

УДК 624.012

С.В. Поздєєв, д-р техн. наук, доц.

РОЗРАХУНКОВИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ КАМ'ЯНИХ НЕСУЧИХ СТІН

В статті описані основні процедури та область застосування розрахункового методу оцінки вогнестійкості несучих кам'яних стін, що заснований на моделюванні їх поведінки в умовах нагріву за стандартною температурною кривою пожежі.

Ключові слова: вогнестійкість, кам'яні несучі стіни, метод кінцевих елементів.

S. Pozdeyev, Dr. of Sc. (Eng.), Docent

CALCULATION METHOD OF FIRE RESISTANCE ASSESSMENT OF STONE LOAD-BEARING WALLS

The article describes the basic procedures and the application area of calculation method for fire resistance assessment of stone bearing walls which is based on modeling of behavior of wall under conditions of heating at the standard fire temperature curve. of calculation method for fire resistance assessment of stone bearing walls which is based on modeling of behavior of wall under conditions of heating at the standard fire temperature curve.

Keywords: fire resistance, stone load-bearing walls, finite element method.

У зв'язку зі збільшенням кількості пожеж і інших надзвичайних ситуацій, які можуть стати причиною пожежі або є їхнім наслідком, актуальними є задача вдосконалення методів визначення вогнестійкості будівельних конструкцій, зокрема кам'яних стін з різних матеріалів. Відомо, що на даний момент найбільш достовірними вважаються методи визначення меж вогнестійкості, засновані на проведенні вогневих випробувань [1, 2]. Однак, удосконалення технологій зведення будинків і споруд на основі несучих будівельних конструкцій, а також технологій виготовлення елементів конструкцій і недосконалість технічного забезпечення існуючих лабораторій ускладнює і навіть при певних умовах унеможливорює застосування вогневих випробувань. Також слід зважити на високу вартість і трудомісткість проведення таких експериментів. Альтернативою методам оцінки вогнестійкості несучих стін за допомогою випробувань може бути застосування розрахункових методів, які мають меншу вартість, трудомісткість не вимагають дорогого й громіздкого експериментального устаткування. Нормативні документи [1, 2] України і Євросоюзу вводять у практику алгоритми таких методів, але в багатьох випадках вони засновані на грубих математичних моделях механіки стержнів і дають істотні похибки. Крім цього, залишається відкритим питання розрахунку межі вогнестійкості за граничним станом втрати цілісності. На даний час досить обмежена увага приділялася розрахунковим критеріям щодо ознак настання даного граничного стану.

Методи розрахунків, засновані на застосуванні більш точних математичних моделей поведінки кам'яної кладки в умовах пожежі, називаються уточненими [1, 2]. При застосуванні уточнених методів визначення вогнестійкості несучих кам'яних стін одним з найбільш ефективних є метод кінцевих елементів (МКЕ), оскільки він є універсальним, а алгоритми його чисельної реалізації дуже добре відпрацьовані й дозволяють урахувати всі значимі особливості поведінки матеріалів будівельних каменів при комбінованій дії високотемпературного нагрівання й механічних навантажень. Крім цього, дані алгоритми застосовуються в універсальних комп'ютерних МКЕ-системах типу ANSYS, NASTRAN,

ABAQUS, LIRA та ін., у яких реалізовані найбільш ефективні математичні моделі поведінки матеріалів, що враховують великий обсяг наукових даних закордонних і вітчизняних дослідників. Проте, досвід застосування таких математичних моделей поки недостатній, оскільки не зовсім точно визначені послідовності розрахункових процедур при їх використанні. При застосуванні комерційних програмних комплексів, вказаних вище, можна отримати значний набір розрахункових даних стосовно напружено-деформованого стану несучих стін у будь-який час розвитку пожежі. При цьому недостатньо розвинена критеріальна база ідентифікації настання граничних станів втрати несучої здатності та цілісності за отриманими розрахунковими даними.

У зв'язку з цим сформульована мета дослідження.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою даної роботи є розвиток методології застосування уточнених методів розрахунків меж вогнестійкості для несучих кам'яних стін, заснованих на використанні методу кінцевих елементів, куди входить розробка вимог до бази початкових даних щодо матеріалів, граничних умов, побудування розрахункових схем та сіткових моделей, набору обов'язкових постпроцесорних даних, а також критеріальної бази щодо ідентифікації настання граничних станів втрати несучої здатності та втрати цілісності за отриманими результатами розрахунку.

В роботі [3] розвинений розрахунковий підхід до визначення меж вогнестійкості залізобетонних конструкцій, заснований на уточнених математичних моделях поведінки залізобетону в умовах високотемпературного нагріву при номінальній тепловій дії пожежі за стандартним температурним режимом. Для адаптації такого підходу для кам'яних стін була розглянута стіна з блоків із легкого бетону, основні технічні параметри якої наведені у табл. 1.

Таблиця 1 - Основні параметри стіни з блоків із легкого бетону

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Геометричні розміри фрагменту			
• товщина стіни	s	0,2	м
• ширина стіни	l	1,5	
• висота стіни	h	3,2	
Тип бетону блоків	Легкий на заповнювачі із спученого перліту	Клас LC 8/9 (B8)	
Густина бетону	ρ_B	800	кг/м ³
Гранична вологість	u	< 3	%

Для описання поведінки кам'яної стіни з блоків із легкого бетону під час пожежі були проаналізовані підходи до розв'язку подібних задач [3]. Аналіз підходів у даних джерелах дозволив сформулювати основні передумови й допущення, які можна сформулювати в такому загальному вигляді:

1. Математична модель температурної й механічної реакції на тепловий вплив пожежі описується за допомогою рівняння теплопровідності й системи диференціальних рівнянь НДС твердого тіла при їхній чисельній реалізації на базі МКЕ.

2. Для розв'язку теплотехнічної задачі використовується нестационарне двовимірне квазілінійне рівняння теплопровідності з ефективними теплофізичними характеристиками (ТФХ) бетону згідно з нормативними документами [1, 2] у допущенні, що НДС на них не впливає.

3. Враховується можливість тріщиноутворення в матеріалі стіни при розтяганні, а при стиску поведінка кам'яної кладки має нелінійний характер з урахуванням спадаючої гілки діаграми деформування, параметри якої залежать від температури.

4. Тріщиноутворення в кам'яній кладці визначається відповідною теорією міцності

бетону.

5. Пластична деформація матеріалу визначається асоціативною теорією пластичності.

6. Стан тотального руйнування стіни визначається критичними деформаціями, пов'язаними з утворенням пластичного шарніра.

Для розв'язку поставленої задачі необхідне завдання комплексу початкових даних, до яких відносяться властивості матеріалу стіни, та параметри граничних умов, що враховують прикладенні навантаження, та теплову дію. На рис. 1 наведені теплофізичні характеристики кладки з блоків із легкого бетону, з якої виготовлена стіна, які описані у чинному стандарті України [1] щодо розрахунку кам'яних конструкцій на вогнестійкість. Дані характеристики являють собою температурні залежності ефективних характеристик, що описують матеріал як однорідний та ізотропний, що є допустимим при таких розрахунках [1 – 3].

На рис. 2 подані термомеханічні характеристики матеріалу стіни. Наведені характеристики відповідають вимогам стандарту України [1]. Міцнісні характеристики являють собою набір діаграм «напруження-деформація» із спадними гілками для певних значень температури нагріву матеріалу. Також на цьому рисунку наведені температурні деформації матеріалу стіни.

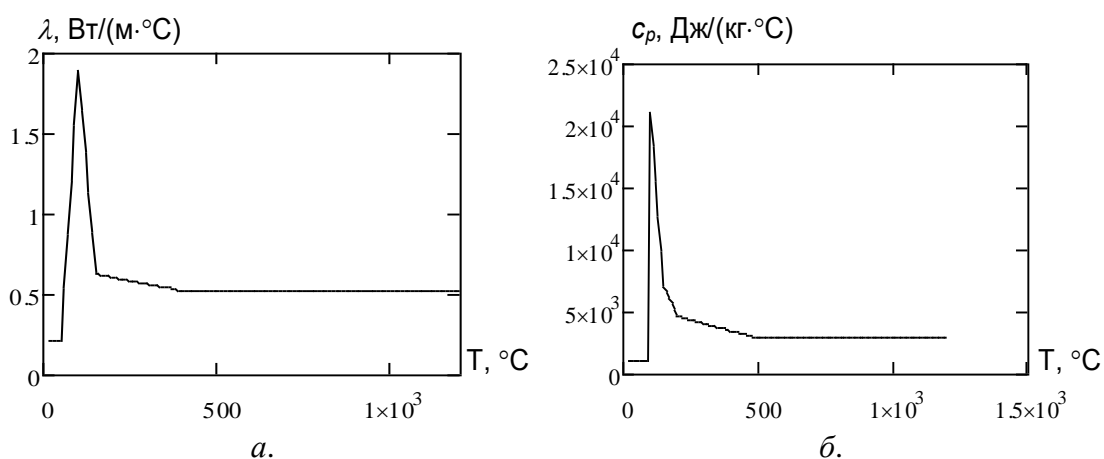


Рисунок 1 – Теплофізичні характеристики кладки з блоків із легкого бетону: коефіцієнт теплопровідності (а), питома теплоємність (б)

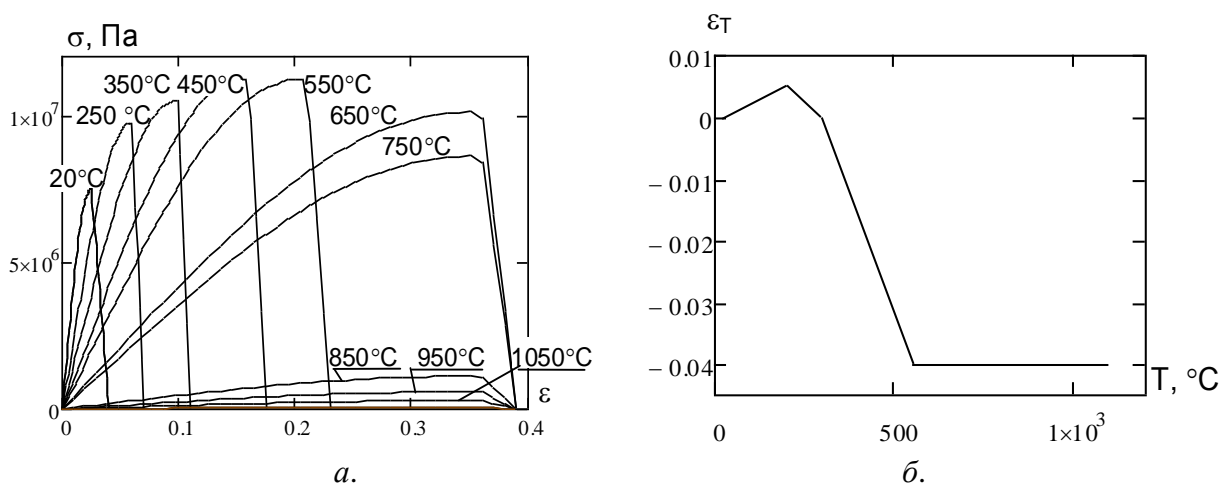


Рисунок 2 – Термомеханічні характеристики кладки з блоків із легкого бетону: діаграми деформування (а), температурні деформації (б).

Для проведення розрахунку були використані математичні моделі, параметри яких подані у табл. 2.

Таблиця 2 - Основні математичні моделі для розрахунків стіни на вогнестійкість.

Особливість поведінки матеріалу стіни	Використана математична модель (метод)	Дж-ло
Теплотехнічна задача		
Теплопровідність	Рівняння нестационарної теплопровідності з кінцево-елементним наближенням	[3]
Граничні умови	III роду	
Фізична нелінійність	Ітеративний метод Ньютона-Рафсона	[3]
Статична задача		
Напружено-деформований стан	Метод кінцевих елементів	[3]
Пластичне деформування матеріалу стіни	Багатошарова модель асоціативної теорії пластичного деформування Бесселінга	[3]
Тріщиноутворення	Складений критерій міцності бетону Віллема і Варнке	[3]
Фізична й геометрична нелінійність	Ітеративний метод Ньютона-Рафсона	[3]

При проведенні розрахунку були прийняті розрахункові схеми до теплотехнічної та статичної задач, що наведені на рис. 3.

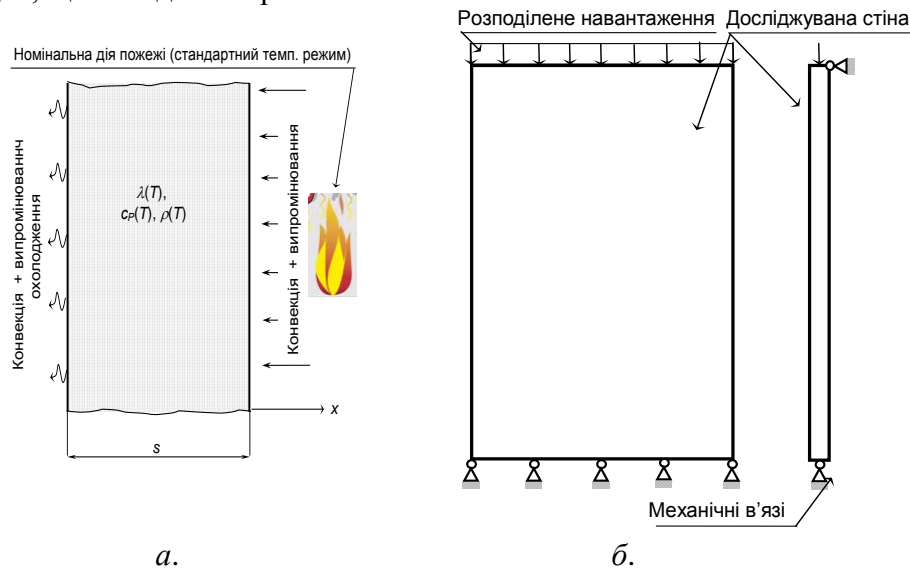


Рисунок 3 – Розрахункові схеми: до теплотехнічної задачі (а); до статичної задачі (б).

Для завдання граничних умов були використані параметри, спираючись на чинні стандарти України щодо розрахунку будівельних конструкцій на вогнестійкість. Величини вибраних параметрів наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Параметри граничних умов

Характеристика	Од. виміру	Величина	Джерело
Параметри граничних умов теплотехнічної задачі			
Номінальний тепловий вплив		Ст. темпер. режим пожежі	
Коеф. конв. теплообміну на поверхні, що обігривається	Вт/(м ² ·К)	25	[2]
Коеф. конв. теплообмін на поверхні, що не обігривається	Вт/(м ² ·К)	6	[2]
Ступінь чорноти	-	0.85	[2]
Постійна Стефана-Больцмана	Вт/(м ² ·К ⁴)	5.67·10 ⁻⁸	[3]
Параметри граничних умов статичної задачі			
Діюче навантаження	т/м ²	150	-
Коефіцієнт Пуасона	-	0,2	[3]

Для проведення розрахунку були побудовані сіткові моделі стіни, вигляд яких поданий на рис. 4. При побудованні сіткових моделей було враховано, що сітка для вирішення теплової задачі відповідно до розрахункової схеми (див. рис. 3) є одномірною і повинна бути набагато густішою. Сітка для статичної задачі повинна бути більш грубою і враховувати місцеву особливість більшого нагрівання внутрішніх шарів, прилеглих до обігрівної поверхні [3]. Тому в даних шарах вона також повинна бути густішою.

З метою зменшення обсягу розрахунків розглядається малий фрагмент стіни, оскільки напружено-деформований стан вздовж стіни майже не змінюється. Робота фрагменту у цілій стіні враховується за допомогою встановлення граничних умов симетрії по її бокам. Такі умови забезпечуються встановленням відповідних односторонніх механічних в'язів. Накладання температур у вузлові точки відбувається шляхом лінійної інтерполяції.

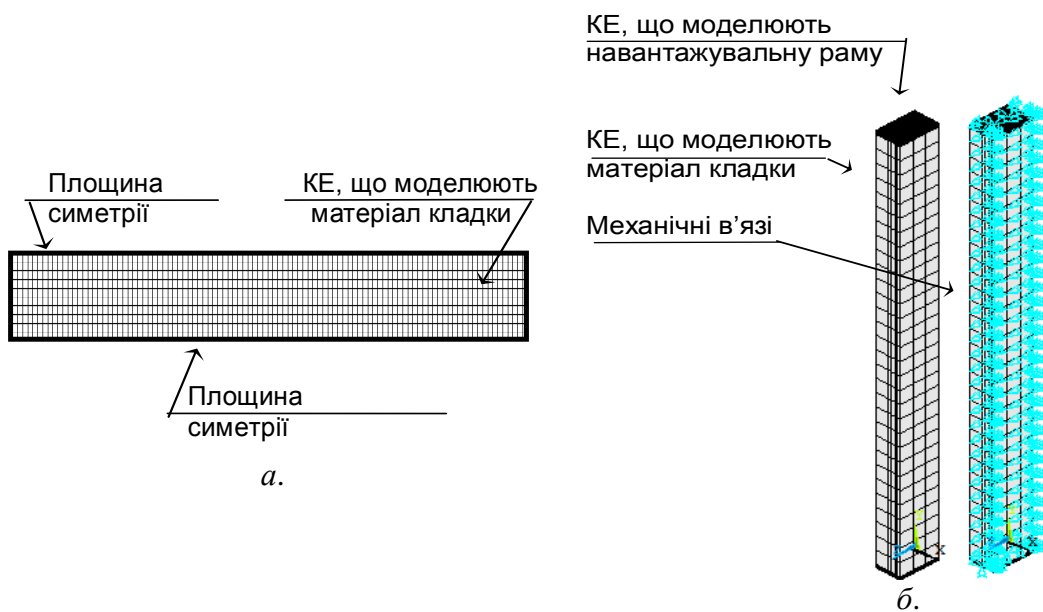


Рисунок 4 – Сіткові моделі: до теплотехнічної задачі (а); до статичної задачі (б).

В результаті вирішення теплотехнічної задачі були отримані температурні розподілення, які наведені на рис. 5.

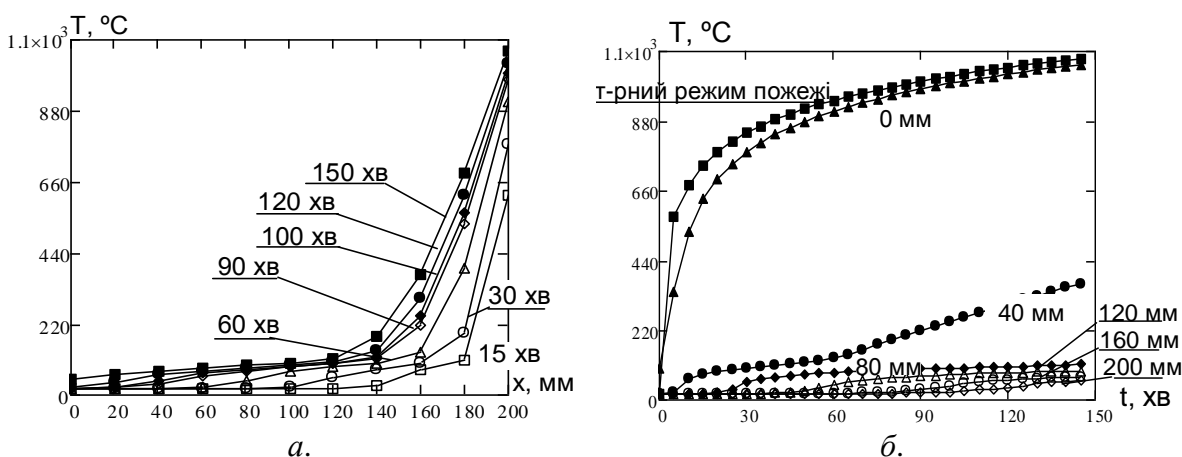


Рисунок 5 – Результати вирішення теплотехнічної задачі: температурні розподілення у перерізі стіни (а); температурні режими прогрівання внутрішніх шарів стіни (б).

Після вирішення статичної задачі були отримані графіки вертикальних переміщень верхнього краю стіни, а також швидкостей наростання цих переміщень. Отримані графіки наведені на рис. 6.

Отримані графіки дозволяють отримати дані про настання граничного стану втрати несучої здатності шляхом порівняння поточних значень переміщень і швидкостей з гранично допустимими, що визначаються за формулами [4, 5]:

$$D = 0.01h = 32 \text{ мм}; \quad dD/dt = 3h/1000 = 9,6 \text{ мм/хв.} \quad (1)$$

Аналіз отриманих графіків показує що на 148 хв настає граничний стан втрати несучої здатності, оскільки в цьому разі вертикальні переміщення перевищують допустиме значення.

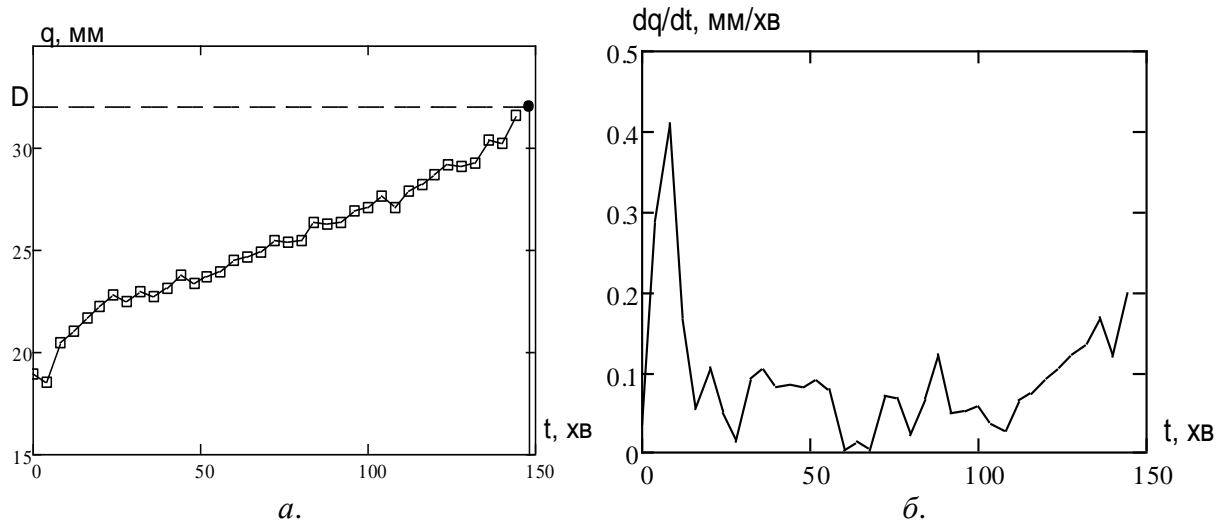


Рисунок 6 – Результати вирішення статичної задачі: вертикальні переміщення верхнього краю стіни (а); швидкість наростання вертикальних переміщень (б).

Для аналізу настання граничного стану втрати цілісності використаний аналіз картин розподілень ушкоджень. На рис. 7 подані розподілення тріщин і положення повністю зруйнованих KE, отриманих у результаті розрахунку, у момент настання граничного стану.

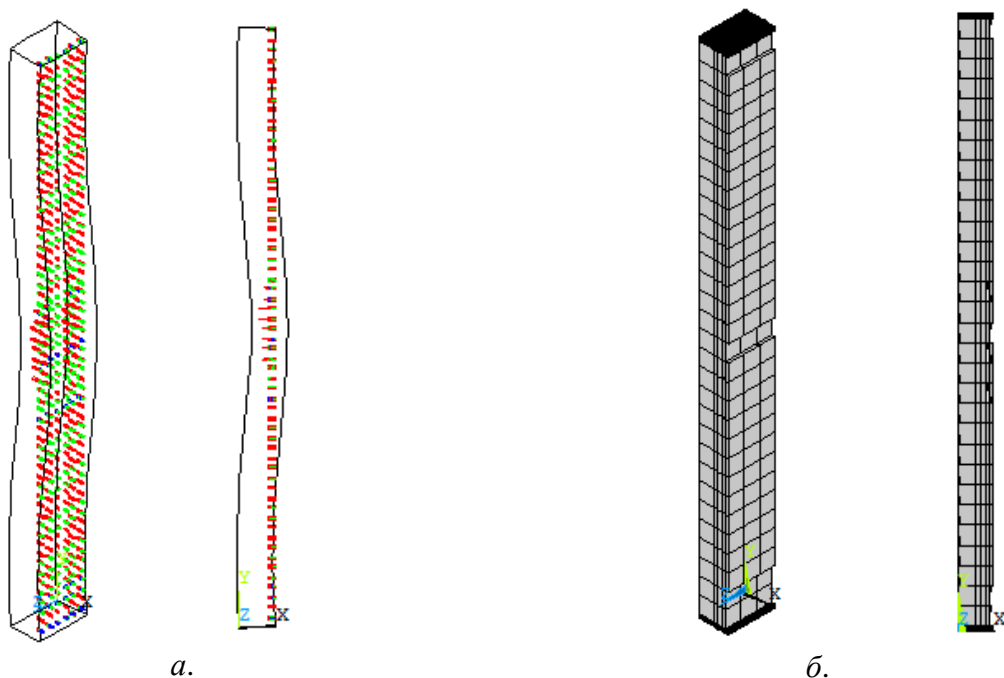


Рисунок 7 – Розподілення тріщин у стіні (а) та повністю зруйнованих елементів (б) у момент настання граничного стану втрати несучої здатності.

Графік швидкості наростання деформацій має немонотонний пилкоподібний характер. Це пояснюється постійною зміною математичного опису структури матеріалу, пов'язану з утворенням у ньому тріщин.

Розподілення ушкоджень у стіні показує, що згідно з ознаками настання граничного стану втрати цілісності (наявність тріщин глибиною не менш як 160 мм та наскрізних тріщин) не відбувається.

Таким чином, метод, що був запропонований у даній роботі, дозволяє ефективно розраховувати несучі стіни на вогнестійкість.

Висновки.

1. У результаті проведеної роботи був розроблений розрахунковий метод комплексної оцінки вогнестійкості кам'яних несучих стін.

2. Сформульовані вимоги до комплексу вихідних даних для проведення розрахунку за запропонованим методом.

3. Сформульовані вимоги до побудування розрахункових схем та сіткових моделей кам'яних несучих стін для проведення розрахунку за запропонованим методом.

4. Визначені критерії для оцінки вогнестійкості кам'яних стін за набором розрахункових даних при ідентифікації настання граничних станів втрати несучої здатності та цілісності.

5. Використовуючи розроблений метод, була оцінена вогнестійкість несучої стіни з блоків із легкого бетону. Межа вогнестійкості складає 148 хв при цьому настає граничний стан із втратою несучої здатності внаслідок перевищення вертикальними переміщеннями верхнього краю стіни допустимих значень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:2012 Проектування кам'яних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість. – К.: Укрархбудінформ, 2013. – 78 с.
2. EN 1996-1-2:2004 Eurocode 6: Design of masonry structures Part 1-2: General rules - Structural fire design, Brussels, 2004.
3. Поздєєв С.В. Розробка уточненого розрахункового методу для визначення межі вогнестійкості несучих залізобетонних конструкцій. / Поздєєв С.В., Левченко А.Д. // Науковий вісник національного технічного університету «Львівська політехніка». – Львів: НТУ «Львівська політехніка». - 2011. – С. 264 – 269.
4. ДСТУ Б В.1.1-19: 2007. Захист від пожежі. Несучі стіни. Метод випробування на вогнестійкість. – К.: Укрархбудінформ, 2008.
5. ДСТУ Б В.1.1-4-98*. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека. – К.: Укрархбудінформ, 2005.

