

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ

У статті проведено дослідження ефективності вогнезахисту залізобетонної балки покриттями, що спучуються, за допомогою математичного моделювання її поведінки під час пожежі методом кінцевих елементів. У результаті проведених досліджень розроблено методику визначення технологічних параметрів покриттів, що спучуються, для забезпечення відповідної межі вогнестійкості залізобетонних балок. Розглянуто особливості та область застосування розробленої методики.

Вступ. Постановка проблеми. При експлуатації будівель, зведених на основі несучих залізобетонних конструкцій, однією з важливих технічних задач є забезпечення відповідності їхніх меж вогнестійкості протипожежним нормам. Для забезпечення необхідної вогнестійкості широко використовуються вогнезахисні покриття, що спучуються. Для визначення ефективності таких покриттів можна застосувати математичне моделювання. Застосування методів математичного моделювання для дослідження напружено-деформованого стану елементів залізобетонних конструкцій під час пожежі пов'язане зі значними труднощами внаслідок неоднорідності й нелінійності властивостей залізобетону. Даній проблемі присвячені численні публікації [1], але, аналізуючи наукові дослідження в цьому напрямку, слід зазначити те, що в них більша увага приділяється теплофізичним аспектам даних задач. На нашу думку, більшого розкриття потребують аспекти напружено-деформованого стану (НДС) під час вогневого впливу пожежі із застосуванням новітніх засобів математичного й комп'ютерного моделювання з урахуванням всіх особливостей поведінки залізобетону. Для розв'язання даних задач найбільш ефективним є метод кінцевих елементів (МКЕ).

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Аналізуючи наукові публікації [1], присвячені питанню коректного визначення технологічних параметрів вогнезахисних покриттів для залізобетонних конструкцій, основна увага приділяється розв'язанню теплотехнічної задачі з визначенням умов настання граничного стану втрати несучої здатності під вогневим впливом пожежі після досягнення в робочій арматурі критичної температури близько 500 °С. Такий підхід є достатньо ефективним, але дає наближені результати, оскільки не враховує особливості напружено-деформованого стану, що виникає при комбінованій дії механічних та температурних навантажень при вогневій дії пожежі.

Постановка завдання. У зв'язку з викладеним поставлена мета роботи, що полягає у створенні методики оцінки ефективності вогнезахисного покриття, що спучується, на основі дослідження напружено-деформованого стану залізобетонної балки, поверхні, що обігриваються, якої оброблені даним покриттям.

Викладення основного матеріалу. На основі аналізу моделей силового опору елементів залізобетонних конструкцій при механічних та температурних навантаженнях, які, наприклад, представлені в роботах [6–9], нами був запропонований узагальнений інженерний підхід до чисельної реалізації уточненого розрахункового методу щодо визначення меж вогнестійкості елементів несучих залізобетонних конструкцій при їхній роботі в умовах вогневого впливу «стандартної» пожежі. Узагальнений інженерний підхід базується на таких положеннях:

1. Для розрахунку використовуються базові розв'язуючі рівняння методу кінцевих елементів у нелінійній постановці [6–9].

2. При стисканні бетону й роботі арматури враховується їх пластична деформація із застосуванням асоціативної теорії пластичної деформації за моделлю Беселінга [9].

3. Для реалізації моделі пластичності застосовуються математичні моделі механічних властивостей бетону та арматурної сталі у вигляді діаграм «напруження–деформація» зі спадною гілкою [6–9].

4. При розтягненні в бетоні можуть з'являтися тріщини, що відповідним чином враховується теорією міцності Willam та Warnke [6, 7, 9] і введенням відповідної ортотропії властивостей при модифікуванні матеріальних матриць.

5. Для розв'язання базової системи рівнянь МКЕ в нелінійній постановці застосовується метод Ньютон–Рафсона з покроковим прикладанням навантажень згідно з історією навантажень [6–9].

6. Настання межі вогнестійкості, тобто граничного стану втрати несучої здатності, ідентифікується за ознакою появи пластичного шарніру – досягненням критичних величин максимального прогину або критичних величин швидкості нарощування максимального прогину [1].

Для дослідження ефективності вогнезахисного покриття, що спучується, необхідно провести чисельний експеримент на математичних моделях елементів залізобетонних конструкцій, що оброблені ним, і розробити методику оцінки їхньої вогнезахисної здатності. Як такі об'єкти пропонується використовувати статично визначені зігнуті елементи залізобетонних конструкцій, у даному випадку звичайну й попередньо напружену залізобетонні балки. Основні параметри модельних об'єктів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри залізобетонних балок для моделювання їхньої поведінки при пожежі

№ з/п	Конструкція балки	Дані щодо бетону				Дані щодо арматури		Нормативне навантаження, кПа	Захисний шар бетону, мм
		марка	міцність на стиснення, МПа	густина, кг/м ³	вологість, %	конструктивні особливості робочої арматури	міцність, МПа		
1.	Звичайна з/б балка з прямокутним перерізом 3,2×0,2×0,35	B30	20	2320	2	3Ø18 AIII (A400)	300	7,9	30
2.	Попередньо напружена з/б балка з прямокутним перерізом 3,2×0,15×0,35	B40	27	2340	1,3	3Ø16 AIV (A600)	600	7,9	30

Для дослідження було вибрано вогнезахисне покриття, що спучується, Фенікс СТВ з ґрунтовкою Фенікс Контакт.

При розв'язанні поставленої задачі необхідно відтворювати всі етапи навантаження даних балок, включаючи технологічний, експлуатаційний та аварійний етапи їхньої роботи. Аварійний етап містить прогрів балок при режимі пожежі, що відповідає стандартній температурній кривій. Для визначення температурних розподілів, що є навантаженнями, які прикладаються на етапі аварійної роботи балок, були використані теплофізичні характеристики матеріалів, зведені до таблиці 2. При визначенні температурних полів використовувався інженерний підхід, заснований на розв'язанні квазілінійного рівняння Фур'є з граничними умовами III роду, описаний у роботі [10].

Таблиця 2

Теплофізичні характеристики матеріалів та параметри граничних умов

№ з/п	Характеристика	Одиниці виміру	Величина	Джерело
1.	Теплофізичні характеристики бетону		Eurocode 2 EN 1992-1-2:2004	[5]
2.	Ефективний коефіцієнт теплопровідності	Вт/(м·°C)	0,0147	[3]
3.	Ефективна питома об'ємна теплоємність	Дж/(м ³ ·°C)	10000	[3]
4.	Коефіцієнт конвекційного теплообміну на поверхні, що обігривається	Вт/(м ² ·K)	25	[10]
5.	Коефіцієнт конвекційного теплообміну на поверхні, що не обігривається	Вт/(м ² ·K)	9	[10]
6.	Ступінь чорноти	–	0,67	[10]

При моделюванні НДС залізобетонної балки в будь-який момент часу розвитку пожежі розрахунок проводився у три стадії за допомогою МКЕ. На першій стадії моделювалося попереднє напруження арматури, на другій – прикладання нормативного механічного навантаження. На останній стадії як навантаження прикладалися розподіли температури до вузлів кінцевих елементів. Кінцевоелементні моделі балок представлені на рисунку 1.

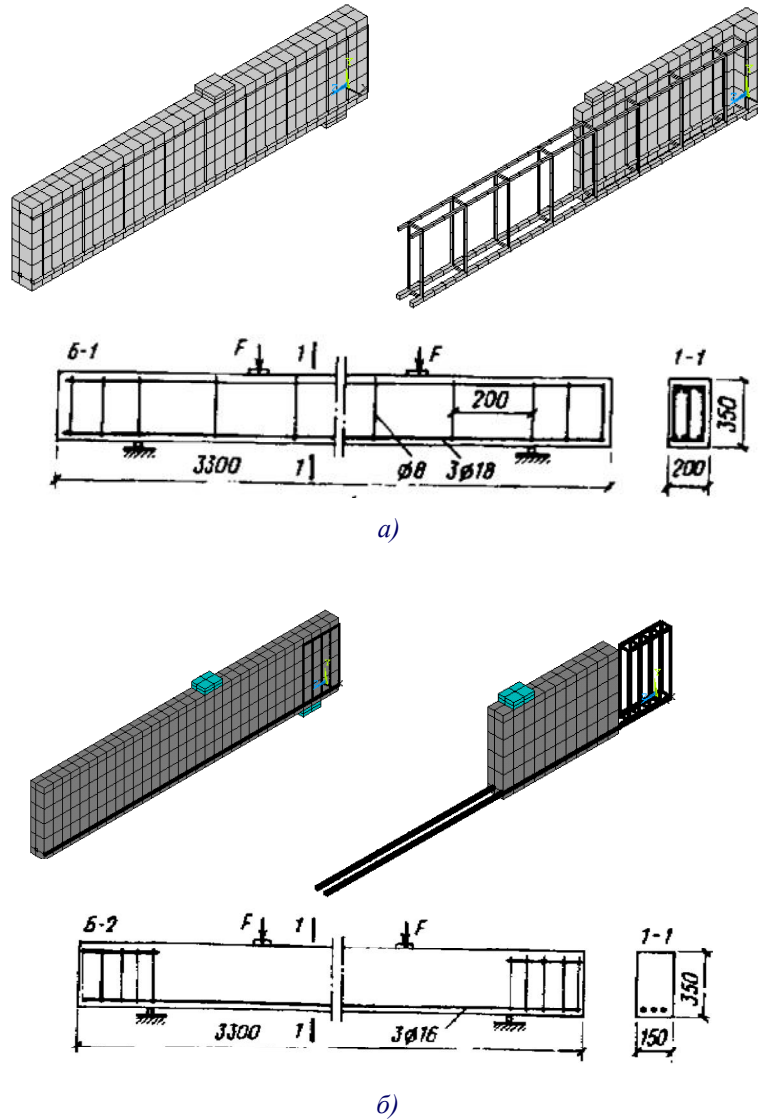


Рис. 1. Кінцевоелементні моделі залізобетонних балок:
а – звичайної; б – попередньо напруженої

Використовуючи дані таблиці 2, були розв’язані теплофізичні задачі й одержані температурні розподіли в перерізах балок з урахуванням наявності вогнезахисного покриття. Після цього розв’язувалися міцнісні задачі з огляду на дані таблиць 1 і 3 без урахування покриття. При розрахунку поетапно відтворювалася історія навантаження балок. Результати розрахунку для ненапруженої балки № 1 показані на рисунку 4.

При визначенні межі вогнестійкості застосовувався підхід, запропонований у [10], на основі визначення часу настання граничного стану при досягненні критичних значень максимального прогину та критичних значень швидкості нарощування максимального прогину, що відповідно визначаються за формулами:

$$D = \frac{L^2}{400b}; \quad \frac{dD}{dt} = \frac{L^2}{9000b}, \tag{1}$$

де L – розрахункова довжина елемента; b – розрахункова висота перерізу.

Таблиця 3

Математичні моделі поведінки та механічні характеристики бетону й арматурної сталі

№ з/п	Особливість поведінки залізобетону	Використана математична модель (метод)	Автор	Джерело
1.	Пластичне деформування бетону й арматурної сталі	Багатошарова модель асоціативної теорії	Besseling	[9]

		пластичної течії		
2.	Тріщиноутворення в бетоні	Складений критерій міцності	Willam, Warnke	[9]
3.	Фізична й геометрична нелінійність поведінки з урахуванням ортотропії властивостей бетону, зумовленої тріщинами	Метод кінцевих елементів, ітеративний метод	Newton, Raphson	[6–9]
4.	Криві деформування бетону й арматурної сталі	Eurocode 2 EN 1992–1–2:2004		[5]

Результати визначення меж вогнестійкості залізобетонних балок показані на рисунку 2.

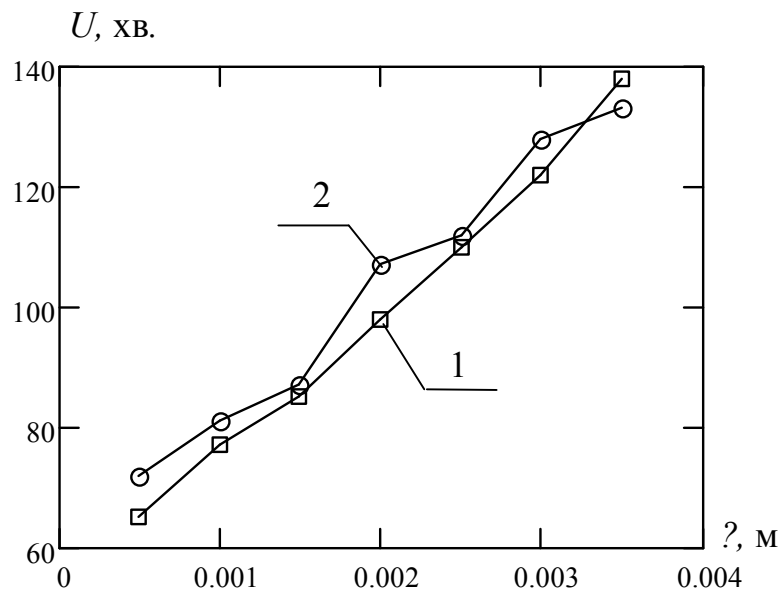


Рис. 2. Залежність меж вогнестійкості від товщини вогнезахисного покриття:
1 – балка № 1; 2 – балка № 2

За отриманими кривими можна підібрати товщину вогнезахисного покриття для забезпечення необхідної меж вогнестійкості даної залізобетонної балки.

Висновки. Проведені дослідження дозволили розробити методику оцінки вогнезахисної здатності покриття, що спучується, яка визначає його ефективність. Розроблена методика дозволяє підбирати товщину вогнезахисного покриття, що спучується, для забезпечення потрібної меж вогнестійкості за втратою несучої здатності заданої залізобетонної балки за умов проектування, експлуатації та реконструкції будівель. Дана методика також дозволяє підбирати технологічні параметри інших захисних покриттів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Мосалков И.Л. Огнестойкость строительных конструкций / И.Л. Мосалков, Г.Ф. Плюснина, А.Ю. Фролов. – М. : ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА», 2001. – 496 с.
2. МДС 21.2–2000. Методические рекомендации по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. – Введ. 2000–01–01. – М., 2000. – 49 с.
3. Круковский П.Г. Определение теплофизических характеристик вспучивающегося покрытия по данным огневых испытаний / П.Г. Круковский, С.В. Цвиркун // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2005. – № 1(11). – С. 5–13.
4. СТО 36554501–006–2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. – Введ. 1996–01–01. – М., 2006. – 77 с.
5. EN 1992–1–2:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1–2: General rules – Structural fire design. – Brussels, 2004.
6. Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в механике железобетона : моногр. / С.Ф. Клованич, И.Н. Мироненко. – Одесса : ОНМУ, 2007. – 110 с.

7. Карпенко Н.И. Определяющие соотношения для железобетона с трещинами при термосиловых воздействиях / Н.И. Карпенко, С.Ф. Клованич // Строительная механика и расчет сооружений. – 1983. – № 2. – С. 141–165.
8. Метод конечных элементов в механике твердого тела / В.С. Сахаров, В.Н. Кислоокий, В.Р. Киричевский и др. – К. : Вища школа, 1982. – 480 с.
9. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [ANSYS Release 10, Inc. Theory Reference](#).
10. Исследование эффективности математических моделей для решения теплотехнической задачи при определении огнестойкости железобетонных конструкций / С.В. Поздеев, В.Г. Поклонский, О.В. Некора, А.В. Поздеев // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Вып. 52. – (Серия «Безопасность жизнедеятельности»). – Днепропетровск : ПГАСА, 2010. — С. 44–48.

ПОЗДЕЄВ Сергій Валерійович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри будівельних конструкцій Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Міністерства надзвичайних ситуацій України.

Наукові інтереси:

– захисні покриття.

Тел.: (0472)56–49–39; (моб.) (067)418–52–86.

E-mail: svp_countrymen@mail.ru

Подано 11.08.2010

Поздєєв С.В. Ефективність захисних покриттів залізобетонних виробів

Поздеев С.В. Эффективность защитных покрытий железобетонных изделий

Pozdeev C.B. Research of efficiency of fireproof treatment of reinforced concrete beam by distending coating

УДК 624.012

Research of efficiency of fireproof treatment of reinforced concrete beam by distending coating / C.B. Pozdeev

In the article the research of efficiency of fireproof of reinforced concrete beam is conducted by distending coating through the mathematical design of its conduct, during a fire with the use of method of eventual elements. As a result conducted researches the method of determination of technological parameters of distending coating for providing of the proper limit of fire-resistance of reinforced concrete beams is developed. Considered features and application domain of the developed method.