

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Розглянуто проблеми вдосконалення і розвитку розрахункових методів визначення межі вогнестійкості залізобетонних елементів. Наведено порівняння результатів розрахунку за табличним, інженерним та уточненим методами.

Ключові слова: межа вогнестійкості, розрахункові методи, залізобетонні елементи.

Вступ. забезпечення нормативної межі вогнестійкості будівлі є важливим етапом проектування та гарантування її безпечної експлуатації. тому визначення межі вогнестійкості окремих будівельних конструкцій і конструктивних систем у цілому є важливим.

На сьогоднішній день, незважаючи на значний досвід у дослідженні температурних впливів на будівельні конструкції, немає чинних вітчизняних норм, що регламентують їх розрахунок за межею вогнестійкості. Єдиним нормативно затвердженим методом визначення вогнестійкості будівельних конструкцій є повноцінні натурні випробовування, що можуть проводитися за стандартною пожежною кривою або за режимами реальних пожеж [1, 2]. Такі випробовування необхідно проводити в спеціальних пожежних лабораторіях, що вимагає значних трудових і фінансових затрат. З метою економії коштів раціонально використовувати розрахункові методи визначення межі вогнестійкості.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. У проектуваному нормативному документі з визначення вогнестійкості [3] розглядаються три основні розрахункові методи з визначення межі вогнестійкості:

- табличні методи;
- спрощені методи розрахунку;
- уточнені методи розрахунку.

Використання цих методів рекомендується застосовувати згідно з EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2 [3, 4]. Вибір методу розрахунку конструкції приймається відповідно до табл. 1 на основі аналізу її реальної роботи у складі всієї конструктивної системи. При розрахунку вогнестійкості конструкцій передбачається використання трьох груп розрахункових методик, тому нижче буде наведено основні положення кожної з них.

Таблиця 1 – Варіанти методів перевірки вогнестійкості конструкцій [3]

Вид розрахунку	Методи розрахунку		
	Табличні методи	Спрощені методи розрахунку	Уточнені методи розрахунку
Аналіз окремої конструкції	ТАК	ТАК	ТАК
Аналіз частини конструктивної системи	НІ	ТАК	ТАК
Загальний аналіз конструктивної системи	НІ	НІ	ТАК

Табличні методи розрахунку

Відповідно до цього методу розрахунку вогнестійкість конструкції забезпечується конструюванням згідно з визнаними розрахунковими рішеннями (табличні дані, результати випробувань тощо).

Реалізація цього методу забезпечення вогнестійкості конструкцій є простим інженерним методом, що може бути виконаний на основі значної кількості табличних даних [5 – 7], які розроблені за результатами раніше проведених теоретичних та експериментальних досліджень.

Спрощені методи розрахунку

Спрощені методи розрахунку застосовуються на основі використання приведенного перерізу та коефіцієнтів зниження несучої здатності бетону й арматури внаслідок дії температури. До таких методів слід віднести:

1) *метод ізотерми* [4 – 7] – спрощений метод розрахунку стосується загального зменшення розміру поперечного перерізу з урахуванням пошкодженої температурою зони поверхневого шару бетону. Товщина пошкодженого бетону a_{500} відповідає середній глибині розташування ізотерми (з температурою 500 °С) в стисненій зоні поперечного перерізу. Пошкоджений бетон (бетон за температури, більшої ніж 500 °С) вважається таким, що не забезпечує несучу здатність елемента, і вилучається з розрахунку, в той час як приведений поперечний переріз зберігає свої початкові значення міцності та модуля пружності;

2) *зональний метод* [4 – 8] – поперечний переріз ділиться на декілька частин (прямокутників), для яких ураховується середня температура, відповідний середній опір на стиск та модуль пружності (якщо застосовується) кожної зони. Метод придатний для будь-яких досліджених температурних режимів пожежі, але значна кількість наявних даних стосується стандартного температурного режиму. За відсутності готових даних прогріву можна виконати розрахунок температурної задачі та знайти середні температури в окремих частинах розрахункових перерізів.

Уточнені методи розрахунку

Уточнені методи розрахунку мають базуватися на фундаментальних фізичних передумовах, що ведуть до одержання найбільш достовірних даних про очікувану роботу відповідного конструктивного елемента під час пожежі. Вони можуть використовуватися за будь-яких температурних режимів пожежі та перерізів за умови, якщо відомі фізико-механічні властивості матеріалів для відповідного діапазону температур. Уточнені методи розрахунку використовують для будь-якого типу поперечного перерізу. Реалізація цих методів можлива за допомогою програмних комплексів на основі методу скінченних елементів (МСЕ), наприклад Ansys, Nastran, Лира, SCAD Office. Несуча здатність окремих елементів, частин або всієї конструктивної системи під час вогневого впливу може бути визначена методом розрахунку будівельних конструкцій з урахуванням фізичної та геометричної нелінійності.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Як видно з табл. 1, всі три вищезгадані розрахункові методи, наприклад при аналізі окремої конструкції, можуть застосовуватися при розрахунку вогнестійкості. Однак стосовно того, наскільки співвідноситься точність розрахунку вогнестійкості за цими методами, інформації недостатньо.

Мета дослідження – чисельний розрахунок окремої конструкції за трьома методами з визначення вогнестійкості та порівняння отриманих даних. Методом дослідження є чисельний розрахунок відповідно до існуючих методик.

Основний матеріал і результати. Чисельний експеримент з визначення вогнестійкості залізобетонної монолітної плити, шарнірно опертої по двох сторонах, при односторонньому нагріві за стандартною пожежею проводився за такими вихідними даними:

– розміри перерізу: $b = 6$ м, $h = 20$ см, $l = 6$ м, $\delta = 2$ см;

– армування плити: нижнє – арматурою $\varnothing 16$ мм з кроком 200 мм із загальною площею $A_s = 10,05 \text{ см}^2$ класу A400C з характеристичним розрахунковим опором $f_{sk} = 400$ МПа;
 – бетон класу C25 з характеристичним модулем пружності $E_b = 26000$ МПа, характеристичним розрахунковим опором на стиск і розтяг $f_{ck} = 18,5$ МПа, $f_{ctk} = 1,5$ МПа;
 – навантаження на плиту: власна вага $g = 4,74 \text{ кН/м}^2$, тимчасове навантаження $v = 4 \text{ кН/м}^2$.

Розрахунок залізобетонної плити за допомогою табличного методу

За табличним методом з використанням табл. 5.7 [3] для вільно опертих суцільних залізобетонних плит, що працюють в одному та двох напрямках з ненапруженою й попередньо напруженою арматурою, при захисному шарі, який дорівнює 20 мм, межа вогнестійкості цієї плити буде дорівнювати R60.

Розрахунок залізобетонної плити за допомогою уточнених методів

Проводимо розрахунок згідно з нормативним документом [6]. Для розрахунку плити вирізаємо смугу шириною 1 м.

Визначаємо згинальний момент, що діє в перерізі плити,

$$M = \frac{b \cdot l (g + v) \cdot l^2}{8} = \frac{1 \cdot 4 (4.74 + 4) \cdot 6^2}{8} = 39,33 \text{ кНЧм.}$$

Робоча висота плити дорівнює

$$d = h - \delta = 20 - 2 = 18 \text{ см.}$$

Визначаємо коефіцієнт умов роботи арматури:

$$M = \frac{\frac{M}{d \times f_{sd,fi} \times A_s}}{1 - \frac{M}{2 \times b \times d^2 \times f_{cd,fi}}} = \frac{\frac{3933}{18 \times 44,44 \times 10,05}}{1 - \frac{3933}{2 \times 100 \times 18^2 \times 2,23}} = \frac{0,489}{0,972} = 0,503$$

де $f_{sd,fi} = \frac{f_{sk}}{0,9} = 444,44$ МПа – розрахунковий опір арматури при розрахунку на вогнестійкість;

$f_{cd,fi} = \frac{f_{ck}}{0,83} = 22,3$ МПа – розрахунковий опір бетону при розрахунку на вогнестійкість.

За табл. 3 [6] для класу арматури A400C визначаємо критичну температуру:

$$t_{cr} = 584^\circ \text{C}.$$

По табл. 10 та 11 [5] визначаємо допоміжні коефіцієнти: $\varphi_1 = 0,65$, $\varphi_2 = 0,65$,

$$a_{red} = 0,00133 \frac{\text{м}^2}{\text{год}}.$$

$$x^* = \delta + j_2 \times d_s + j_1 \times \sqrt{a_{red}} = 0,02 + 0,5 \times 0,016 + 0,65 \times \sqrt{0,00133} = 0,0517 ;$$

$$r = 1 - \sqrt{\frac{t_{cr}}{1200}} = 1 - \sqrt{\frac{584}{1200}} = 0,302.$$

Отже, межа вогнестійкості для цієї плити складає:

$$\tau = \frac{1}{12 \times a_{red}} \times \left(\frac{x^*}{r}\right)^2 = \frac{1}{12 \times 0,00133} \times \left(\frac{0,0517}{0,302}\right)^2 = 1,8 \text{ год}.$$

Виконаємо розрахунок межі вогнестійкості плити при стандартній пожежі в програмному комплексі «Лира» з урахуванням фізичної нелінійності деформування матеріалів плити.

Розрахунок залізобетонної плити в програмному комплексі «Лира» з урахуванням нелінійності бетону за допомогою пластинчастих елементів.

Для побудови такої схеми використані скінченні елементи № 241 – фізично нелінійна прямокутна універсальна оболонка, що була шарнірно закріплена по двох краях. Було задано три навантаження: 1 – власна вага плити, 2 – тимчасове навантаження (400 кг/м^2), 3 – температурний перепад ($T_1= 495 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_2= -890 \text{ }^\circ\text{C}$, $A= 0,000012 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$). Розподіл температур у перерізі плити був використаний на основі експериментальних даних за рекомендаціями [6] для важких бетонів на основі силікатних заповнювачів.

Для введення характеристик жорсткості плити були використані такі закони деформування: для бетону – 15-й експоненціальний закон деформування, для арматури – 11-й експоненціальний закон деформування.

Із цих завантажень було утворено одне нелінійне завантаження з простим кроковим розрахунком з кількістю кроків 100 і максимальною кількістю ітерацій 300.

Результати розрахунку наведено на рис. 1 – 3.

У результаті розрахунку за допомогою програмного комплексу «Лира» несуча здатність плити вичерпалася на 88-му кроці. Це відповідає межі вогнестійкості в 96 хв.

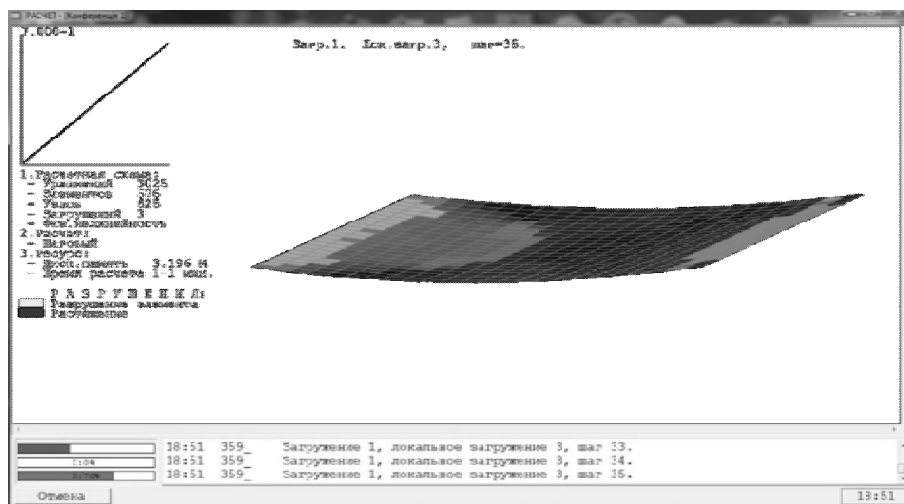


Рисунок 1 – Процес проведення розрахунку плити у ПК «Лира»

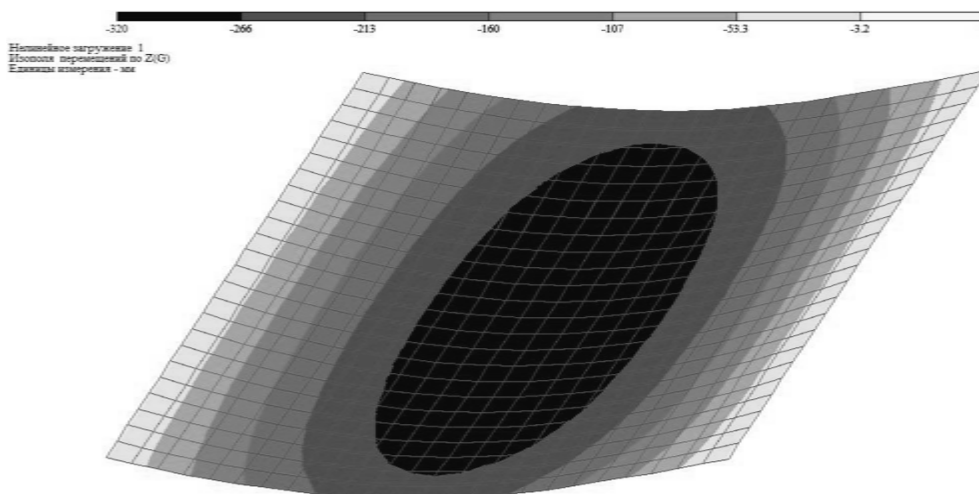


Рисунок 2 – Переміщення плити по осі Z

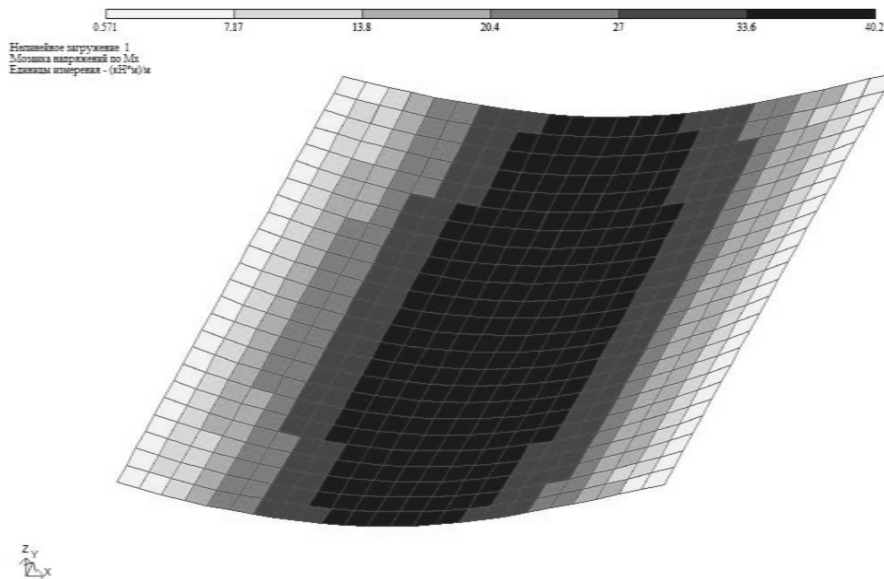


Рисунок 3 – Ізополе розподілу згинальних моментів M_x

Висновки. Наведені результати підтверджують необхідність застосування уточнених методів розрахунку вогнестійкості на основі методу скінченних елементів навіть у випадку аналізу окремих конструкцій. Як видно з табл. 2, використання інженерних методів розрахунку дає завищені результати межі вогнестійкості за рахунок неврахування фізичної нелінійності деформування матеріалів конструкції на основі реальних діаграм.

Таблиця 2 – Порівняння результатів розрахунку

Назва	Результати чисельних досліджень	
	Отримана межа вогнестійкості, хв	Похибка, %
Інженерні методи	R108	-
Табличний метод	R60	-44,4%
Уточнений метод (ПК «Ліра»)	R96	-11,1%

Застосування інженерного методу можливе у випадку запасу по вогнестійкості не менше 10 – 15 % (для досліджуваного елемента).

Використання табличних методів не дозволяє отримати точне значення межі вогнестійкості й можливе у випадках, коли необхідно виконати оціночні (укрупнені розрахунки).

Література

1. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К. : Держбуд України, 2003. – 87 с.
2. ДСТУ Б.В.1.1-4-98. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. – К. : Держбуд України, 1999. – 45 с.
3. ДСТУ-Н П Б В.2.6-XX:20XX. Настанова проектування залізобетонних конструкцій. Основні положення. Вогнестійкість (EN 1992-1-2:2004, MOD) – К. : Мінрегіонбуд України, 20XX – 120 с.
4. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures-Part 1-2:General rules-Structural fire design. – P. 54 – 79.

5. Ройтман, В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В.М. Ройтман. – М. : Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. – 382 с.

6. Рекомендации по расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций / НИИЖБ. – М. : Стройиздат, 1986. – 40 с.

7. СТО 36554501-006-2006. Стандарт организации. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. – М. : ФГУП «НИЦ «Строительство», 2006. – 81 с.

8. СНиП 2.03.04-84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. – М. : Госстрой СССР, 1985. – 54 с.

Надійшла до редакції 08.11.12

© С.С. Була, Р.О. Бойко, Р.Р. Горбачевський

**С. С. Була, к.т.н., старший преподаватель, Р. О. Бойко, аспирант
Р. Р. Горбачевський, магістрант**

Национальный университет «Львовская политехника»

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ОГНЕСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрены проблемы совершенствования и развития расчетных методов определения предела огнестойкости железобетонных элементов. Приведено сравнение результатов расчета по табличным, инженерным и уточненным методам.

Ключевые слова: *предел огнестойкости, расчетные методы, железобетонные элементы.*

S.S. Bula, Ph.D., R.O. Wojko, post-graduate, R.R. Gorbachevskiy, Master

Lviv Polytechnic National University

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR FIRE RESISTANCE DETERMINATION OF REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS

This article is devoted to the problems of improvement and development computational methods which determine the fire resistance of reinforced concrete elements. According to tabular, engineering and itemized methods, the results were compared.

Keywords: *fire resistance, calculating methods, reinforced concrete elements.*