

*Поздеев С.В., д.т.н., профессор
Отрош Ю.А., к.т.н., доцент
Демешок В.В., ад'юнкт
Кропива М.О., ад'юнкт
Черкаський інститут пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України*

ОЦІНКА ВОГНЕСТІЙКОСТІ НЕНЕСУЧИХ СТІН ЗА РОЗРАХУНКОВИМИ МЕТОДАМИ ЄВРОКОДУ

Запропоновано методикку оцінювання вогнестійкості ненесучих стін. Розвинуто методологію застосування методів розрахунку меж вогнестійкості, заснованих на використанні методу кінцевих різниць, на прикладі оцінювання вогнестійкості зовнішньої стіни. Розроблено вимоги до бази початкових даних щодо матеріалів, граничних умов, побудови розрахункових схем та сіткових моделей, а також критеріальну базу щодо ідентифікації настання граничних станів втрати теплоізолювальної здатності та цілісності за отриманими результатами розрахунку.

Ключові слова: *вогневі випробування, вогнестійкість, клас вогнестійкості, метод кінцевих різниць, теплоізолювальна здатність, теплопровідність, теплоємність.*

*Поздеев С.В., д.т.н., профессор
Отрош Ю.А., к.т.н., доцент
Демешок В.В., ад'юнкт
Кропива М.А., ад'юнкт
Черкасский институт пожарной безопасности
имени Героев Чернобыля
Национального университета гражданской защиты Украины*

ОЦЕНКА ОГНЕСТОЙКОСТИ НЕНЕСУЩИХ СТЕН ПО РАСЧЕТНЫМ МЕТОДАМ ЕВРОКОДА

Предложена методика оценки огнестойкости несущих стен. Развита методология применения методов расчета пределов огнестойкости, основанных на использовании метода конечных разностей, на примере оценки огнестойкости внешней стены. Разработаны требования к базе исходных данных касательно материалов, граничных условий, построения расчетных схем и сетевых моделей, а также исходная база по идентификации наступления предельных состояний потери теплоизолирующей способности и целостности по полученным результатам расчета.

Ключевые слова: *огневые испытания, огнестойкость, класс огнестойкости, метод конечных разностей, теплоизолирующая способность, теплопроводность, теплоемкость.*

Pozdeev S., ScD, Professor
Otrosh Y., PhD, Associate Professor
Demeshok V., adjunct
Kropiva M., adjunct
Cherkasy Institute of Fire Safety
named after Chernobyl Heroes
National University of Civil Protection of Ukraine

EVALUATION OF FIRE CURTAIN WALLS ACCORDING TO CALCULATION METHODS OF EUROCODES

The paper presents a methodology for evaluating the fire resistance of non-bearing walls. A methodology of calculation methods boundaries fire based on FDTD method using the example of fire resistance evaluation outer wall is created. The requirements for the initial data base for materials, boundary conditions, construction of settlement schemes and grid models, but also by criteria framework for identifying the limiting conditions of loss of insulation capacity and loss of integrity on the results of calculation are developed. The estimated fire resistance rating is more effective. The alternative calculation methods, which are lower cost, complexity, does not require expensive and cumbersome experimental equipment. The technique is based on the standards harmonized with appropriate methodological and regulatory framework of the European Union. To estimate the fire resistance is analyzed a wall of ceramic bricks that is built on the edges of the slab. The impact of fire on the wall can be seen as unilateral thermal effects on infinite plate with a given thickness. To solve the heat conduction equation temperature dependence of thermal characteristics of materials according to the Eurocodes is used. For the calculation wall mesh reinforcement models were constructed. Work fragment in the whole wall is taken into account by setting the boundary conditions of symmetry on its sides. The temperature distribution on the section of the wall at different time station of thermal fire effect is received. Signs of integrity loss are difficult to control according to the calculated data, so circumstantial evidences are used. These characteristics include the possibility of brittle fracture. The walls of ceramic bricks are not regulated by current standards of integrity calculation. The most dangerous place in the masonry of ceramic bricks is brick joint.

The condition of the bearing capacity of storage is the storage integrity of joints. Analyzing the data, we can see that the temperature on the boundary walls and insulation cover over the control time 150 min value reaches 140 °C. This makes it possible to assert that class of fire resistance of the outer wall is not less than EI 150, outer wall conforms to the standards of fire walls and type. To ensure the appropriate class of fire resistance of external walls and elements of its reference node fireproof system design is required. The criteria for assessing fire stone walls set on calculated data when identifying the limiting conditions of loss of insulation capacity and integrity.

Keywords: *fire test, fire resistance, fire resistance class, FDTD method, insulating ability, thermal conductivity, heat capacity.*

Вступ. Для оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій з урахуванням їх сумісної роботи вогневі випробування цих конструкцій, об'єднаних у вузли, є неефективними, оскільки передбачають випробування декількох елементів конструкції, наприклад самої стіни, ригелів та колон, пов'язаних із нею. Це означає, що розрахункове оцінювання вогнестійкості такої структури є більш ефективним.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. З огляду на зазначені особливості була створена методика, заснована на застосуванні розрахункового методу оцінювання класу вогнестійкості, пов'язаного з використанням чинних в Україні нормативних документів. Розроблена методика базується на стандартах, гармонізованих із відповідною методичною та нормативною базою ЄС, а також узгоджується з результатами досліджень вітчизняних і закордонних авторів, які апробовані, обговорені та визнані науковою спільнотою і входять в основну базу літературних посилань та цитування фахівцями даної галузі [1 – 4, 6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Альтернативою методам оцінювання вогнестійкості ненесучих стін за допомогою випробувань може бути застосування розрахункових методів, які мають меншу вартість, трудомісткість, не вимагають дорогого й громіздкого експериментального устаткування. Отримані результати можуть бути використані як підґрунтя для встановлення відповідності класу вогнестійкості досліджуваних конструктивних елементів вимогам будівельних норм.

Постановка завдання. Мета роботи – розвиток методології застосування методів розрахунків меж вогнестійкості, заснованих на використанні методу кінцевих різниць, на прикладі оцінювання вогнестійкості зовнішньої стіни. Сюди входить розроблення вимог до бази початкових даних щодо матеріалів, граничних умов, побудова розрахункових схем і сіткових моделей, а також критеріальна база щодо ідентифікації настання граничних станів втрати теплоізолювальної здатності та цілісності за отриманими результатами розрахунку.

Основний матеріал і результати. Для описання поведінки кам'яної стіни під час пожежі були проаналізовані підходи до розв'язування подібних задач [3].

Для оцінювання вогнестійкості розглядається стіна з керамічної цегли, яка зводиться на ребрах плити перекриття. Ззовні означену стіну захищено теплоізолювальним шаром, а з внутрішньої сторони стіна покрита гіпсовою штукатуркою.

При розгляді теплової дії пожежі на стіну згідно з конструктивними схемами доходимо висновку, що її можна розглядати як односторонній тепловий вплив на нескінченну пластину із заданою товщиною. Крайова задача при цьому була поставлена з використанням розрахункової схеми (рис. 1).

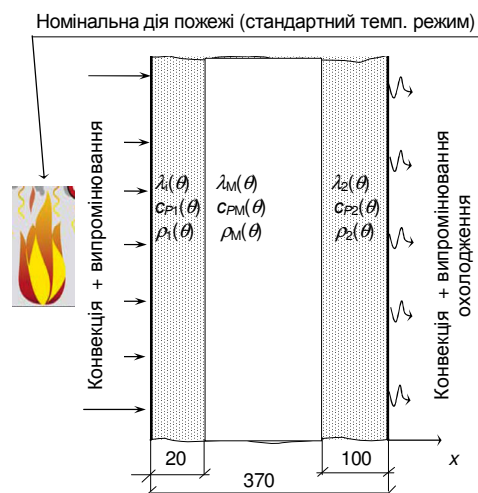


Рисунок 1 – Розрахункова схема при односторонньому нагріві зовнішньої стіни

Згідно з розробленою методикою для визначення температурного розподілення у перерізі стіни використаний метод кінцевих різниць. Для його реалізації була складена розрахункова схема (рис. 2).

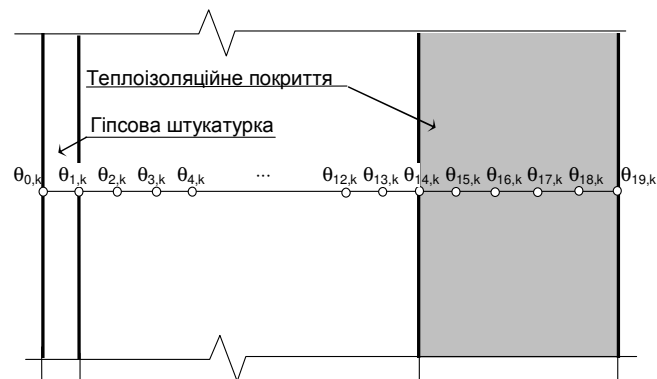


Рисунок 2 – Кінцево-різницева схема для розв’язування задачі теплопровідності при визначенні температур у перерізі зовнішньої стіни

Для розв’язування рівняння теплопровідності потрібно задати температурні залежності теплофізичних характеристик матеріалів зовнішньої стіни. У таблиці 1 подано теплофізичні характеристики матеріалів.

Таблиця 1 – Теплофізичні характеристики матеріалів зовнішньої стіни

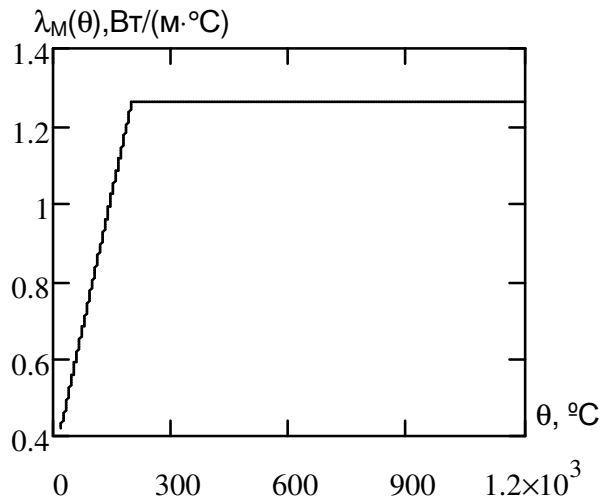
Коефіцієнт теплопровідності $\lambda(\theta)$, Вт/(м·°С)	Об’ємна питома теплоємність $c_p(\theta) \cdot \rho$, Дж/(м ³ ·°С)	Густина, кг/м ³
Кладка з керамічної цегли за нормами ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:2012 [9]		
0,42· при 0 °С ≤ θ < 20 °С, 0,42+(2·0,42 (θ - 20))/180 при 20°С ≤ θ < 200°С, 1,26 при 200°С ≤ θ ≤ 1200 °С	564 при 20 °С ≤ θ < 100 °С, 19·564-((19·564-5·564)(θ - 100))/100 при 100 °С ≤ θ < 200 °С, 5·564-((5·564-564)(θ - 200))/1000 при 200 °С ≤ θ ≤ 1200 °С.	825
Утеплювач «Wentirock» фірми «ROCKWOOL» [7]		
0,037	ρ -1000	55
Гіпсова штукатурка [8]		
0,47	ρ -1009	1200

На рисунку 3 подано графіки температурних залежностей теплофізичних характеристик кладки з керамічної цегли.

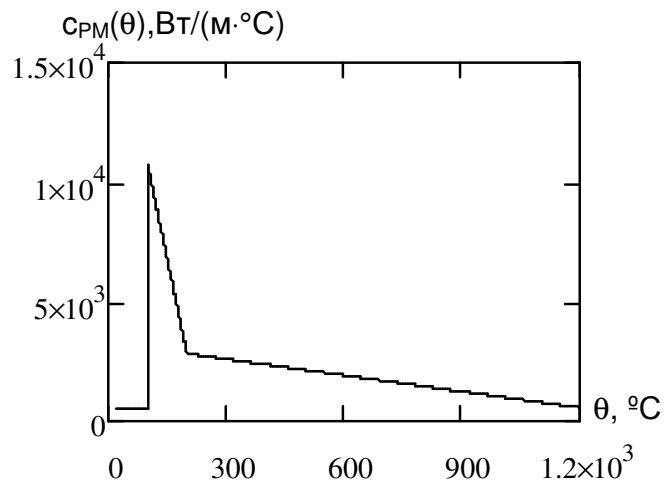
Для розрахунку необхідно задати початкову температуру розрахункової області та параметри граничних умов (табл. 2).

Для проведення розрахунку були побудовані сіткові моделі зовнішньої стіни. З метою зменшення обсягу розрахунків розглянуто малий фрагмент стіни, оскільки напружено-деформований стан уздовж стіни майже не змінюється. Робота фрагмента у цілій стіні враховується за допомогою встановлення граничних умов симетрії по її боках. Такі умови забезпечуються встановленням відповідних односторонніх механічних в’язів. Накладання температур у вузлові точки відбувається шляхом лінійної інтерполяції.

а)



б)



**Рисунок 3 – Теплофізичні характеристики кладки з керамічної цегли:
а – коефіцієнт теплопровідності; б – питома теплоємність**

**Таблиця 2 – Параметри граничних умов для стіни
за ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012 [9]**

Параметр	Позначення	Од. вим.	Величина
Обігрівний бік стіни			
Конвективна складова коефіцієнта теплообміну	α_c	Вт/(м ² °С)	25
Ступінь чорноти	ϵ		0,8
Необігрівний бік стіни			
Коефіцієнт теплообміну	α	Вт/(м ² °С)	9

На рисунку 4 показані розподіли температури по перерізу стіни у різні моменти часу температурного впливу пожежі.

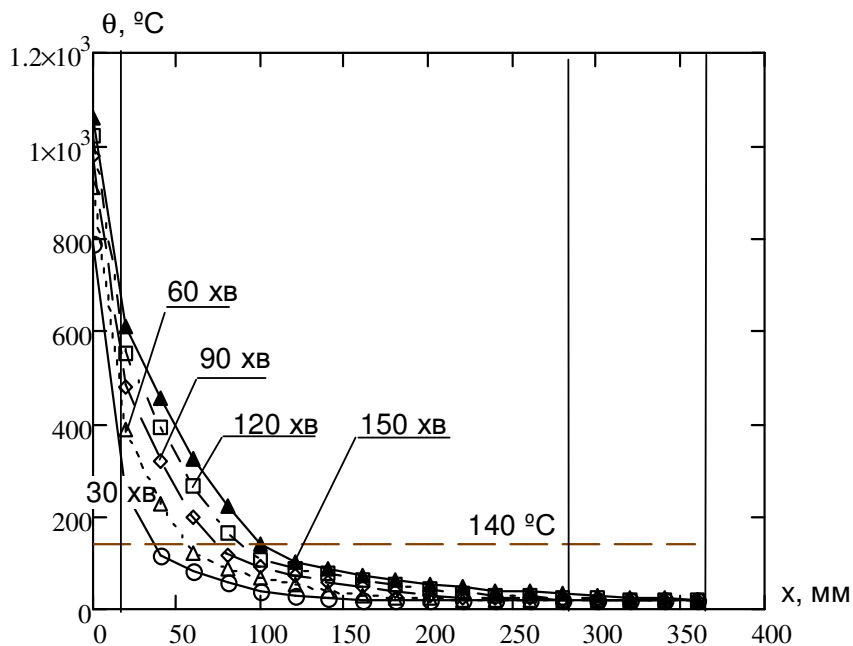


Рисунок 4 – Температурні розподіли по перерізу зовнішньої стіни у різні моменти часу розвитку пожежі

Втрата цілісності стіни настає у той час, коли утворюються наскрізні отвори чи тріщини, через які можуть поширюватися продукти горіння, полум'я і т.п. Ознаки втрати цілісності дуже важко контролювати за розрахунковими даними, тому для контролю цілісності розрахунковим шляхом застосовуються непрямі ознаки. До таких ознак належить можливість виникнення крихкого руйнування. Вважається, що за відсутності ризику крихкого руйнування для елементів залізобетонних конструкцій настання втрати цілісності відбувається одночасно з настанням стану втрати несучої здатності.

У випадку стін із керамічної цегли чинними стандартами не регламентується розрахунок цілісності. Такий стан зумовлений тим, що випалена керамічна цегла ефективно опирається розтріскуванню під тепловою дією пожежі. Найбільш небезпечним місцем у кам'яній кладці з керамічної цегли є шви з будівельного розчину. Умова зберігання несучої здатності полягає в зберіганні цілісності швів. Оскільки стіна не є навантаженою, це означає, що втрати цілісності та несучої здатності протягом відповідного часу не відбувається.

Аналізуючи дані, подані на рисунку 4, можна помітити, що температура на границі стіни та утеплювального покриття протягом контрольного часу 150 хв не досягає значення $140 ^\circ\text{C}$. Це дає змогу стверджувати, що клас вогнестійкості зовнішньої стіни є не меншим за EI 150, зовнішня стіна відповідає вимогам норм до протипожежних стін I типу.

Для забезпечення відповідного класу вогнестійкості зовнішньої стіни та елементів її опорного вузла проектувати вогнезахисні системи непотрібно.

Висновки:

1. У результаті проведеної роботи розроблено метод розрахункового оцінювання вогнестійкості кам'яних ненесучих стін.
2. Сформульовано вимоги до комплексу вихідних даних для проведення розрахунку за запропонованим методом.
3. Сформульовано вимоги до побудови розрахункових схем та сіткових моделей кам'яних ненесучих стін для виконання розрахунку за запропонованим методом.

4. Визначено критерії для оцінювання вогнестійкості кам'яних стін за набором розрахункових даних при ідентифікації настання граничних станів втрати теплоізолювальної здатності, а також цілісності.

5. На основі отриманих результатів оцінено клас вогнестійкості несучої стіни із цегли. Клас вогнестійкості зовнішньої стіни є не меншим за EI 150, зовнішня стіна відповідає вимогам норм до протипожежних стін I типу.

Література

1. Жуков В. В. Взрывообразное разрушение бетона / В. В. Жуков, В. Ф. Гуляева, А. Н. Сорокин // *Огнестойкость строительных конструкций*. – К., 1976. – Вып. 4. – С. 42 – 57.
2. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. СТО 36554501-006-2006. – [Введен в действие 1996-01-01]. – М.: Стройиздат, 2006. – 77 с. – (Стандарт организации).
3. Бартелеми Б. Огнестойкость строительных конструкций / Б. Бартелеми, Ж. Крюппа. – М.: Стройиздат, 1985. – 216 с.
4. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций / А. И. Яковлев. – М.: Стройиздат, 1988. – 144 с.
5. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (ENV 13381-4:2002): ДСТУ Б В.1.1-17:2007. – [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Укрархбудінформ, 2007. – 62 с. – (Державний стандарт України).
6. Руководство для проектировщиков к EN 1991-1-2:2002, EN 1992-1-2:2002, EN 1993-1-2:2002 и EN 1994-1-2:2002: Справочник по проектированию противопожарной защиты стальных, сталежелезобетонных и бетонных конструкций зданий и сооружений в соответствии с Еврокодами / Т. Леннон, Д. Б. Мур, Ю. К. Ван, К. Г. Бейли; ред. Х. Гульванесян; МОН РФ ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»; науч. ред. пер. В. М. Ройтман, И. А. Кириллов, А. И. Плотников; 2-е изд. – М.: МГСУ, 2013. – 196 с.
7. Промышленные здания. Каталог систем и материалов: пособие для проектировщиков при использовании изоляционных систем «ROCKWOOL». – М., 2010. – 42 с.
8. Франчук А. У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов / А. У. Франчук. – М.: НИИ строительной физики, 1969. – 142 с.
9. Єврокод 6. Проектування кам'яних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість: ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:2012. – [Чинний від 2014-01-07]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 54 с. – (Державний стандарт України).

© Поздеев С.В., Отрош Ю.А., Демешок В.В., Кропива М.О.
Надійшла до редакції 29.05.2015