

УДК 614.841.332

С.В. Поздєєв, д.т.н., доц.,
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

**ВПЛИВ ДИСПЕРСІЇ ТЕМПЕРАТУР НА ОБІГРІВАЛЬНИХ
ПОВЕРХНЯХ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ЗНАЧЕННЯ ЇХНЬОЇ МЕЖІ
ВОГНЕСТІЙКОСТІ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ ЦИХ КОНСТРУКЦІЙ
У ВОГНЕВИХ ПЕЧАХ**

У даній роботі досліджено залежність впливу дисперсії температур на обігрівальних поверхнях горизонтальних залізобетонних будівельних конструкцій на значення їхньої межі вогнестійкості при випробуваннях цих конструкцій у вогневих печах шляхом обчислювальних експериментів з використанням CFD програм і методу кінцевих елементів.

Ключові слова: обчислювальний експеримент, дисперсія температури, горизонтальна залізобетонна будівельна конструкція, значення межі вогнестійкості.

Постановка проблеми. В умовах пожежі порушення загальної стійкості будівлі завжди відбувається внаслідок руйнування окремих елементів в каркасі споруди. Зважаючи на це, одним із важливих аспектів забезпечення пожежної безпеки у наш час є застосування будівельних конструкцій із гарантованою межею вогнестійкості.

Для визначення меж вогнестійкості найбільш поширеним є метод випробувань у спеціальних вогневих випробувальних печах. Проте, вогневі випробування та параметри сучасних випробувальних установок далекі від досконалості, оскільки існують похибки, внаслідок того, що управління паливною системою та конфігурація вогневих печей не забезпечують повну відповідність умов проведення експерименту вимогам стандартів у даній галузі.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Дослідженням процесу випробувань на вогнестійкість залізобетонних конструкцій займалися і займаються багато вчених. Відповідно до праць дослідників для визначення фактичних меж вогнестійкості вважається найбільш надійнішим і достовірним метод вогневих випробувань у спеціальних вогневих печах. Тому питання його удосконалення є актуальним і важливим.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. У роботах вчених недостатньо уваги було приділено впливу на значення межі вогнестійкості горизонтальних залізобетонних будівельних конструкцій дисперсії температур по їх обігрівальній поверхні, тому розв'язання цієї задачі є актуальним і сприятиме підвищенню ефективності випробувань з оцінювання вогнестійкості горизонтальних залізобетонних будівельних конструкцій.

Постановка задачі та її розв'язання. Основною метою даної статті є визначення залежності значень межі вогнестійкості горизонтальних залізобетонних будівельних конструкцій від дисперсії температур на їхніх обігрівальних поверхнях як наукового підґрунтя для підвищення ефективності оцінювання результатів таких випробувань.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. Для виявлення впливу дисперсії температури по поверхні залізобетонної плити, яка була піддана випробуванням, на величину межі її вогнестійкості, дані розподілень температури по поверхні, отримані для різних конфігурацій печей [4], були використані для моделювання напружено-деформованого стану (НДС) випробовуваної плити під час проведення випробувань. Для цього був використаний алгоритм, який поданий на рис.1.



Рисунок 1 – Структурна схема розрахункових процедур.

Створена кінцево-елементна модель подана на рис. 2.

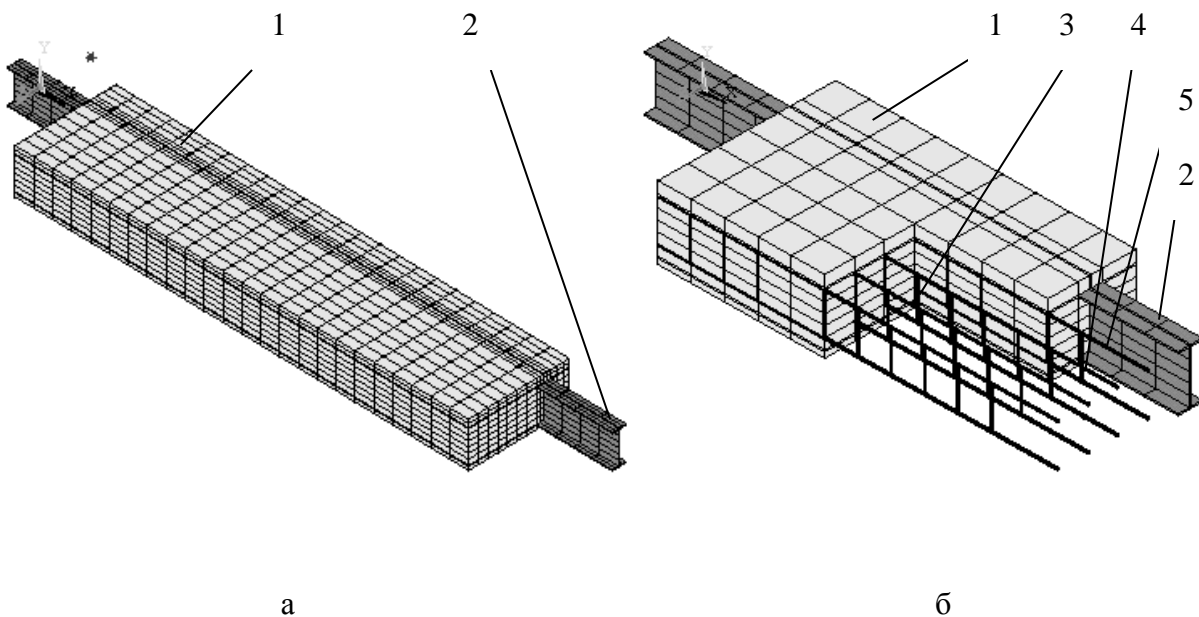


Рисунок 2 – Кінцево-елементна модель горизонтальної конструкції для проведення розрахунку межі вогнестійкості (а – загальний вигляд, що використовують під час обчислювального експерименту, б – схема армування): 1 – кінцевий елемент бетону, 2 – кінцевий елемент сталевій двотавровій балки, 3 – кінцевий елемент арматури $d=8$ мм, 4 – кінцевий елемент арматури $d=10$ мм, 5 – кінцевий елемент арматури $d=12$ мм.

Для теплотехнічного розрахунку залізобетонних конструкцій при їх роботі в умовах вогневого впливу пожежі в більшості робіт пропонується узагальнений інженерний підхід, який базується на наступних положеннях.

1. Для розрахунку використовується квазілінійне параболічне рівняння теплопровідності з ГУ I роду. Температура поверхні взята з розрахунку тепломасообміну у печі різних конфігурацій.

2. У силу великої різниці в теплопровідності арматурної сталі і бетону, теплообмін враховується тільки в бетоні.

3. Теплофізичні характеристики бетону представляються температурними залежностями згідно [5].

4. Рівняння теплопровідності вирішується із застосуванням методу кінцевих елементів (рис. 2).

Таблиця 1 – Технічні характеристики матеріалів фрагмента перекриття

№ з/п	Найменування	Клас	Властивості	Примітка
1.	Бетон	C30/35	Рядовий, гідротехнічний	Міцність – 393 МПа, густина – 2300 кг/м ³
2.	Арматура d=8 мм	A500C	Термомеханічно-зміцнена арматурна сталь	Крок – 200 мм; площа поперечного перерізу – 0,503
3.	Арматура d=10 мм	A500C	Термомеханічно-зміцнена арматурна сталь	Крок – 214 мм; площа поперечного перерізу 0,785
4.	Арматура d=12 мм	A500C	Термомеханічно-зміцнена арматурна сталь	Крок – 214 мм; площа поперечного перерізу 1,131

Результати розрахунку подані на рис. 3.

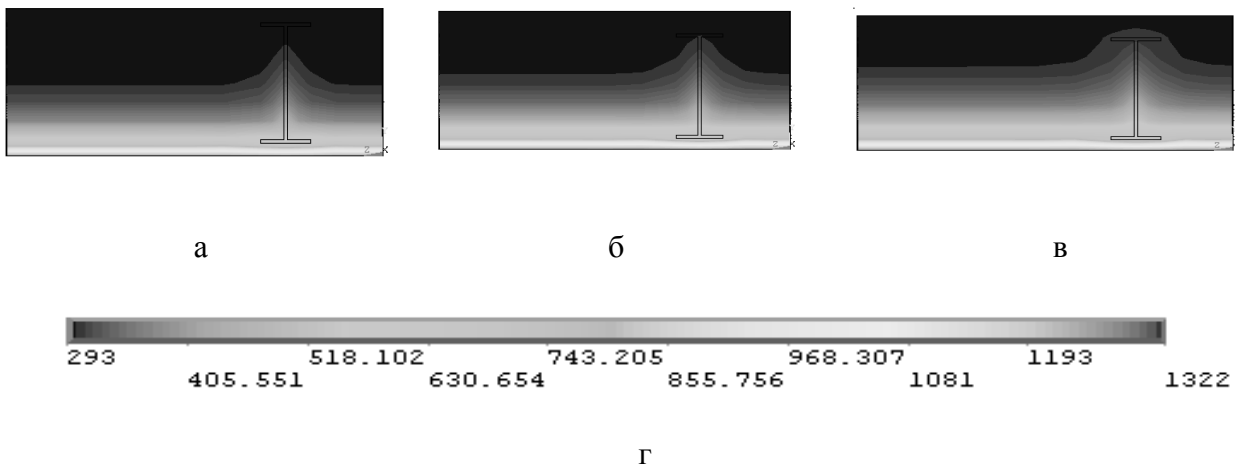


Рисунок 3 – Розподіл температур у перерізі елемента перекриття: а – 25 хвилина, б – 60 хвилина, в – 90 хвилина, г – шкала, °С.

Розрахунок НДС залізобетонної плити виконаний з огляду на зміни теплофізичних та міцнісних характеристик бетону під час вогневих випробувань за стандартним температурним режимом пожежі. У ході розрахунку міцнісні характеристики конструкцій закладають у модель, яка створюється зважаючи на симетрію (рис. 2).

Розрахунок проведений згідно з усіма факторами, які можуть виникати в горизонтальній залізобетонній конструкції за температурно-силових впливів. Ураховано

неоднорідність бетону, основні прийняті математичні моделі поведінки залізобетону за температурно-силових впливів представлено в табл. 2.

Таблиця 2 – Основні розрахункові математичні моделі напружено-деформованого стану залізобетону

Особливість поведінки залізобетону	Математична модель, що використовується
Базові рівняння НДС.	Вирішуючі рівняння МКЕ.
Пластична деформація бетону й арматурної сталі.	Багатопарова модель Беселінга асоціативної теорії пластичності [5].
Фізична й геометрична нелінійність поведінки залізобетону.	Ітеративний метод Ньютона – Рафсона.
Критерій міцності бетону.	Складений критерій Віллема й Варнке [5].
Механічні та термомеханічні властивості бетону й арматурної сталі.	Згідно із Eurocode 2 EN 1992-1-2: 2004 [5].
Особливість поведінки залізобетону.	Використовувана математична модель.

На рис. 4 та рис. 5 показані відповідні діаграми деформування бетону та арматурної сталі згідно із [5], а також графік їх температурної деформації у залежності від температури нагріву.

На кожному з кроків розрахунку застосовано температурні розподілення й розраховано параметри НДС. Результати міцнісного розрахунку подані на рис. 6 та рис. 7.

Для статичної задачі використано розрахунок з огляду на геометричну та фізичну нелінійності за умов покрокового навантаження.

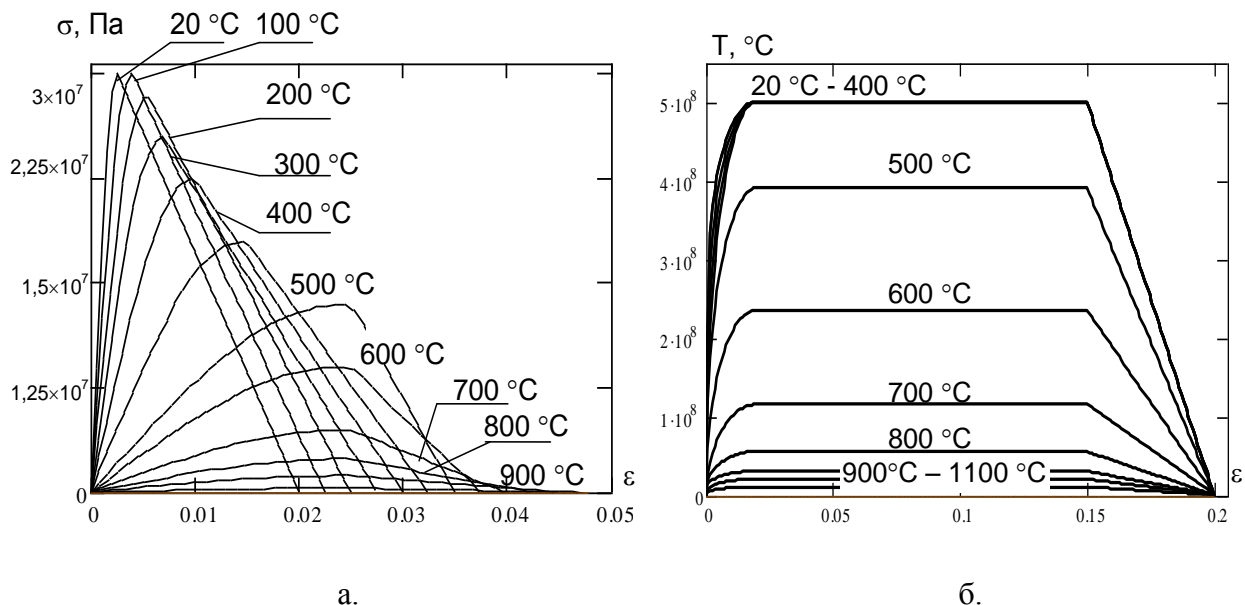
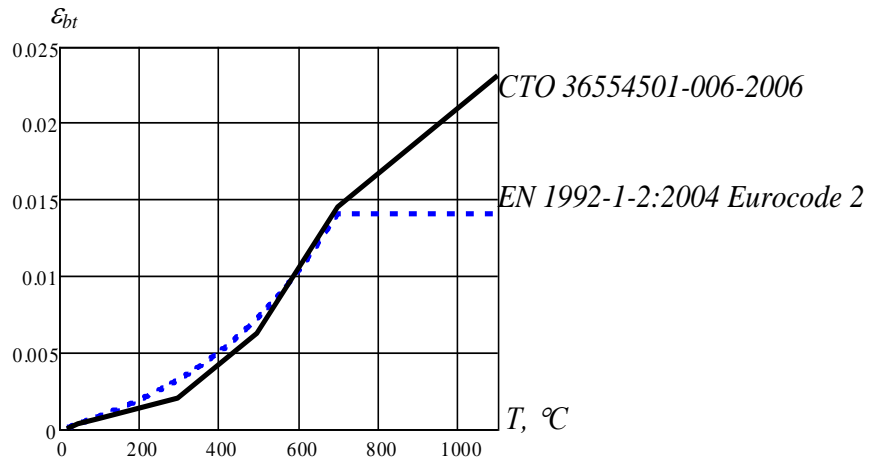
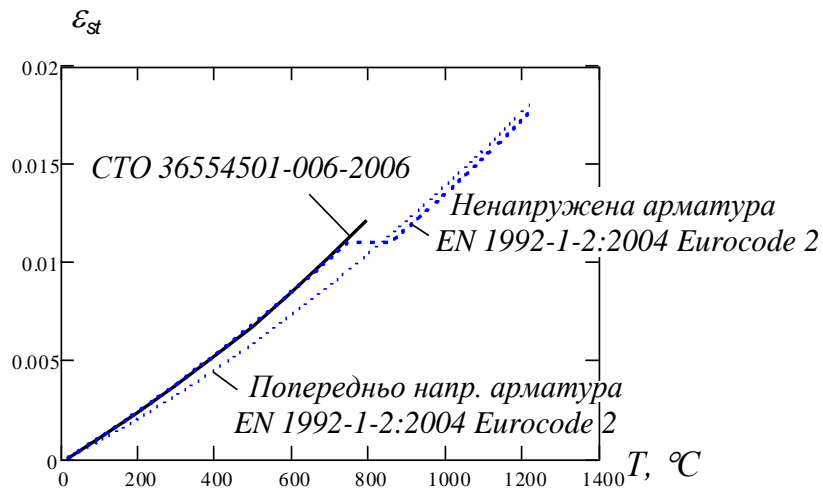


Рисунок 4 – Діаграми деформування бетону С 30/35 (а) та арматурної сталі А500С (б).



а.



б.

Рисунок 5 – Діаграми температурного розширення бетону (а) та арматурної сталі (б).

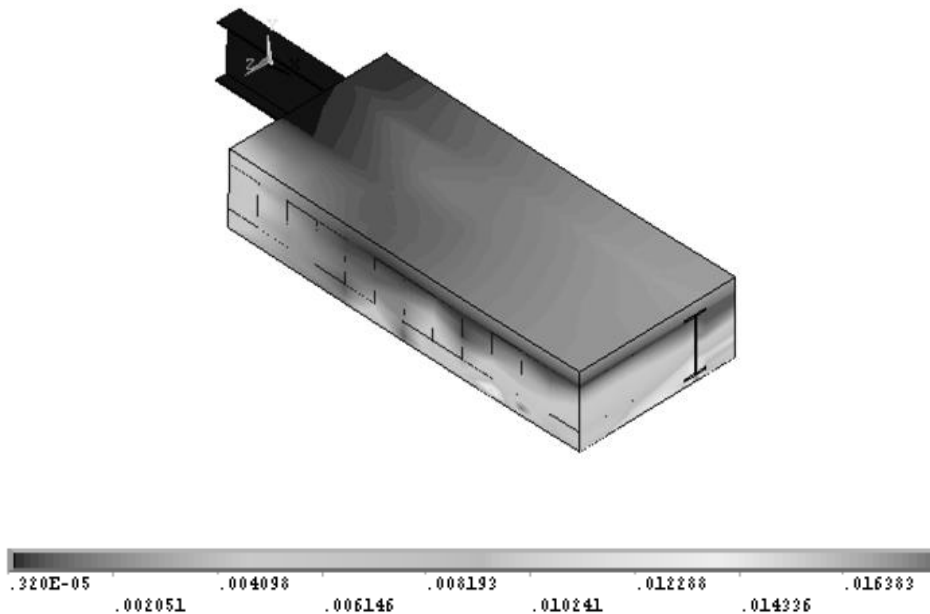


Рисунок 6 – Розподіл найбільших деформацій у внутрішніх шарах залізобетонної плити на 115 хв. процесу випробувань.

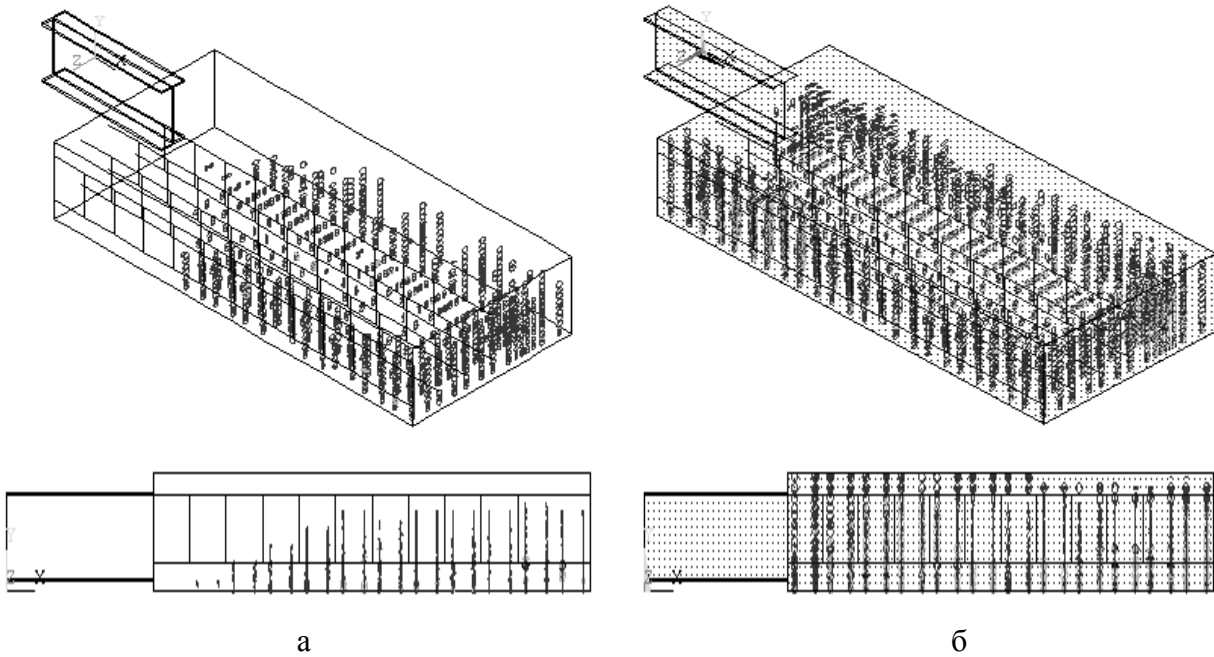


Рисунок 7 – Розподіл дефектів в конструкції: а – 60 хвилини випробування, б – 115 хвилини випробування.

На рис. 7 зображено розподіл виникнення тріщин у конструкції внаслідок комбінованого температурно-силового впливу. Нормаль до країв тріщини відповідає нормалі окружності, яка символізує тріщину. Червоним кольором позначено первинні тріщини, що отримано в точках інтегрування. Відповідно зеленій і синій кольори – вторинні та третинні тріщини. Після виникнення додаткових тріщин елемента вважають зруйнованим, це не позначається на жорсткості матеріалу.

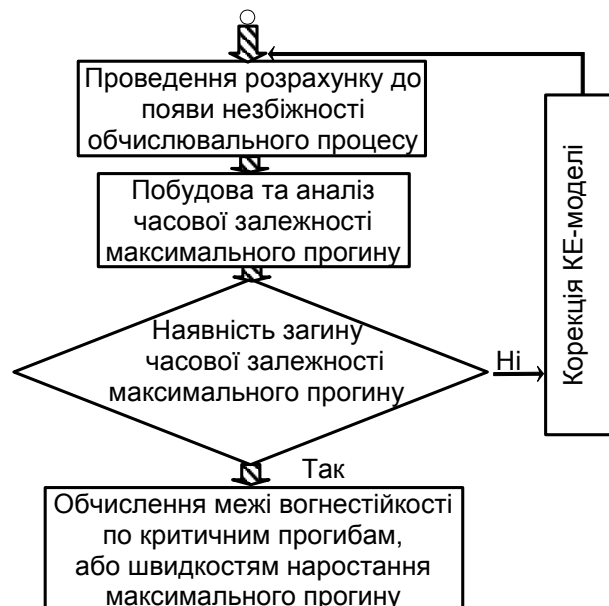


Рисунок 8 – Блок-схема алгоритму визначення межі вогнестійкості.

На підставі аналізу характеру пошкодження в плиті за температурно-силового впливу підсумовано, що більша частина тріщин утворюється з обігрівального боку плити. Це відбувається через те, що навантаження прикладають із необігрівального боку. Тому межа вогнестійкості настає для конструкції в разі втрати стійкості шару бетону з обігрівального

боку. Процес втрати вогнестійкості починається з випучування робочої арматури, унаслідок температурних деформацій та дефектів зовнішнього шару бетону. Після цього плита починає втрачати свої несучі властивості, наростає прогин, через пошкодження арматури та втрати стійкості серцевини конструкції, до настання критичних значень.

Межа вогнестійкості залізобетонної плити визначалася на основі отриманих параметрів НДС у результаті розрахунку. На рис. 8 подана блок-схема відповідного алгоритму.

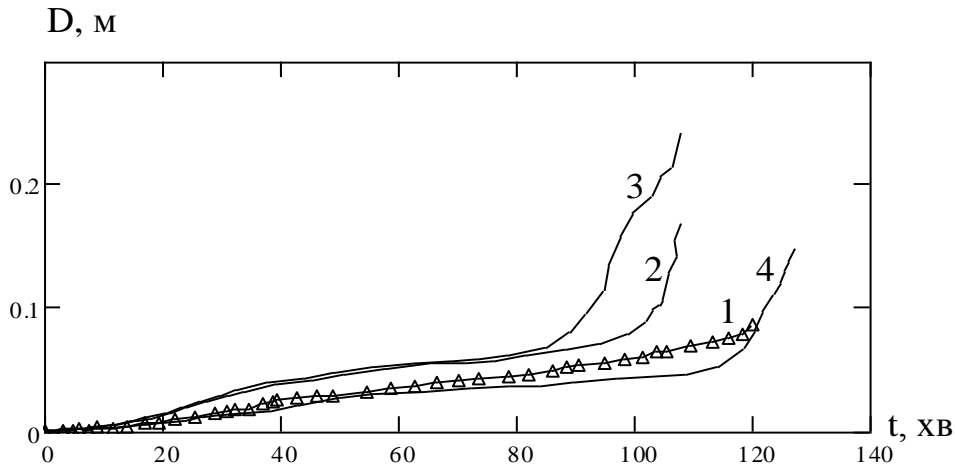


Рисунок 9 – Залежність прогину горизонтальної залізобетонної конструкції від часу на необігрівальній поверхні зразка горизонтальної залізобетонної конструкції: 1 – відповідно до протоколів експериментального дослідження; 2 – під час обчислювального експерименту для реальної конфігурації вогневої печі; 3, 4 – під час обчислювального експерименту для змодельованих конфігурацій вогневої печі.

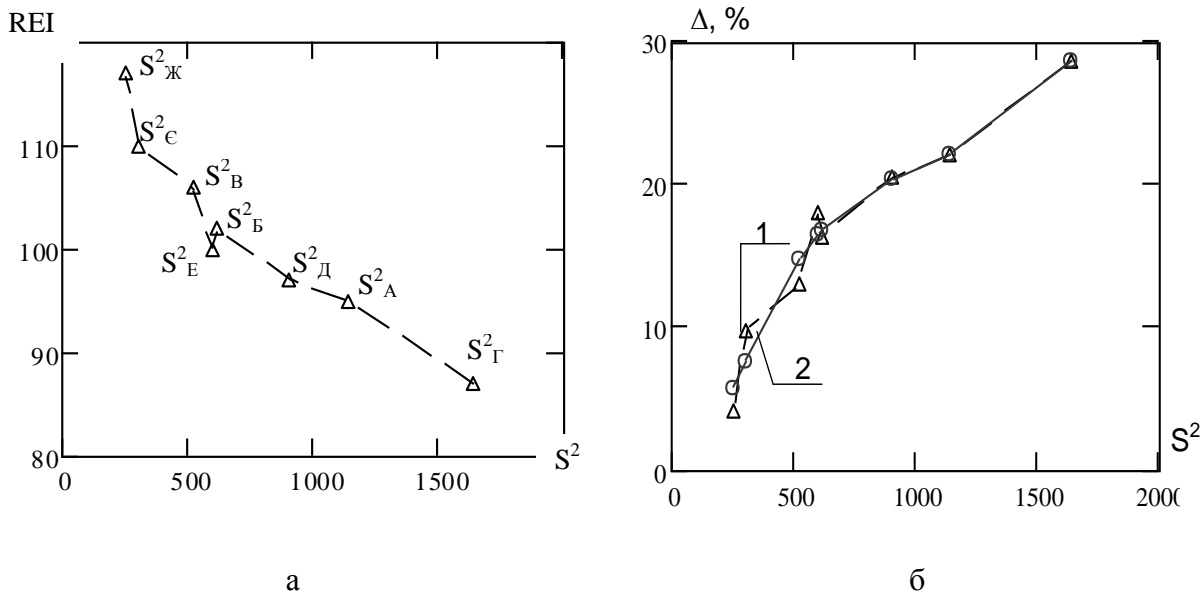


Рисунок 10 – Залежність розрахункових значень межі вогнестійкості залізобетонної плити від значення максимальної дисперсії температур на обігрівальній поверхні конструкції під час вогневих випробувань (а) та похибки визначення межі вогнестійкості (1 – отриманої внаслідок обчислювального експерименту, 2 – отриманої за формулою (1)).

Для з'ясування того, наскільки коректно модель описує реальні процеси, що відбуваються в системі, наскільки якісно прогнозуватиме розвиток цих процесів, необхідно отримати кількісні показники адекватності побудованої моделі. Збіжність результатів обчислювального та реального експерименту перевірена за допомогою визначення величини прогину елемента горизонтальної залізобетонної конструкції від часу на необігрівальній поверхні (рис. 9).

Для перевірки збіжності результатів використано результати експерименту з випробувань на вогнестійкість горизонтальної залізобетонної плити та обчислювального експерименту в аналогічній конфігурації вогневої печі за допомогою методу кінцевих елементів.

Відповідно до отриманих результатів, побудовано графіки розрахункових значень межі вогнестійкості залізобетонної плити від значення максимальної дисперсії температур на обігрівальній поверхні конструкції під час вогневих випробувань (а) та похибки визначення межі вогнестійкості. З графіків отримано залежність межі вогнестійкості залізобетонної плити від дисперсії температур на їхніх обігрівальних поверхнях, а також похибки визначення межі вогнестійкості (рис. 10), які описані за формулою:

$$\Delta(S^2) = 0,0098 - 7,438 \cdot 10^{-4} \cdot S^2 + 6,278 \cdot 10^{-7} \cdot (S^2)^2 - 1,933 \cdot 10^{-10} \cdot (S^2)^3 \quad (1),$$

де Δ – похибка визначення межі вогнестійкості горизонтальної залізобетонної будівельної конструкції, %; S^2 – дисперсія температур на обігрівальній поверхні горизонтальної залізобетонної будівельної конструкції.

Висновки.

1. Проведено обчислювальні експерименти щодо розрахунку залежності межі вогнестійкості від максимальної дисперсії температур по обігрівальній поверхні горизонтальної будівельної конструкції під час випробувань.

2. Одержано залежність значень межі вогнестійкості горизонтальних залізобетонних будівельних конструкцій від дисперсії температур на їхніх обігрівальних поверхнях, а також похибки визначення межі вогнестійкості, що описані за формулою (1).

3. Одержані результати дають можливість обґрунтувати параметри вогневої печі для визначення вогнестійкості горизонтальних залізобетонних будівельних конструкцій, які враховують виявлені залежності дисперсії температур по обігрівальній поверхні, що дозволить підвищити відтворюваність результатів таких випробувань.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Метрологічні особливості вогневих випробувань залізобетонних будівельних конструкцій на вогнестійкість / С.В. Поздєєв, О.М. Тищенко, О.М. Нуянзін [та ін.] // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2011. – № 8. – С. 73 – 79.

2. Нуянзін О.М. Дослідження впливу конструкції вимірювальної арматури вогневих печей на адекватність результатів випробувань на вогнестійкість / О.М. Нуянзін, С.В. Поздєєв // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2011. – № 9. – С. 99 – 105.

3. Дослідження адекватності математичної моделі тепломасообміну випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій / О.М. Нуянзін, С.В. Поздєєв, В.М. Андрієнко [та ін.] // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2013. – № 13. – С. 91 – 100.

4. Нуянзін О.М. Чисельне дослідження ефективності випробувань на вогнестійкість горизонтальних будівельних конструкцій у вогневих печах різної конфігурації // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2013. – № 14. – С. 78 – 83.

5. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2 : Design of concrete structures – Part 1-2 : General rules – Structural fire design, Brussels 2004.

6. СТО 36554501-006-2006 : Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. – НИИЖБ, М. – 2006. – 85 с.