції з вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолюючої здатності чи досягнення критичної температури арматурою, розробці моделей теплового стану багатопустотних залізобетонних перекриттів. Дослідження впливу параметрів вогнезахисних покривів на вогнестійкість залізобетонних перекриттів, захищених ними, визначення теплофізичних характеристик бетону, вогнезахисних покривів, аналіз отриманих результатів досліджень, впровадження результатів роботи проведено особисто здобувачем.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційних досліджень доповідалися і обговорювалися на:

- Наукових читаннях, присвячених 100-річчю з дня народження доктора технічних наук, професора Миколи Антоновича Стрельчука (м. Москва, 2010);
- III Міжнародній науково-практичній конференції «Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту» (м. Черкаси, 2010);
- VI Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми природничих та технічних наук в забезпеченні діяльності служби цивільного захисту» (м. Черкаси, 2010);
- VI Міжнародній науково-практичній конференції «Надзвичайні ситуації: попередження і ліквідація» (м. Мінськ, 2010);
- II Міжнародній науково-практичній конференції «Техногенна безпека: теорія, практика, інновації» (м. Львів, 2011);
- II Міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні аспекти застосування хімії у сфері цивільного захисту» (м. Черкаси, 2011);
- I Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна безпека: теорія і практика» (м. Черкаси, 2011).

Публікації. Основний зміст роботи викладено в 6 наукових статтях, у виданнях, включених до переліку спеціалізованих, а також в тезах 7 доповідей на національних та міжнародних науково-практичних конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів і загальних висновків, списку літературних джерел з 129 найменувань; містить 163 сторінки друкованого тексту, 7 таблиць, 65 рисунків і 3 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано вибір і актуальність теми дослідження, сформульовано ідею, мету роботи, задачі досліджень, наукову новизну, особистий внесок здобувача та практичне значення роботи.

У першому розділі розглядаються існуючі способи і методи захисту залізобетонних конструкцій від впливу пожежі. Проводиться огляд різних вогнезахисних покривів залізобетонних конструкцій, що використовуються в будівництві, методи визначення вогнестійкості залізобетонних конструкцій, режими пожежі. На основі проведеного огляду сформульовані мета роботи та задачі, вирішення яких дозволило досягти поставленої в роботі мети.

В наукових працях Ройтмана В.М., Мілованова А.Ф., Кошмарова Ю.А., Страхова В.Л., Крутова А.М., Харченка І.О., Демчини Б.Г., Яковлева А.І. і ін. розглянуто застосування розрахунково-експериментального методу для визначення вогнестійкості різних видів будівельних конструкцій та їх елементів. Цей підхід також отримав розвиток і застосування для визначення характеристики вогнезахисної здатності вогнезахисних покривів металевих конструкцій (роботи Цвіркуна С.В., Круковського П.Г. і Новака С.В.), аналізу вогнестійкості гіпсокартонних плит (роботи Довбиша А.В. та Новака С.В.), а також визначення залежності необхідної мінімальної товщини вогнезахисних перегородок від нормованої межі вогнестійкості (роботи Качкара Є.В. та Круковського П.Г.).

Фактично для кожного виду будівельних конструкцій розроблялася своя методика застосування розрахунково-експериментального методу визначення характеристики вогнезахисної здатності покривів або параметрів будівельних конструкцій, оскільки кожна з них має свої конструктивні особливості, особливості фізичних процесів, що протікають при нагріванні і критерії граничних станів конструкцій.

Для оцінки вогнестійкості залізобетонних перекриттів в даний час розглядаються граничні стани з вогнестійкості за ознаками втрати теплоізолюючої здатності чи несучої здатності (досягнення максимального значення прогину або швидкості наростання деформації). Але, як показує практика, в результаті прогріву арматури залізобетонних перекриттів до 400-600 °С арматурна сталь втрачає свої механічні властивості і саме перекриття не виконує несучої функції, тому така температура також може враховуватися при визначенні меж вогнестійкості перекриття, як критична, так як вона істотно впливає на несучу здатність перекриття.

Проведений аналіз дозволив обґрунтувати необхідність застосування розрахунково-експериментального методу для удосконалення методики визначення характеристики вогнезахисної здатності покривів залізобетонних перекриттів при використанні граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолюючої здатності або досягнення арматурою критичної температури при заданому рівні навантаження.

У другому розділі представлена схема розрахунково-експериментального методу, обґрунтування необхідності та алгоритм розробки методики його

застосування для визначення характеристики вогнезахисної здатності (ХВЗ) покривів залізобетонних перекриттів (рис. 1), а також наводиться опис випробувань на вогнестійкість залізобетонних перекриттів з вогнезахисним покривом «Ендотерм 210104», результати яких використовуються як вихідні дані при визначенні характеристики вогнезахисної здатності покриву.

Розрахунково-експериментальний метод (РЕМ) визначається як сукупність експериментальних і розрахункових процедур, що дозволяють визначати необхідні характеристики досліджуваного об'єкта (рис. 1), зокрема



залежність товщини покриву від товщини захисного шару бетону. Як зазначалося вище, РЕМ є потужним і досить точним методом у порівнянні з експериментальним або розрахунковим методами. Як видно з рис. 1, РЕМ має такі основні складові: проведення випробувань на вогнестійкість (експериментальна частина РЕМ), вибір математичної та комп'ютерної моделей

фізичних процесів, які відбуваються в об'єктах, що досліджуються, а також вибір процедур визначення параметрів моделі шляхом розв'язання обернених задач і визначення характеристики вогнезахисної здатності покривів залізобетонних перекриттів шляхом розв'язання ряду прямих задач (розрахункова частина РЕМ).

Запропоновано використовувати поняття характеристики вогнезахисної здатності покриву залізобетонного перекриття, як залежність товщини вогнезахисного покриву від товщини захисного шару бетону (відстань між поверхнею нагрівання і прилеглою арматурою), за яких забезпечується нормована межа вогнестійкості залізобетонного перекриття для граничних станів з вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолюючої здатності або досягнення арматурою критичної температури при заданому рівні навантаження.

На рис. 1 разом з РЕМ наведені основні складові методики його застосування. Як видно з рис. 1, розробка методики застосування РЕМ передбачає правильний вибір складових математичної моделі процесів тепломасообміну, що відбуваються в залізобетонних перекриттях, вибір кількості зразків, необхідних для достовірного визначення характеристики вогнезахисної здатності покриву, а також правильно вибрані метод і алгоритм розв'язання обернених задач для визначення теплофізичних характеристик (ТФХ) вогнезахисного покриву.

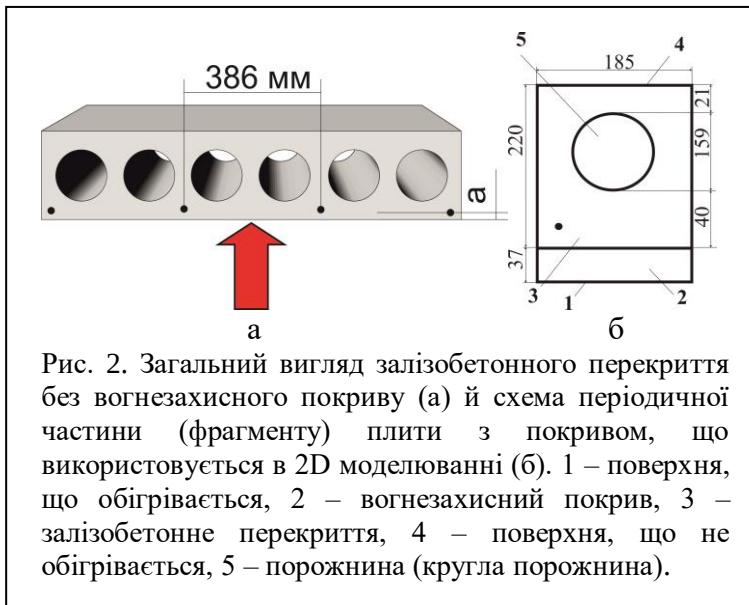


Рис. 2. Загальний вигляд залізобетонного перекриття без вогнезахисного покриття (а) й схема періодичної частини (фрагменту) плити з покритвом, що використовується в 2D моделюванні (б). 1 – поверхня, що обігривається, 2 – вогнезахисний покриття, 3 – залізобетонне перекриття, 4 – поверхня, що не обігривається, 5 – порожнина (кругла порожнина).

"НВП" Спецматеріали" (Україна). Випробування проводилися при стандартному температурному режимі:

$$\theta_t = 345 \lg(8t + 1) + 20, \quad (1)$$

де θ_t – температура в печі, °C; t – час нагріву, хв

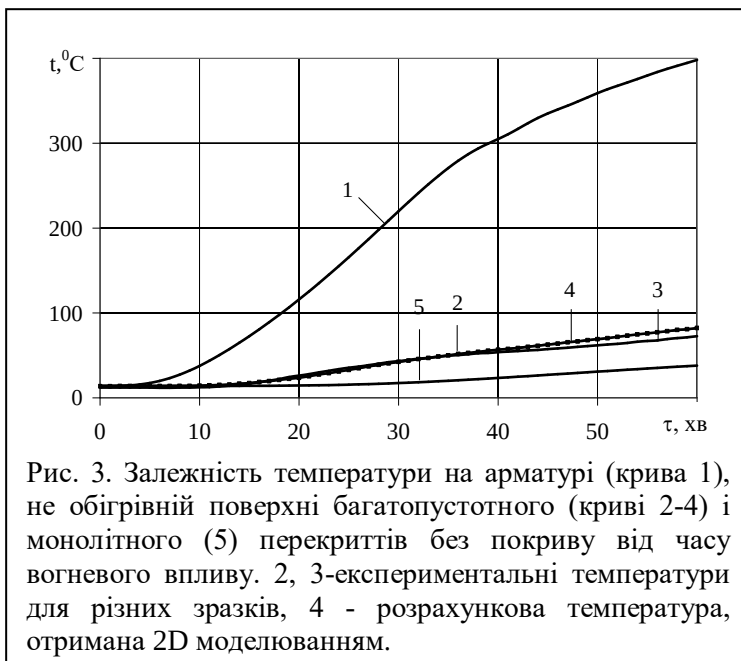


Рис. 3. Залежність температури на арматурі (крива 1), не обігрітій поверхні багатопустотного (криві 2-4) і монолітного (5) перекриттів без покриття від часу вогневого впливу. 2, 3-експериментальні температури для різних зразків, 4 - розрахункова температура, отримана 2D моделюванням.

боків плит за допомогою механізованого способу був нанесений шар суміші для вогнезахисного покриття "Ендотерм 210104" середньою товщиною 37 мм. За результатами випробувань на вогнестійкість було встановлено, що межа вогнестійкості таких перекриттів склала не менше 182 хв (REI 180).

Для розробки методики було проаналізовано наявні випробування на вогнестійкість багатопустотних плит перекриття 1ПК 48-12-8т (рис. 2). Згідно ДСТУ Б В.1.1-20:2007 були випробувані два залізобетонних перекриття без вогнезахисного покриття, а потім два перекриття з вогнезахисним штукатурним покритвом «Ендотерм 210104» виробництва ТОВ

Результати випробувань на вогнестійкість цих перекриттів (довжина 4800 мм) без вогнезахисного покриття у вигляді залежностей температури на арматурі і на поверхні перекриття, що не обігривається, від часу вогневого впливу наведено на рис. 3.

За тією ж схемою випробуванням піддавалися два зразки залізобетонних перекриттів з вогнезахисним покритвом. На зразки знизу і з

Залежність температури на арматурі і на поверхні перекриття з покривом, що не обігрівается, від часу вогневого впливу наведена на рис. 4 і використані в розділах 3 і 4 дисертації для визначення ХВЗ покривів багатопустотних і монолітних залізобетонних перекриттів. Для реалізації та перевірки такої методики виникла необхідність розробки і дослідження двовимірної математичної моделі теплового стану перекриття з урахуванням не тільки теплопровідності в твердих частинах перекриття, а й радіаційно-конвективного теплообміну в порожнинах, об'єм яких можна порівняти з об'ємом самого перекриття. Для визначення ТФХ і ХВЗ покриву було запропоновано розробити та використовувати

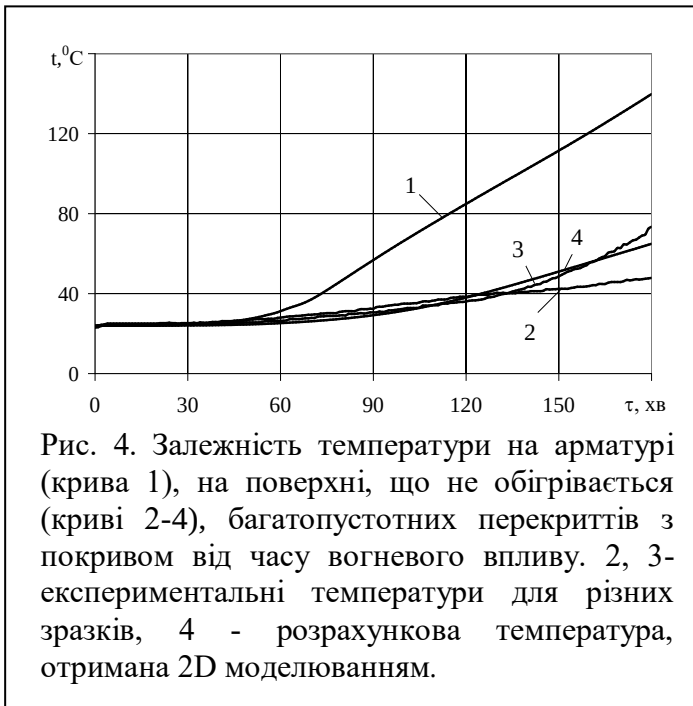


Рис. 4. Залежність температури на арматурі (крива 1), на поверхні, що не обігрівается (криві 2-4), багатопустотних перекриттів з покривом від часу вогневого впливу. 2, 3-експериментальні температури для різних зразків, 4 - розрахункова температура, отримана 2D моделюванням.

одновимірну модель (еквівалентну за тепловим станом двовимірній моделі), працездатність якої також була перевірена за допомогою двовимірної моделі.

У третьому розділі наведена розроблена методика визначення ХВЗ покривів залізобетонних перекриттів за ознакою досягнення арматурою критичної температури при заданому рівні навантаження або теплоізолюючої здатності за результатами випробувань на вогнестійкість на основі одно- (1D) і двовимірних (2D) моделей теплового стану перекриття. У роботі прийнято, що граничним станом залізобетонного перекриття з вогнестійкості є час досягнення арматурою критичної температури при заданому рівні навантаження, але саме навантаження конструкції і її міцнісні характеристики не розглядаються.

Для аналізу особливостей теплообміну при нагріванні залізобетонного перекриття, загальний вид якого показано на рис. 2, а, була розроблена 2D математична та комп'ютерна моделі в програмному середовищі ANSYS FLU-ENT. Розробка 2D моделі дозволила перевірити можливість застосування розрахунково-експериментального методу для визначення ХВЗ покривів залізобетонних перекриттів. Для моделювання вибиралася періодична частина типового перекриття (рис.2, а) у вигляді геометричної області, представленої на рис.2, б з наступними властивостями. Густина для сухого бетону приймалася рівною 2000 кг/м³, коефіцієнт теплопровідності бетону і питома об'ємна теплоємність вибиралися по кривій з ENV 1992-1-2 Єврокод 2: Проектування бетонних конструкцій - Частина 1-2: Загальні правила - Проектування конструкцій з урахування впливу пожежі (далі – Єврокод).

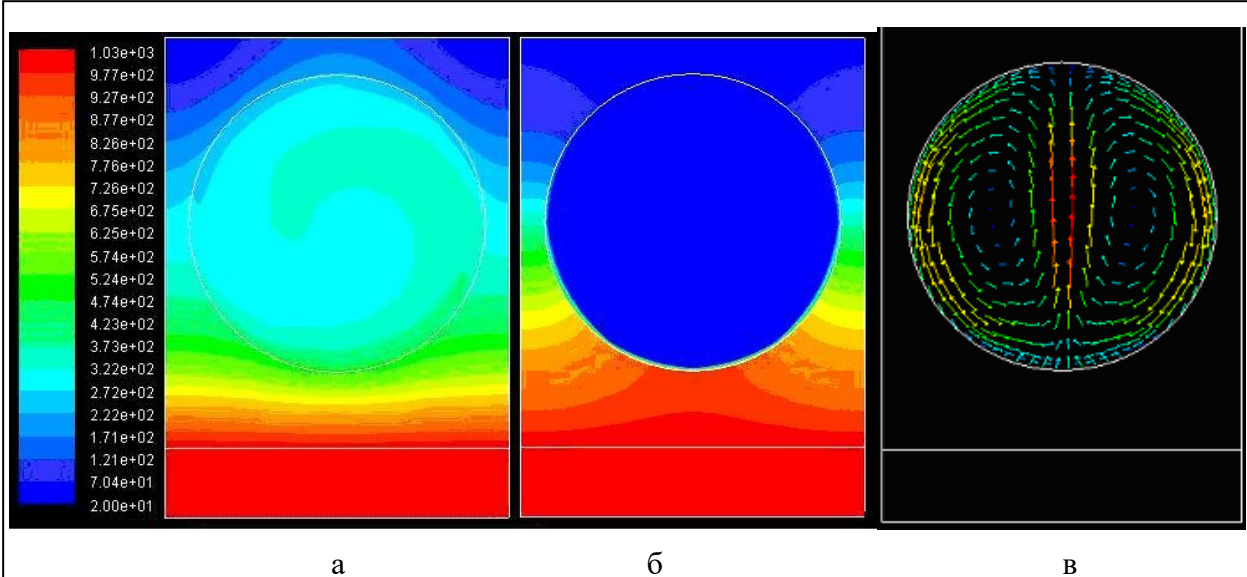


Рис. 5. Розподіл температур (а і б) і швидкостей повітря в порожнині (в), отриманих 2D моделюванням нагріву фрагменту плити перекриття (рис.3,б) знизу (випробування без штукатурки) для випадків із врахуванням (а і в) і без (б) врахування радіаційно-конвективного теплообміну в порожнинах для моменту часу 60 хв.

Двовимірний математичний модель представляє собою наступну систему рівнянь:

- рівняння енергії для всього перекриття (бетон і повітря);
- рівняння руху повітря в порожнині при вільній конвекції;
- рівняння нерозривності для повітря в порожнині;
- рівняння стану стиснутого газу;
- рівняння для врахування радіаційного теплообміну в порожнинах;
- граничні умови радіаційно-конвективного теплообміну на поверхнях, що обігрівається і не обігрівається і умови симетрії (відсутності теплообміну) на бічних гранях періодичної частини розглянутої плити (рис.2,б).

За результатами випробувань на вогнестійкість та розрахунків за допомогою 2D моделі був проведений аналіз особливостей нагріву залізобетонного перекриття з арматурою і порожнинами при нагріванні з поверхні, що обігрівається і охолодженні з поверхні, що не обігрівається, в навколишнє середовище. Аналіз показав наступне:

1. Моделювання розподілу температур, отриманих 2D моделюванням при нагріванні фрагмента плити перекриття (рис.2,б), необхідно обов'язково проводити з врахуванням радіаційно-конвективного теплообміну в порожнинах (рис. 5,а,в), тому що врахування тільки теплопровідності через повітря в порожнині (рис. 5,б) призводить до занижених (до 50%) значень температур на поверхні плити, що не обігрівається. Висхідні конвективні потоки повітря, які видно з розподілу швидкостей на рис. 5,в та наявність радіаційного теплообміну між стінками порожнини перекриття сильно впливають на значення температур з поверхні, що не обігрівається. Як видно із рис. 5, поверхня багатопустотного залізобетонного перекриття, що не обігрівається, більш інтенсивно прогрівається у порівнянні з монолітним (крива 5, рис.3), тому що порожнини не заповнені бетоном, а через повітря в порожнинах добре здійснюється радіаційний і конвективний теплообмін.

2. Залежності температури на поверхні плити перекриття, що не обігрівається, від часу вогневого впливу, отримані експериментально (рис. 3, криві 2, 3) і розрахунковим шляхом за допомогою 2D моделювання (рис. 3,

крива 4) близькі, що підтверджує правильність 2D моделювання, а розрахункова температура в місці установки арматурних стрижнів близька до критичної температури арматури (рис. 3, крива 1).

3. Найбільші значення температур на поверхні перекриття, що не обігрівається, спостерігаються безпосередньо над порожнинами, а найменші між ними (рис. 2,б, 5). Величина нерівномірності для розглянутого випадку досягає 20 °С.

У результаті виконаного аналізу особливостей теплообміну була обрана наступна методика визначення характеристики вогнезахисної здатності вогнезахисних покривів залізобетонних перекриттів на основі розрахунково-експериментального методу за результатами випробувань на вогнестійкість.

1. Вибрати наступну одновимірну математичну модель теплового стану плити перекриття з розбивкою плити на 6 шарів (рис. 6)

$$c_v(x, T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(x, T) \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (2)$$

$$\lambda_{оп} \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = \alpha^* [T_{c1}(t) - T(0, t)], \quad (3)$$

$$\alpha^* = \alpha_{c1} + \frac{C_0 \varepsilon}{T_{c1}(t) - T(0, t)} \left\{ \left[\frac{T_{c1}(t)}{100} \right]^4 - \left[\frac{T(0, t)}{100} \right]^4 \right\}, \quad (4)$$

$$\lambda_B \frac{\partial T(X, t)}{\partial x} = \alpha^{**} [T(X, t) - T_{c2}], \quad (5)$$

$$\alpha^{**} = \alpha_{c2} + \frac{C_0 \varepsilon}{T(X, t) - T_{c2}(t)} \left\{ \left[\frac{T(X, t)}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_{c2}(t)}{100} \right]^4 \right\}, \quad \alpha_{c2} = A [T(X, t) - T_{c2}(t)]^{0.33}, \quad (6)$$

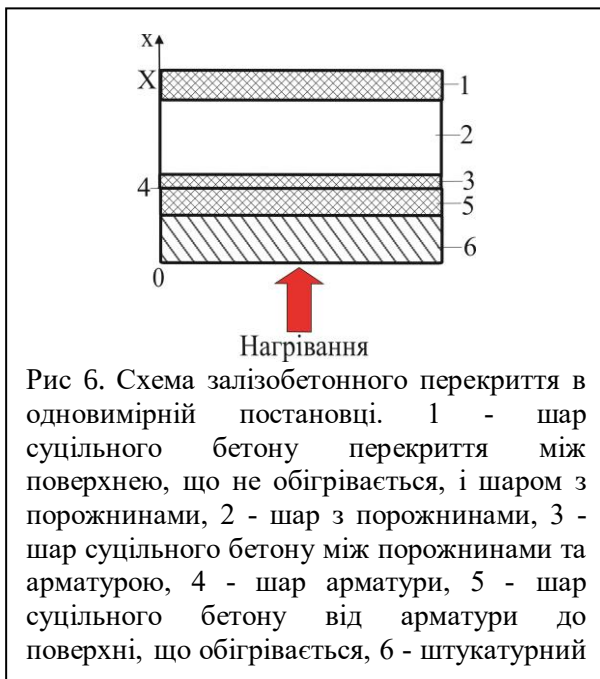


Рис 6. Схема залізобетонного перекриття в одновимірній постановці. 1 - шар суцільного бетону перекриття між поверхнею, що не обігрівається, і шаром з порожнинами, 2 - шар з порожнинами, 3 - шар суцільного бетону між порожнинами та арматурою, 4 - шар арматури, 5 - шар суцільного бетону від арматури до поверхні, що обігрівається, 6 - штукатурний

де C_v – питома об’ємна теплоємність, λ – коефіцієнт теплопровідності, T – температура, τ – час, x – координата, α_{c1} – коефіцієнт тепловіддачі від гарячих газів до поверхні вогнезахисного покриву (ВП) або бетону, що нагрівається, α_{c2} – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні перекриття, що не обігрівається, в повітря, C_0 – випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла ($C_0 = 5,67$), ε – коефіцієнт випромінювання поверхні вогнезахисного покриву або бетону, що нагрівається; T_{c1} – температура гарячих газів у печі при випробуванні; T_0 – початкова температура перекриття перед

випробуванням. Коефіцієнт тепловіддачі від гарячих газів до поверхні вогнезахисного покриву (ВП) або бетону, що нагрівається α_{c1} приймається

рівним $25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, коефіцієнт випромінювання поверхні ВП або бетону, що нагрівається $\varepsilon = 0,7$. Коефіцієнт тепловіддачі між поверхнею перекриття, що не обігрівається і навколишнім середовищем α^{**} (5) - (6) також враховує конвективний α_{c2} і радіаційний теплообмін від горизонтальної поверхні ($A = 1,16$) у навколишнє середовище. Багатошаровість розглянутої моделі враховується залежностями C_v і λ від координати.

Така одновимірна модель теплового стану перекриття необхідна для реалізації можливості визначення ТФХ і ХВЗ вогнезахисного покриття (за допомогою програм типу FRIEND), чого не можна зробити за допомогою програми ANSYS FLUENT, внаслідок набагато меншої, в порівнянні з програмою FRIEND, швидкості розрахунку на комп'ютері.

2. Використати екстремальний метод розв'язання обернених задач теплопровідності для розрахунку необхідних параметрів моделі за даними випробувань на вогнестійкість, як найбільш загальний метод розв'язання обернених задач теплопровідності, згідно з яким необхідно знайти такі значення параметрів (P) характеристик, для яких величина середньоквадратичного відхилення F розрахункових $T_{M,i}$ і експериментальних $T_{E,i}$ значень температур у місцях розташування термопар буде мінімальною

$$\phi = \sqrt{\sum_{i=1}^n [T_{M,i}(P) - T_{E,i}]^2}, \quad (7)$$

де n – кількість експериментальних значень температури в часі.

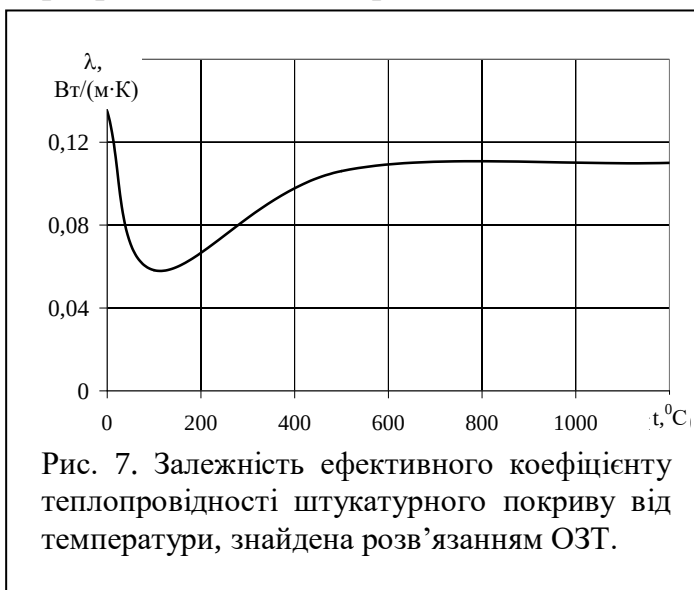
3. Задати ТФХ бетону шарів 1, 3, 5 (рис. 6) для моделювання прогріву перекриття з Єврокоду.

4. На основі розробленої 1D моделі (описаної в пункті 1) та методу розв'язання ОЗТ (описаного в пункті 2) визначити коефіцієнт теплопровідності шару 2 плити з порожнинами (рис. 2) розв'язанням обернених задач, використовуючи дані (температуру на поверхні, що не обігрівається) випробувань на вогнестійкість залізобетонного перекриття без покриття. Для розв'язання ОЗТ брати зразок з більшими значеннями температур на поверхні перекриття, що не обігрівається. При цьому питому об'ємну теплоємність шару також задавати функцією температури з Єврокоду із множенням значень на величину 0,38 (частка об'єму перемичок бетону в шарі 2 з порожнинами) (рис. 2). Товщина шару 2 приймається рівною діаметру порожнин.

5. Використовуючи математичну модель (2) - (6), описану в пункті 1, розв'язанням ОЗТ (пункт 2) за даними випробувань з покритвом (температуру на поверхні, що не обігрівається) визначити ТФХ досліджуваного вогнезахисного покриття.

6. Використовуючи математичну модель (2) - (6) розв'язанням серії ПЗТ визначити залежність товщини покриття від товщини захисного шару бетону для різних меж вогнестійкості за ознаками досягнення критичної температури арматури (500°C) або втрати теплоізолюючої здатності (140°C + початкова температура перекриття).

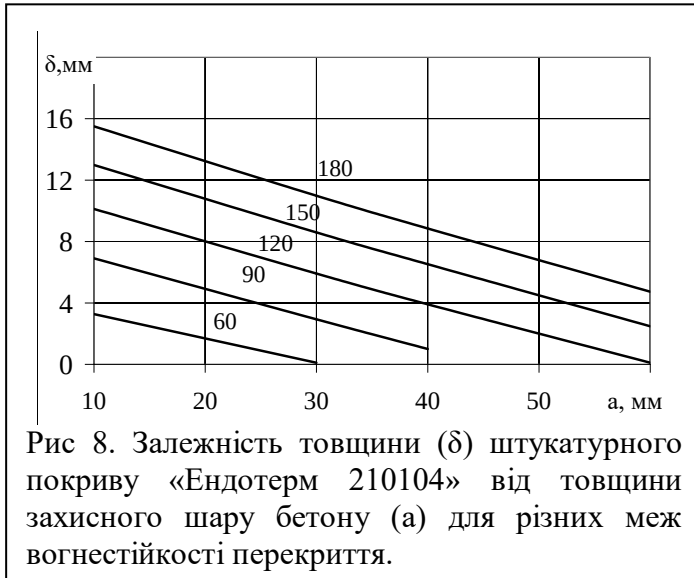
Розроблена методика була застосована для отримання ТФХ і ХВЗ штукатурного покритву «Ендотерм 210104» за результатами випробувань на вогнестійкість залізобетонних перекриттів з цим вогнезахисним покритвом. Згідно п.п. 1, 2 методики був знайдений еквівалентний коефіцієнт теплопровідності шару 2 з порожнинами (рис. 6), що дорівнює $3,18 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, при якому спостерігалася найбільша близькість розрахункових і експериментальних температур на поверхні перекриття, що не обігрівається, для зразка з найбільшими температурами без вогнезахисного покритву. При цьому значення критерію середньоквадратичного відхилення (7) склало $3,2^\circ\text{C}$. Згідно з п. 5 методики були визначені коефіцієнт теплопровідності (рис.7) і питома об'ємна теплоємність ($C_v=1,01\cdot 10^6 \text{ Дж/(м}^3\cdot\text{К)}$) досліджуваного вогнезахисного покритву за експериментальними температурами на поверхні перекриття, що не обігрівається. Як видно із рис. 7, в діапазоні температур від



0 $^\circ\text{C}$ до 100 $^\circ\text{C}$ значення коефіцієнта теплопровідності штукатурного покритву «Ендотерм 210104» падає і проходить через мінімальні екстремальні значення $0,06 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ (при температурі 100 $^\circ\text{C}$), що пояснюється інтенсивними фізико-хімічними процесами випаровування в початковій стадії нагрівання, а потім зростає в діапазоні температур від 100 $^\circ\text{C}$ до 600 $^\circ\text{C}$, що пояснюється вигоранням шару покритву. При

цьому критерій середньоквадратичного відхилення (7) склав $1,7^\circ\text{C}$ (рис. 4). На рис. 4 крива 4 представляє середню температуру на поверхні перекриття, що не обігрівається, отримана за допомогою 2D-моделі, яка добре корелює з експериментальною кривою 3, що в свою чергу говорить про задовільну адекватність 1D-моделі в порівнянні з 2D-моделлю при розрахунку теплового стану перекриття з покритвом. На рис. 4. також представлена крива зміни температури арматури (шар 4 1D-моделі, рис. 6), яка наприкінці нагріву дорівнює 138°C . Ця температура нижче критичної температури нагріву арматури (500°C), що пояснюється тим, що товщина штукатурного покритву залізобетонного перекриття при проведенні випробувань на вогнестійкість становила 37 мм, що набагато більше від необхідної товщини для забезпечення нормованої межі вогнестійкості для такого перекриття (рис. 8). Розрахована за допомогою 1D-моделі вогнестійкість плити перекриття при такій товщині складає приблизно 300 хв.

За результатами дослідження двох плит перекриття ПК 48-12-8т, для яких



проведені випробування на вогнестійкість, і згідно з п. 6 методики, була отримана характеристика вогнезахисної здатності - залежність товщини штукатурного покриву «Ендотерм 210104» від товщини захисного шару бетону перекриття для різних меж вогнестійкості перекриття, за ознакою досягнення арматурою критичної температури 500°C при заданому у випробуванні (570 кг/м^2) рівні навантаження (рис. 8).

За допомогою отриманої ХВЗ

можливо визначати товщину вогнезахисного штукатурного покриву залежно від товщини захисного шару бетону для необхідної межі вогнестійкості конструкції, при якому настає граничний стан з вогнестійкості за ознакою досягнення критичної температури арматури при заданому рівні навантаження або теплоізолюючої здатності залізобетонного перекриття, обробленого цим вогнезахисним штукатурним складом. Слід зазначити, що похибка визначення характеристики вогнезахисної здатності оцінюється в 16% і може бути нижчою, якщо застосовувати додаткові виміри температур, запропоновані в проекті ДСТУ Б В.1.1-XX-20XX *Захист від пожежі. Вогнезахисні покриви для будівельних несучих залізобетонних конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності не тільки з поверхні, що не обігрівається, а й на арматурі, під вогнезахисним покривом і всередині перекриття.*

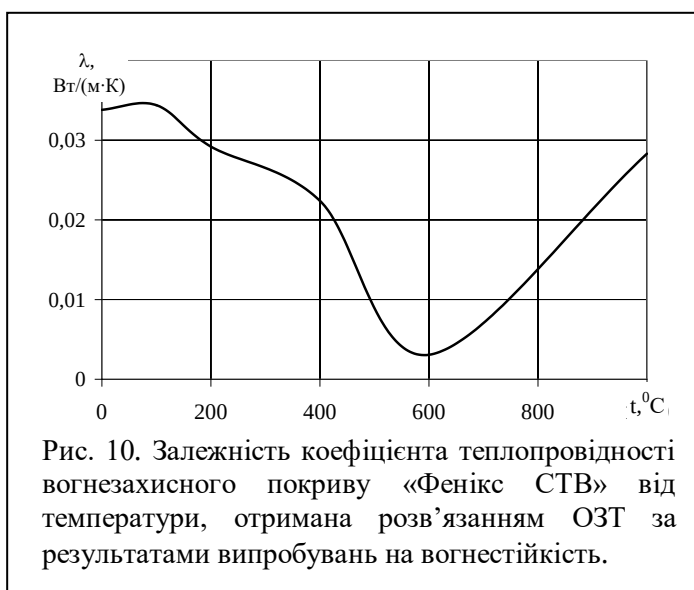
Розроблена методика також може бути використана при визначенні ХВЗ покривів залізобетонних перекриттів, які працюють під навантаженням, а також для визначення ХВЗ покривів монолітних залізобетонних перекриттів, що буде описано нижче в розділі 4. При цьому методика спрощується, так як не потрібно враховувати порожнини.



Четвертий розділ присвячений апробації розробленої методики при визначенні характеристики вогнезахисної здатності покривів монолітних залізобетонних перекриттів і як вихідні дані для визначення ХВЗ приводяться результати випробувань на вогнестійкість монолітних перекриттів з вогнезахисним складом «Фенікс СТВ», що спучується. Апробація методики здійснювалась також за допомогою вирішення методичних (тестових) задач,

обраної математичної моделі теплових процесів, що протікають в монолітному перекритті з покривом, і аналізу ідентифікації її параметрів при наявності штучно введених похибок вимірювання температур до 10%. Фізична модель включає геометрію перекриття з вогнезахисним покривом, яка складається з двох шарів товщиною δ_1 , δ_2 , (рис. 9). Загальна товщина перекриття з вогнезахисним покривом $X = \delta_1 + \delta_2$. При випробуваннях на вогнестійкість нижня поверхня перекриття ($x = X$) нагрівається конвективно-радіаційним теплообміном від гарячих газів в печі з температурою T_{c1} , близькою до кривої стандартної пожежі і коефіцієнтом тепловіддачі $\alpha_{c1} = 25$ Вт/м²·К. Верхня поверхня, що не обігрівается ($x=0$), охолоджується конвекцією і випромінюванням в навколишнє середовище з температурою T_{c2} . Всередині перекриття тепло передається теплопровідністю. Приймається умова ідеального теплового контакту між шарами перекриття. Математична модель використовувалася така ж як (2) - (6), але тільки для двох шарів і була також реалізована в програмі FRIEND.

Застосування РЕМ для визначення ТФХ і ХВЗ покриву при використанні розглянутої вище фізичної і математичної моделей процесів нагріву монолітного перекриття з вогнезахисним покривом і без нього (рис. 9) при проведенні обчислювального експерименту, максимально наближеного до умов описаного вище випробування на вогнестійкість з урахуванням впливу похибок вимірювання температур, а також функціонального представлення ТФХ покриву, дозволило апробувати розроблену методику визначення характеристики вогнезахисної здатності покривів (зокрема тих, що спучуються) монолітних перекриттів за ознакою втрати теплоізолюючої здатності. Для цього випадку була взята товщина монолітного перекриття без арматури, тому характеристика вогнезахисної здатності визначається як залежність товщини покриву від товщини всього перекриття для різних меж вогнестійкості.

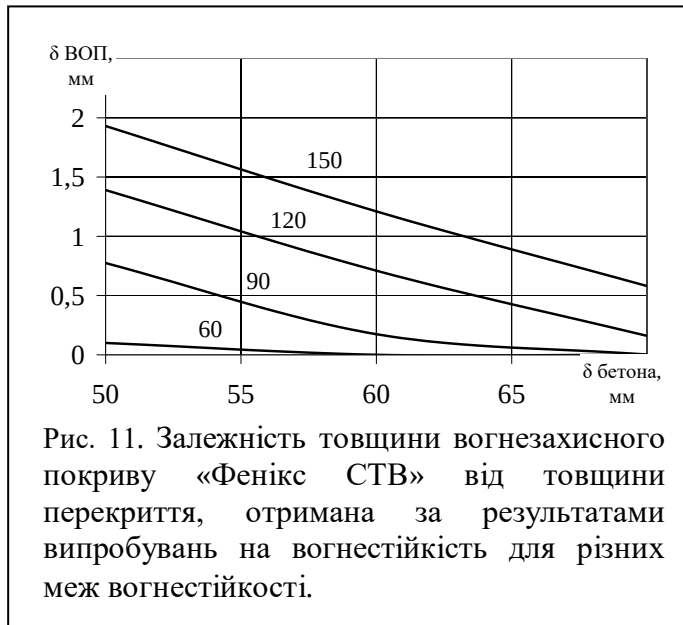


Розроблена методика була застосована для отримання ТФХ і ХВЗ покриву за результатами випробувань на вогнестійкість двох однакових зразків монолітних перекриттів без арматури, розмірами 600х600х60 мм оброблених вогнезахисним складом «Фенікс СТВ», що спучується, виробництва ТОВ «ПТК «А+В Україна» (товщина 1,5 мм). Згідно з п. 2,5 методики розв'язанням ОЗТ були отримані коефіцієнт

теплопровідності вогнезахисного покриву, приведений до товщини 1,5 мм, який представлений на рис. 10, а також постійна питома об'ємна теплоємність,

рівна $1,49 \cdot 10^5 \text{ Дж/м}^3 \cdot \text{К}$. При цьому критерій середньоквадратичного відхилення експериментальних і розрахункових температур (7) склав $7,7^\circ \text{C}$. Як видно на рис. 10, в діапазоні температур від 0°C до 600°C значення коефіцієнта теплопровідності падає на порядок, порівняно з початковим значенням, і проходить через мінімальне екстремальне значення $0,003 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ (при температурі 600°C), а далі лінійно зростає до початкового значення.

Використовуючи п. 6 методики, отримано залежність товщини вогнезахисного покриття від товщини монолітного перекриття для різних меж вогнестійкості (рис. 11).



Таким чином, розроблена методика може бути застосована для визначення ХВЗ покриттів за результатами випробувань залізобетонних багатопустотних перекриттів з урахуванням особливостей конструкції, а саме наявності порожнин, так і за результатами випробувань монолітних перекриттів.

Перспективним розвитком запропонованої методики є додаткове використання математичних моделей напружено-деформованого

стану перекриттів із застосуванням критерію граничного стану перекриття за ознакою втрати несучої здатності при досягненні максимального значення прогину або швидкості наростання деформації перекриття.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеною науково-дослідною роботою, вирішена актуальна науково-технічна задача наукового обґрунтування удосконалення розрахунково-експериментального методу оцінки вогнезахисної здатності покривів залізобетонних перекриттів, що враховує конвективно-радіаційний теплообмін в порожнинах багатопустотних залізобетонних перекриттів. При цьому отримані наступні результати:

1. На основі аналізу стану питання оцінювання вогнестійкості залізобетонних перекриттів виявлено, що все більш широкого застосування дістав розрахунково-експериментальний метод, більш економічний і достовірний, у порівнянні з експериментальним або розрахунковим.

2. Висунуто ідею, що вдосконалення розрахунково-експериментального методу оцінювання вогнезахисної здатності покривів залізобетонних конструкцій може бути здійснено шляхом урахування конвективно-радіаційного теплообміну в порожнинах багатопустотних залізобетонних перекриттів.

3. Встановлено, що моделювання прогріву багатопустотних залізобетонних перекриттів необхідно проводити з урахуванням конвективно-радіаційного механізму теплообміну, так як не врахування цього механізму теплообміну може призводити до помилкових розрахунків характеристики вогнезахисної здатності покривів залізобетонних перекриттів і недостовірної оцінки вогнестійкості таких конструкцій при проектуванні будинків і споруд, і відповідно, негативним чином позначається на основних показниках пожежної статистики.

4. Вперше запропоновано враховувати розроблену одновимірну багатопустотну математичну модель, еквівалентну двовимірній моделі теплового стану багатопустотного перекриття для реалізації розрахунково-експериментального методу оцінки вогнестійкості багатопустотних залізобетонних перекриттів, що дозволяє визначати теплофізичні характеристики і характеристику вогнезахисної здатності покривів з урахуванням результатів випробувань на вогнестійкість.

5. Використовуючи розроблену одновимірну, еквівалентну двовимірній, математичній моделі теплового стану багатопустотного залізобетонного перекриття, теоретично обґрунтовано та експериментально встановлено, що в діапазоні температур від 0°C до 100°C значення коефіцієнта теплопровідності штукатурного покриву «Ендотерм 210104» падає і проходить через мінімальні екстремальні значення $0,06 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ (при температурі 100°C), що пояснюється інтенсивними фізико-хімічними процесами випаровування в початковій стадії нагрівання, а потім зростає в діапазоні температур від 100°C до 600°C , що пояснюється вигорянням шару покриву.

6. Доведено ефективність вогнезахисного покриву «Фенікс СТВ», що спучується, та встановлено залежність коефіцієнту його теплопровідності від температури в умовах нагріву в випробувальній печі монолітного залізобетонного перекриття з цим покривом при стандартному

температурному режимі. При цьому виявлено, що в діапазоні температур від 0 °С до 600 °С значення коефіцієнта теплопровідності падає на порядок, порівняно з початковим значенням, і проходить через мінімальне екстремальне значення 0,003 Вт/м·К (при температурі 600 °С), а далі лінійно зростає до початкового значення.

7. Розроблено методику визначення вогнезахисної здатності покривів багатопустотних залізобетонних перекриттів за ознакою втрати теплоізолюючої здатності або досягнення арматурою критичної температури при заданому рівні навантаження. За допомогою розробленої методики:

- виявлено взаємозв'язок між товщиною штукатурного вогнезахисного покриву «Ендотерм 210104» і вогнестійкістю багатопустотних залізобетонних перекриттів, а також запропоновано методику розрахунку необхідної мінімальної товщини такого покриву від товщини захисного шару бетону залізобетонних перекриттів для забезпечення регламентованих нормативними вимогами пожежної безпеки значень їх меж вогнестійкості 60, 90, 120, 150 і 180 хвилин;

- виявлено взаємозв'язок між товщиною вогнезахисного покриву «Фенікс СТВ», що спучується, та вогнестійкістю монолітних залізобетонних перекриттів, а також розраховані необхідні мінімальні товщини такого покриву від товщини залізобетонних перекриттів для забезпечення регламентованих нормативними вимогами пожежної безпеки значень їх меж вогнестійкості 60, 90, 120 і 150 хвилин.

8. Набула подальшого розвитку сфера застосування розрахунково-експериментального методу оцінювання ефективності вогнезахисних покривів будівельних залізобетонних конструкцій і науково обґрунтовано можливість його застосування для оцінки вогнестійкості багатопустотних залізобетонних перекриттів, що враховує конвективно-радіаційний теплообмін в порожнинах цих перекриттів. Розроблена методика визначення вогнезахисної здатності покривів залізобетонних перекриттів була застосована на ТОВ «ПТК «А+В Україна» і ТОВ «Завод Буддеталь» м. Черкаси при оцінці вогнестійкості залізобетонних перекриттів з вогнезахисними покриттями.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У наукових фахових виданнях:

1. Эффективность вспучивающихся огнезащитных покрытий железобетонных конструкций при различных режимах пожара / П.Г. Круковский, Е.В. Качкар, А.И. Ковалев [и др.] // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2010. – № 1(21). – С. 75-83.
2. Круковский П.Г. Определение огнезащитной способности вспучивающихся огнезащитных покрытий на железобетонных конструкциях / П.Г. Круковский, А.И. Ковалев, Е.В. Качкар // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2010. – №2 (22). – С. 38-44.
3. Экспериментальное исследование огнезащитной способности вспучивающегося огнезащитного покрытия на бетонной плите / А.И. Ковалев, П.Г. Круковский, Е.В. Качкар [и др.] // Пожежна безпека. – 2010. – №17. – С. 172-179.
4. Круковский П.Г. Методика определения характеристики огнезащитной способности вспучивающихся огнезащитных покрытий на бетонных перегородках расчетно-экспериментальным методом / П.Г. Круковский, А.И. Ковалев // Пожежна безпека: теорія і практика. – 2011. – № 7. – С. 170-185.
5. Дослідження ефективності вогнезахисного покриття, що спучується, для залізобетонних плит / С.В. Поздєєв, А.І. Ковальов, В.М. Гвоздь та [ін.] // Пожежна безпека: теорія і практика. – 2010. – № 6/1. – С. 66-70.
6. Круковский П.Г. Методика определения характеристики огнезащитной способности покрытий многопустотных железобетонных плит перекрытий / П.Г. Круковский, А.И. Ковалев // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2011. – № 1 (23). – С. 87-101.

Особистий внесок здобувача у роботах, які опубліковані у співавторстві:

[1] – проведення літературного огляду застосування вогнезахисних покривів, що спучуються, для захисту залізобетонних конструкцій та формулювання задач дослідження, [2] - розроблення методики визначення вогнезахисної здатності покривів залізобетонних конструкцій, [3] - визначення теплофізичних характеристик та характеристики вогнезахисної здатності покриву «Фенікс СТВ», [4] - розроблення методики визначення характеристики вогнезахисної здатності вогнезахисних покривів, що спучуються, на бетонних перегородках розрахунково-експериментальним методом, [5] - дослідження ефективності вогнезахисного покриву «Фенікс СТВ», що спучується, для залізобетонних плит, [6] - розроблення методики визначення характеристики вогнезахисної здатності штукатурного покриву «Ендотерм 210104» для захисту залізобетонних перекриттів розрахунково-експериментальним методом.

Опубліковано в інших виданнях:

1. Круковский П.Г. Применение вспучивающихся покрытий для защиты железобетонных конструкций при пожаре / П.Г. Круковский, А.И. Ковалев // Научные чтения, посвященные 100-летию со дня рождения дважды лауреата Сталинской премии, лауреата Государственной премии СССР, доктора технических наук, профессора Николая Антоновича Стрельчука: сб. докладов ГОУ ВПО Моск. гос. строит. ун-т. – М.: МГСУ, 2010. – С. 77-80.

2. Огневые испытания бетонных конструкций, обработанных вспучивающимися огнезащитными покрытиями / П.Г. Круковский, Е.В. Качкар, А.И. Ковалев и [др.] // Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: міжнарод. наук.-практ.конф., 8 жовт. 2010 р.: тези доповідей. – І., 2010. – С. 26-30.

3. Ковалев А.И. Определение характеристики огнезащитной способности покрытия Феникс СТВ для защиты железобетонных конструкций / А.И. Ковалев, П.Г. Круковский, Е.В. Качкар // Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту: міжнарод. наук. - практ.конф., 7-8 квітня 2011 р.: тези доповідей. – IV., 2011. – С. 57-60.

4. Ковалев А.И. Определение теплоизолирующих параметров вспучивающегося огнезащитного покрытия на защищаемой бетонной конструкции при стандартном температурном режиме / А.И. Ковалев, Е.В. Качкар, П.Г. Круковский // Прикладні аспекти застосування хімії у сфері цивільного захисту: міжнарод. наук.-практ.конф., 13 квітня 2011 р.: тези доповідей. – II., 2011. – С. 17-21.

5. Круковский П.Г. Моделирование прогрева многпустотной железобетонной плиты перекрытия, обработанной огнезащитным покрытием по стандартному температурному режиму с помощью программных комплексов ANSYS и FRIEND / П.Г. Круковский, А.И. Ковалев, Е.В. Качкар // Техногенна безпека: теорія, практика, інновації: Зб. тез міжнар. наук.-практ. конф. – Л.: ЛДУ БЖД, 2011. – С. 103-105.

6. Круковский П.Г. Определение характеристики огнезащитной способности вспучивающегося огнезащитного покрытия для защиты складов НСК «Олимпийский» / П.Г. Круковский, А.И. Ковалев, Е.В. Качкар // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сборник тезисов докладов VI международной научно-практической конференции. – Мн., 2011. – С. 371-373.

7. Круковский П.Г. Разработка методического обеспечения применения расчетно-экспериментального метода определения огнезащитной способности покрытий железобетонных конструкций / П.Г. Круковский, А.И. Ковалев // Пожежна безпека: теорія і практика: Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011. – С. 53-55.

Особистий внесок здобувача у роботах, які опубліковані у співавторстві:

[1,2] - обробка результатів випробувань на вогнестійкість перегородок, оброблених покритвом, що спучується, [3] - визначення характеристики

вогнезахисної здатності покриву «Фенікс СТВ» для захисту залізобетонних конструкцій, [4] - визначення коефіцієнта теплопровідності та питомої теплоємності покриву «Фенікс СТВ», що спучується, [5] - проведення моделювання прогріву залізобетонної конструкції з покривом в одновимірній постановці за допомогою програмного комплексу FRIEND, [6] - розроблення та застосування характеристики вогнезахисної здатності покриву для захисту складок НСК «Олімпійський», [7] - розроблення методики визначення характеристики вогнезахисної здатності штукатурного покриву «Ендотерм 210104» для захисту залізобетонних перекриттів розрахунково-експериментальним методом.

АНОТАЦІЯ

Ковальов А.І. Удосконалення методу оцінювання вогнезахисної здатності покривів залізобетонних перекриттів – рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 - пожежна безпека. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту МНС України, Київ, 2012.

Роботу присвячено вирішенню задачі наукового обґрунтування удосконалення розрахунково-експериментального методу оцінки вогнезахисної здатності покривів залізобетонних конструкцій і поширення сфери його застосування для оцінки вогнестійкості багатопустотних залізобетонних перекриттів, що враховує конвективно-радіаційний теплообмін в порожнинах цих перекриттів.

Вперше запропоновано враховувати розроблену одновимірну багатопустотну математичну модель, еквівалентну двовимірній моделі теплового стану багатопустотного перекриття, для реалізації розрахунково-експериментального методу оцінки вогнестійкості багатопустотних залізобетонних перекриттів, що дозволяє визначати теплофізичні характеристики і характеристику вогнезахисної здатності покривів з урахуванням результатів випробувань на вогнестійкість.

Розроблено методику визначення вогнезахисної здатності покривів багатопустотних залізобетонних перекриттів за ознакою втрати теплоізолюючої здатності або досягнення арматурою критичної температури при заданому рівні навантаження, за допомогою якої отримані теплофізичні характеристики та характеристики вогнезахисної здатності для вогнезахисних покривів «Ендотерм 210104» й «Фенікс СТВ».

Ключові слова: вогнестійкість, вогнезахисна здатність, вогнезахисні покриви, розрахунково-експериментальний метод, прямі і обернені задачі теплопровідності, моделювання.

АННОТАЦИЯ

Ковалев А.И. Усовершенствование метода оценки огнезащитной способности покрытий железобетонных перекрытий – рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по

специальности 21.06.02 - пожарная безопасность. Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты МЧС Украины, Киев, 2012.

Работа посвящена решению задачи научного обоснования усовершенствования расчетно-экспериментального метода оценки огнезащитной способности покрытий железобетонных конструкций и расширению области его применения для оценки огнестойкости многопустотных железобетонных перекрытий и огнезащитной способности их покрытий, учитывающего конвективно-радиационный теплообмен в пустотах таких перекрытий.

Представлены основы и детальное описание всех составляющих расчетно-экспериментального метода, а также методика его применения.

Раскрыты особенности процессов тепломассообмена в полостях многопустотных железобетонных перекрытий и их влияние на огнестойкость этих конструкций с огнезащитными покрытиями и без них, при этом впервые выявлено влияние радиационно-конвективного теплообмена в пустотах, которое приводит к более интенсивному (в 2 раза), по сравнению со сплошными перекрытиями, нагреву необогреваемой поверхности перекрытия в условиях испытаний на огнестойкость.

Впервые предложено учитывать разработанную одномерную многослойную математическую модель, эквивалентную двухмерной модели теплового состояния многопустотного перекрытия для реализации расчетно-экспериментального метода оценки огнестойкости многопустотных железобетонных перекрытий, позволяющую определять теплофизические характеристики и характеристику огнезащитной способности покрытий с учетом результатов испытаний на огнестойкость.

Определены теплофизические характеристики штукатурного покрытия «Эндотерм 210104» производства ООО "НПП «Спецматериалы» (Украина) и вспучивающегося огнезащитного покрытия «Феникс СТВ» производства ООО «ПТК «А+В Украина», зависящие от температуры. Выявлена взаимосвязь между толщиной этих покрытий и огнестойкостью многопустотных и монолитных железобетонных перекрытий, а также предложена методика расчета необходимой минимальной толщины таких покрытий от толщины защитного слоя бетона железобетонных перекрытий для обеспечения регламентируемых нормативными требованиями пожарной безопасности значений их пределов огнестойкости 60, 90, 120, 150 и 180 минут.

Разработана методика определения огнезащитной способности покрытий многопустотных железобетонных перекрытий по признаку потери теплоизолирующей способности или достижения арматурой критической температуры при заданном уровне нагружения, которая применена на ООО «Завод стройдеталь» г. Черкассы и ООО «ПТК «А +В Украина» при оценке огнезащитной способности покрытий железобетонных перекрытий, а также внедрена в учебный процесс Академии пожарной безопасности им. Героев Чернобыля МЧС Украины при изучении дисциплин: «Здания и сооружения и их поведение в условиях пожара», а также «Пожарная профилактика в населенных пунктах».

Ключевые слова: огнестойкость, огнезащитная способность, огнезащитные покрытия, расчетно-экспериментальный метод, прямые и обратные задачи теплопроводности, моделирование.

ABSTRACT

A.I. Kovaliov. **Estimation method improvement of fireproof capability of coatings of reinforced concrete floors** – manuscript. Thesis for the scientific degree of Candidate of Science (Engineering) by the speciality of 21.06.02 – fire safety. Ukrainian research institute of civil defence of Ministry of Emergencies of Ukraine, 2012.

The article is concerned with the solution of the problem of scientific basis of improvement of experiment-calculated method of estimation of fireproof capability of coatings of reinforced concrete constructions and broadening the sphere of its usage to estimate the fire-resistance of hollow core reinforced concrete floors considering the convective radiant heat exchange in floors hollow space.

For the first time it was proposed to take into account the developed one-dimensional multilayered mathematical model equivalent to two-dimensional model of thermal state of hollow core floor, to realize experimental-calculated method of estimation of the fire-resistance of hollow core reinforced concrete floors. Such model allows defining thermal characteristics and the characteristic of fireproof capability of coatings taking into consideration the fire tests results.

The methodology of determination of fireproof capability of coatings of hollow core reinforced concrete floors based on thermal capability loss or the critical temperature rise of armature at given load level is developed. With the help of this methodology thermal characteristics and characteristics of fireproof capability for fire-retardant coatings “Endoterm 210104” and “Fenix STV” are obtained.

Key words: fire resistance, fireproof capability, fire-retardant coatings, experiment-calculated method, primal and inverse problems of thermal conductivity, modeling.

