

А.П. Половко канд. техн. наук, Ю.Є. Шелюх, канд. техн. наук, Р.О. Стахів, О.П. Борис (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ЇХ ВПЛИВ НА РОЗВИТОК ПОЖЕЖІ

В статті представлено фізико-механічні властивості кам'яної кладки за дії високих температур. Проведено аналіз методів проектування кам'яних конструкцій, а також розрахунки значення міцності та деформаційних властивостей матеріалу, значення теплових властивостей матеріалу, значення вертикального навантаження, прикладеного до стіни або колони. У розрахунковому методі визначено несучу здатність кам'яної кладки для встановлених періодів вогневого впливу з використанням навантаження за нормальної температури.

Ключові слова: вогнестійкість, міцність, деформації, несуча здатність, цілісність, теплоізолювальна здатність.

Постановка проблеми. Значна кількість матеріалів для виготовлення кам'яних конструкцій потребує розробки методів з оцінки їх вогнестійкості в умовах можливої пожежі. Крім того аналіз наслідків пожеж показує, що запроектовані конструкції часто не відповідали вимогам щодо вогнестійкості. У зв'язку з відсутністю будівельних норм з методиками із визначення вогнестійкості, проектні організації не мають можливості оцінювати та прогнозувати вогнестійкість кам'яних конструкцій, що приводить до матеріальних та соціальних втрат у випадку можливої пожежі.

Міцність та деформаційні властивості кам'яної кладки за підвищених температур можуть бути визначені із співвідношення “напруження-деформації”, отриманого за результатами випробувань, або згідно з розрахунковими даними. Густина кам'яної кладки визначена стандартом. Густина стінових каменів та будівельного розчину має бути зазначена виробником.

Аналіз публікацій. Механічний опір у випадку пожежі є обов'язковою вимогою, конструкції мають бути запроектовані та побудовані таким чином, щоб зберігати свою несучу здатність протягом відповідного вогневого впливу [1].

Якщо розподіл на відсіки є обов'язковим, конструкції, що створюють межі протипожежних відсіків, включно зі з'єднаннями, мають бути запроектовані та побудовані таким чином, щоб зберігати свою огорожувальну функцію протягом відповідного вогневого впливу [2], тобто:

- щоб запобігти проникненню полум'я та гарячих газів крізь конструкцію та появу вогню на стороні, що не зазнає вогневого впливу, не повинна відбутися втрата цілісності;
- щоб обмежити ріст температури до встановленого рівня на стороні, що не зазнає вогневого впливу, не повинна відбутися втрата теплоізолювальної здатності;
- забезпечити опір механічному удару (М), якщо це необхідно;
- обмеження теплового випромінювання зі сторони, що не зазнає вогневого впливу, якщо це необхідно.

Критерій деформації має бути застосований, якщо засоби захисту або критерії розрахунку огорожувальних конструкцій вимагають врахування деформації несучої конструкції. Врахування деформації несучої конструкції не є необхідним в такій ситуації:

- огорожувальні конструкції мають відповідати вимогам відповідно до номінального вогневого впливу.

Згідно зі стандартним температурним режимом [3], конструкції мають відповідати критеріям R (несуча здатність), E (цілісність), I (теплоізолювальна здатність).

Будівельні конструкції залежно від граничних станів вогнестійкості і величини межі вогнестійкості поділяються на класи вогнестійкості.

Критерій (E) вважається забезпеченим, якщо є виконання однієї з таких умов:

- спалахування або тління зі свіченням ватного тампона, піднесеного до не обігріваної поверхні зразка в місці тріщин на відстань від 20 до 30 мм на час від 10 до 30 с;
- виникнення тріщини, через яку можна вільно (без додаткових зусиль) ввести в піч шуп діаметром 6 мм і перемістити його вздовж цієї тріщини на відстань не менше 150 мм;
- виникнення тріщини (або отвору), через яку можна вільно ввести в піч шуп діаметром 25 мм;
- полум'я на необігріваній поверхні зразка спостерігається упродовж часу не менше 10с.

Виклад матеріалів досліджень. Для забезпечення вимоги стійкості при ударі (критерій М), вертикальна огорожуюча конструкція, несуча або ненесуча, повинна сприймати горизонтальну зосереджену силу.

Для температурного режиму зовнішньої пожежі необхідно використати ті ж критерії, що наведені вище, однак посилення на нього слід позначати літерами “ef”.

Розрахункові значення міцності та деформаційних властивостей матеріалу, $X_{d,fi}$, визначаються за формулою [4]:

$$X_{d,fi} = k_{\theta} X_k / \gamma_{M,fi}, \quad (1)$$

де X_k – характеристичне значення міцності або деформаційної властивості матеріалу (наприклад, f_k для проектування за нормальної температури згідно з довідниковою літературою);

K_{θ} – коефіцієнт зниження міцності або деформаційної властивості ($X_{k,\theta} / X_k$), залежно від температури матеріалу;

$\gamma_{M,fi}$ – коефіцієнт надійності для відповідної властивості матеріалу під час пожежі.

Розрахункові значення теплових властивостей матеріалів $X_{d,fi}$ визначені, як наведено нижче: якщо підвищення значення властивостей сприятливе для безпеки:

$$X_{d,fi} = X_{k,\theta} / \gamma_{M,fi}, \quad (2)$$

або:

якщо підвищення значення властивостей несприятливе для безпеки:

$$X_{d,fi} = \gamma_{M,fi} X_{k,\theta}, \quad (3)$$

де $X_{k,\theta}$ – значення властивості матеріалу при розрахунку вогнестійкості, в цілому залежне від температури матеріалу.

Для теплових властивостей кам'яної кладки рекомендоване значення коефіцієнта надійності у разі пожежі $\gamma_{M,fi} = 1,0$. Для механічних властивостей кам'яної кладки рекомендується значення коефіцієнта надійності у разі пожежі $\gamma_{M,fi} = 1,0$ [4].

Модель конструктивної системи для проектування на вплив пожежі має відобразити очікувану поведінку конструкції під час пожежі в умовах вогневого впливу.

Розрахунок вогнестійкості конструкції під час пожежі може бути проведено з використанням одного з таких способів:

- випробуванням конструкції;
- табличні дані;
- аналіз (розрахунок) конструкції;
- аналіз (розрахунок) частини конструктивної системи;
- загальний аналіз (розрахунок) конструктивної системи.

Вогнестійкість має бути перевірена для відповідної тривалості вогневого впливу

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,t,d}, \quad (4)$$

де $E_{fi,d}$ – розрахунковий ефект впливів під час пожежі, що враховує ефекти температурного розширення та деформації;

$R_{fi,t,d}$ – відповідний розрахунковий опір під час пожежі.

Табличні дані, спрощені або уточнені розрахункові моделі придатні для перевірки конструкцій під час пожежі.

Як альтернатива розрахунку, визначення вогнестійкості мають базуватися на результатах вогневих випробувань або на поєднанні результатів вогневих випробувань з розрахунками.

Аналіз конструкції є достатнім для перевірки вимоги стандартної вогнестійкості.

Як спрощення, ефект впливів $E_{d,fi}$ має визначатися з розрахунку конструкції за нормальної температури, а саме:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d, \quad (5)$$

де E_d – зусилля від впливів при проектуванні за нормальної температури для основної комбінації впливів;

η_{fi} – коефіцієнт зменшення для розрахункового навантаження під час пожежі. Рекомендоване значення $\eta_{fi}=0,65$.

У спрощеному розрахунковому методі несуча здатність визначається граничними умовами залишкового поперечного перерізу кам'яної кладки для встановлених періодів вогневого впливу з використанням навантаження за нормальної температури.

Спрощений метод підходить для стін та колон з кам'яної кладки при стандартному температурному режимі.

У спрощених розрахункових моделях відношення між тепловим видовженням та температурою кам'яної кладки може розглядатися як стала постійна величина.

Для граничного стану під час пожежі, розрахункове значення вертикального навантаження, прикладеного до стіни або колони, має бути меншим або рівним розрахунковому значенню вертикального опору стіни або колони.

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,fi(\theta_i)} \quad (6)$$

де N_{Ed} – розрахункове значення вертикального навантаження;

$N_{Rd,fi(\theta_i)}$ – розрахункове значення опору під час пожежі.

Уточнені методи розрахунку повинні базуватися на основній фізичній поведінці, що зводиться до вірного припущення очікуваної поведінки частини конструктивної системи під час пожежі.

Уточнені методи розрахунку повинні містити розрахункові моделі для визначення:

- розвитку та розподілу температури в межах елементів конструктивної системи (модель температурної реакції);
- механічної роботи конструктивної системи або будь-якої її частини (модель механічної реакції) [5].

Уточнені методи розрахунку можуть використовуватися разом з будь-якою кривою нагрівання за умови, що властивості матеріалів відомі для відповідної теплової стадії та припустимої швидкості прогріву.

Уточнені методи розрахунку температурної реакції мають базуватися на загальновищезгаданих принципах та припущеннях теорії температурного розподілу.

Впливом вологості та переміщенням вологи в кам'яній кладці зазвичай можна знехтувати.

Ефект нерівномірного теплового впливу та передачі тепла на сусідні конструкції будівлі можна враховувати, якщо доцільно.

Якщо необхідно можна враховувати ефект нерівномірного теплового впливу та передачі тепла на сусідні конструкції будівлі

Необхідно розглянути ефекти температурних деформацій та напружень, викликаних ростом (зростанням, підвищенням) температури.

При аналізі окремих конструкцій або підсистем граничні умови мають бути перевірені та розроблені, щоб запобігти руйнуванню в результаті руйнування відповідної опори для конструкцій.

Необхідно перевірити

$$E_{fi,d}(t) \leq R_{fi,t,d}, \quad (7)$$

де $E_{fi,d}$ – розрахунковий ефект впливів під час пожежі, визначений з урахуванням ефектів теплових розширень та деформацій;
 $R_{fi,t,d}$ – відповідна проектна стійкість у випадку пожежі;
 t – проектною тривалістю впливу пожежі.

На основі аналізу існуючих методик визначення межі вогнестійкості проведено теоретичні дослідження зміни температурного поля в плоских багатошарових однорідних та кусково-неоднорідних огорожувальних конструкціях для випадку нестационарного та стаціонарного теплового режиму.

Розглянуто нестационарну задачу визначення температурного поля в двошаровій плоскій стінці за умови ідеального теплового контакту між шарами.

Рівняння теплопровідності в кожному із шарів такі:

$$\frac{\partial^2 t_1(x, \tau)}{\partial x^2} = \frac{1}{a_1} \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau}; \quad (0 < x < l_1; \tau > 0) \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 t_2(x, \tau)}{\partial x^2} = \frac{1}{a_2} \frac{\partial t_2(x, \tau)}{\partial \tau}; \quad (l_1 < x < l_2; \tau > 0) \quad (9)$$

де l_1 – товщина першого шару плоскої стінки;
 $l_2 - l_1$ – товщина другого шару плоскої стінки;
 x – координата;
 τ – час;
 t – температура;
 a_1 – коефіцієнт теплопровідності першого шару;
 a_2 – коефіцієнт теплопровідності другого шару; $[bi] = \frac{M^2}{c}$, $(i=1,2)$.

У початковий момент часу пожежі розподіл температурного поля по товщині стінки відомий:

$$t(x, 0) = f(x); \quad (0 \leq x \leq l_2) \quad (10)$$

Прийнято, що на одній із зовнішніх поверхонь двошарової стінки задана температура:

$$t_1(0, \tau) = t_{mo}(\tau) = b_0 + b_1 \tau, \quad (11)$$

а на другій зовнішній поверхні існує конвективний теплообмін:

$$\lambda_2 \frac{\partial t_2(l_2, \tau)}{\partial x} = \alpha_2 (t_{p2} - t_2(l_2, \tau)) \quad (12)$$

де λ_2 – коефіцієнт теплопровідності другого шару;
 α_2 – коефіцієнт теплообміну між поверхнею стінки та речовиною, яка омиває стінку;
 t_{p2} – температура рідини (газу) за межами теплового приповерхневого шару.

Згідно з перетвореннями Лапласа, диференціальні рівняння і сталі інтегрування визначені виходячи із умови ідеального теплового контакту та граничних умов.

Аналізуючи характеристичне рівняння, можемо стверджувати, що воно має нульові та уявні корені.

Здійснюючи перехід до оригіналу, отримаємо, що розв'язок задачі теплопровідності, який описує розподіл температурного поля в двошаровій плоскій конструкції при ідеальному тепловому контакті між шарами, визначається за співвідношенням:

$$t_j(x, \tau) = a_j + b_j(x) \tau + \sum_{i=1}^{\infty} d_{ij}(x) e^{-\gamma_i^2 \tau}, \quad (13)$$

де $a_j, b_j, d_{ij}(x)$ – відомі функції;

$j=1,2;$

γ_i – корені характеристичного рівняння

$$\Delta(i\gamma) = \sin \frac{\gamma l_1}{\sqrt{a_1}} \cos \frac{\gamma(l_2-l_1)}{\sqrt{a_2}} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \sqrt{\frac{a_2}{a_1}} \cos \frac{\gamma l_1}{\sqrt{a_1}} \sin \frac{\gamma(l_2-l_1)}{\sqrt{a_2}} - \frac{\lambda_2}{\alpha_2} \frac{\gamma}{\sqrt{a_2}} \sin \frac{\gamma l_1}{\sqrt{a_1}} \sin \frac{\gamma(l_2-l_1)}{\sqrt{a_2}} + \frac{\lambda_1}{\alpha_2} \frac{\gamma}{\sqrt{a_1}} \cos \frac{\gamma l_1}{\sqrt{a_1}} \cos \frac{\gamma(l_2-l_1)}{\sqrt{a_2}}; \quad (14)$$

При розрахунку несучих конструкцій має бути визначено особливість (характер) їх руйнування під час пожежі, властивості матеріалів, які залежать від температур, включаючи стійкість, а також ефект температурного напруження та деформації (при непрямому впливі вогню).

Висновки. За результатами проведеного аналізу можна відзначити:

- у спрощеному розрахунковому методі несуча здатність визначається граничними умовами залишкового поперечного перерізу кам'яної кладки для встановлених періодів вогневого впливу з використанням навантаження за нормальної температури. У спрощених розрахункових моделях відношення між температурною деформацією та температурою кам'яної кладки може розглядатися як стала постійна величина.
- уточнені методи розрахунку кам'яних конструкцій повинні містити розрахункові моделі для визначення:
 - розвитку та розподілу температури в межах елементів конструктивної системи (модель температурної реакції);
 - механічної роботи конструктивної системи або будь-якої її частини (модель механічної реакції). Уточнені методи розрахунку можуть використатися разом з будь-якою кривою нагрівання за умови, що властивості матеріалів відомі для відповідної теплової стадії та припустимої швидкості прогріву.

Список літератури:

1. Пушкаренко А.С., Васильченко О.В. Будівельні матеріали та їх поведінка в умовах високих температур. Х. – АПБУ, 2001. – 166с.
2. Кулешов М.М., Уваров Ю.В., Олійник О.Л., Пустомельник В.П., Єгурнов О.І. Пожежна безпека будівель та споруд. – Харків, 2004. – 271с.
3. ДСТУ Б.В.1.1-4-98* Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість.
4. ДБН В.1.1-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи.
5. Ильин Н.А. Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции. – М. Стройиздат, 1979. – 128 с.
6. Половко А.П. Вогнестійкість енергоефективних стінових огорожуючих конструкцій житлових та громадських будівель. Автореферат канд. Дис. – Львів, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності МНС України, 2009. – 11,12с.

А.П. Половко, канд. техн. наук, Ю.Е. Шелюх, канд. техн. наук, Р.А. Стахив, О.П. Борыс (Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ПОЖАРА

В статье представлены физико-механические свойства каменной кладки за воздействия высоких температур. Проведен анализ методов проектирования каменных конструкций, а также расчеты значения прочностных и деформационных свойств материала, значение тепловых свойств материала, значение вертикальной нагрузки, приложенной к стене или колон-

не. В расчетном методе определено несущую способность каменной кладки для установленных периодов огневого воздействия с использованием нагрузки при температуре.

Ключевые слова: огнестойкость, прочность, деформации, несущая способность, целостность, теплоизолирующая способность.

A.P. Polovko, Candidate of Sciences (Engineering), Yu.Ye. Shelyukh, Candidate of Sciences (Engineering), R.O. Stakhiv, O.P. Borys (Lviv State University of Vital Activity Safety)

ANALYSIS OF STONE STRUCTURES DESIGNING METHODS AND THEIR INFLUENCE ON THE FIRE DEVELOPMENT

The article deals with physical and mechanical properties of masonry at high temperatures. The analysis of stone structures designing and fire resistance, deformation, thermal properties of the material calculation methods and the values of vertical load applied to walls or columns is held. In the calculation method the masonry bearing capacity for set periods of fire effect using load at normal temperature is determined.

Key words: fire resistance, strength, strain, carrying capacity, integrity, heat-insulating ability

