

УДК 614.84

П.Г. Круковський, д.т.н., проф.,
Інститут технічної теплофізики НАН України, С.В. Новак, к.т.н., с.н.с.,
Український науково-дослідний інститут цивільного захисту ДСНС України

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Розглянуто методи оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій, які чинні в Євросоюзі та інших країнах. Наведено основні положення експериментальних та розрахункових методів, а також їх недоліки. Показано, що експериментально-розрахункові методи, які засновано на проведенні випробувань обмеженої кількості зразків конструкції на вогнестійкість та визначенні за отриманими експериментальними даними (шляхом розв'язання обернених задач) властивостей матеріалів, які застосовуються в конструкції, дозволяють з достатньою точністю проводити оцінку вогнестійкості як окремої конструкції, так і конструктивної системи при розгляді сценаріїв реальної та умовної пожежі.

Ключові слова: метод оцінки, вогнестійкість, будівельна конструкція, стандарт, розрахунок, випробування, обернена задача.

Існуючі методи оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій в Європейському союзі базуються на положеннях Регламенту ЄС (який діє на заміну Директиви 89/106 ЄЕС стосовно будівельних виробів) та Тлумачного документа «Основна вимога № 2. Пожежна безпека у будівлях» [1 - 3]. На національному рівні чинні відповідні нормативні документи. Зокрема, в Україні діє «Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд» [4] та ДБН В.1.2-7-2008 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека [5]. В цих документах визначено основні підходи і принципи, які мають бути враховані під час розроблення методів оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій. Для експериментальних методів (випробувань) це вимоги, які забезпечують однакові умови випробувань і спрямовані на врахування реальних умов експлуатації і поведінки виробів під час пожежі. Вони стосуються нормованого теплового впливу на зразки будівельних конструкцій та їх розташування у випробувальній печі, граничних станів та класифікації будівельних конструкцій з вогнестійкості тощо. Зазначені вимоги враховано у відповідних європейських стандартах EN на методи випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій конкретних типів, розроблених Технічним комітетом зі стандартизації CEN/TC 127 «Пожежна безпека у будівлях». При цьому всі ці стандарти базуються на положеннях основоположного стандарту EN 1363-1 [6] стосовно температурного режиму у випробувальній печі, умов навантаження зразків та інших вимог, які забезпечують отримання відтворюваних результатів випробувань з визначення межі вогнестійкості будівельних конструкцій. Міжнародною організацією зі стандартизації розроблено відповідний міжнародний стандарт ISO 834-1 [7], який за своїми положеннями не відрізняється від зазначеного європейського стандарту. На національному рівні, в деяких країнах, є чинними відповідні державні стандарти. Так, в Україні випробування на вогнестійкість стін, перекриттів, балок, колон та інших будівельних конструкцій проводять за стандартами [8 - 12], а загальні вимоги до цих методів визначено в стандарті України ДСТУ Б В.1.1-4-98* Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги [13]. Для експериментальних методів невизначеним залишається питання перенесення результатів випробувань на конструкції реальних розмірів, зокрема, для балок, колон, стін, перекриттів. Крім того за результатами випробувань проводиться оцінка вогнестійкості окремої будівельної конструкції в умовах впливу номінального температурного режиму і не можливо оцінити вогнестійкість конструктивної системи або її частини.

Стосовно розрахункових методів, то в Тлумачному документі «Основна вимога № 2. Пожежна безпека у будівлях» [3] та EN 1991-1-2:2002 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі [14] наведено, що для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій застосовують такі підходи:

- а) розгляд сценаріїв реальної пожежі;
- б) розгляд сценаріїв умовної пожежі;
- в) розрахунок вогнестійкості.

У разі розгляду сценаріїв реальної пожежі для розрахунку теплового впливу пожежі на будівельному об'єкті (наприклад, у приміщенні, у групі приміщень або на частинах будівельного об'єкта) необхідно враховувати:

- пожежне навантаження (тип, кількість матеріалів і швидкість їх горіння);
- умови надходження повітря до місця пожежі;
- форму та розмір несучої та /або огорожувальної конструкції;
- теплофізичні властивості несучої та /або огорожувальної конструкції.

При цьому застосовують спрощені або уточнені моделі пожежі. Спрощені моделі базуються на визначених фізичних параметрах з обмеженою сферою застосування. При їх використанні температура газового середовища у протипожежному відсіку має бути визначена на основі фізичних параметрів, що враховують, принаймні, густину теплового потоку та умови вентиляції. Уточнені моделі пожежі мають враховувати властивості газу, масообмін та теплообмін. Відповідно до положень Єврокоду 1 [14] для розрахунків слід використовувати одну з таких моделей:

- однозонну модель, що передбачає рівномірний розподіл температури у приміщенні (протипожежному відсіку) залежно від часу;
- двозонну модель, що встановлює верхній рівень з відповідними товщиною та рівномірною температурою, які залежать від часу, та нижній рівень з рівномірною нижчою температурою, що залежить від часу;
- обчислювальну модель термо- та аеродинаміки потоку (польова модель), що встановлює зміну температури у приміщенні (протипожежному відсіку) від часу.

Однозонна (інтегральна) модель є найбільш спрощеною серед існуючих моделей пожежі. Суть інтегрального підходу полягає в тому, що стан газового середовища оцінюють через опосередковані у всьому об'ємі приміщення термодинамічні параметри. Відповідно, температура огорожувальних конструкцій та інші подібні параметри оцінюють як усереднені по поверхні. Однак, якщо газове середовище характеризується значною неоднорідністю, то інформативність інтегрального методу може виявитися недостатньою для вирішення практичних задач. Подібна ситуація звичайно виникає на початковій стадії пожежі й при локальних пожежах, коли в приміщенні спостерігаються струменеві течії з явно вираженими границями, і, крім того, існує досить чітка стратифікація (розшарування) середовища. Таким чином, сфера застосування інтегрального методу, у якому передбачені моделлю параметри пожежі можна інтерпретувати як реальні, практично обмежується об'ємними пожежами, коли через інтенсивне перемішування газового середовища локальні значення параметрів у будь-якій точці близькі до середньооб'ємних. Крім того, у ряді випадків навіть для об'ємної пожежі розподілом локальних значень параметрів знехотати не можна.

Більш детальний розвиток пожежі можна описати за допомогою двозонної моделі, заснованої на припущенні про формування в приміщенні двох шарів: верхнього шару продуктів горіння (задимлена зона) і нижнього шару незбуреного повітря (вільна зона). Таким чином, стан газового середовища у двозонній моделі оцінюється через опосередковані термодинамічні параметри не однієї, а двох зон, при цьому міжзонну границю вважають такою, що рухається. Однак при створенні такої моделі зроблено значну кількість спрощень, заснованих на апіорних припущеннях про структуру потоку, і її не слід застосовувати у разі відсутності інформації про цю структуру.

Польова модель є найбільш могутнішим й універсальним інструментом, ніж зональні; і вона ґрунтується на зовсім іншому принципі. Замість однієї або декількох великих зон в польовій моделі виділяється велика кількість (звичайно тисячі або десятки тисяч) маленьких

контрольних об'ємів, ніяк не пов'язаних з передбачуваною структурою потоку. Для кожного з цих об'ємів за допомогою чисельних методів розв'язують систему рівнянь у частинних похідних, що виражає принципи локального збереження маси, імпульсу, енергії і мас компонентів. Таким чином, динаміка розвитку процесів визначається не апріорними припущеннями, а винятково результатами розрахунку. Польовий метод є найбільш універсальним з існуючих детерміністичних методів, оскільки він заснований на розв'язанні рівнянь у частинних похідних, що виражають фундаментальні закони збереження в кожній точці розрахункової області.

У разі розгляду сценаріїв умовної пожежі, стандартами, зокрема [13, 14], визначено такі номінальні температурні режими (залежність температури газового середовища в приміщенні від часу), як стандартний температурний режим, температурний режим зовнішньої пожежі, вуглеводневий температурний режим.

Розрахунок вогнестійкості будівельних конструкцій містить етапи визначення підвищення температури в будівельних конструкціях (теплотехнічна задача) та визначення їх відповідних деформацій (статична задача).

При цьому, залежно від вибору температурного режиму, використовують такі положення:

- для номінального температурного режиму теплотехнічний розрахунок будівельних конструкцій виконується для визначеного проміжку часу, не враховуючи фазу затухання;
- для моделі реальної пожежі теплотехнічний розрахунок будівельних конструкцій виконується для повної тривалості пожежі, враховуючи фазу затухання;
- статичний розрахунок виконується для такої ж тривалості, що використана для теплотехнічного розрахунку.

Залежно від об'єкту, який піддано аналізу (окрема конструкція, чи частина конструктивної системи, чи конструктивна система), і обраного сценарію пожежі, для розрахунку вогнестійкості застосовують уточнений метод, спрощений метод або табличний метод [14]. Зокрема, для розрахунку вогнестійкості конструктивної системи слід застосовувати тільки уточнений метод, а для окремої конструкції, за умови обрання сценарію умовної пожежі, можна використовувати табличний метод. Детальний опис цих методів наведено у шістьох європейських стандартах (Єврокодах 2 - 6, 9) [15 - 20], які встановлюють загальні положення розрахунку на вогнестійкість конструкцій із залізобетону, сталі, сталезалізобетону, деревини, каменю та алюмінію. В деяких країнах, в тому числі в Україні, розроблено відповідні національні стандарти, гармонізовані із зазначеними єврокодами.

При застосуванні розглянутих вище розрахункових методів відкритим залишається питання щодо точності результатів оцінки вогнестійкості, яка залежить від багатьох чинників, зокрема від похибки в завданні теплофізичних, міцнісних та деформаційних властивостей матеріалів за підвищених температур.

На теперішній час для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій впроваджуються експериментально-розрахункові методи, які засновано на проведенні випробувань зразків конструкцій на вогнестійкість, визначенні (за отриманими під час зазначених випробувань експериментальними даними) властивостей матеріалів, які застосовуються в конструкції, і розрахунку вогнестійкості [21]. Ці методи дозволяють з достатньою точністю проводити оцінку вогнестійкості як окремої конструкції, так і конструктивної системи в умовах сценаріїв реальної та умовної пожежі. Для цих експериментально-розрахункових методів необхідно розробляти відповідні методичні забезпечення при їх застосуванні для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій різного призначення. Зокрема, в цьому методичному забезпеченні слід визначити схему вимірювання температур та деформацій (кількість датчиків та їх розташування), яку необхідно застосовувати під час отримання експериментальних даних, мінімальну кількість зразків для випробувань, метод та параметри ідентифікації властивостей матеріалів тощо. Приклади застосування зазначених експериментально-розрахункових методів для оцінки вогнестійкості будівельних несучих металевих конструкцій та залізобетонних опор тунельних споруд з вогнезахисними покриттями приведено, зокрема, в [22 - 24].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Регламент “ES 305/2011 Європейського Парламенту об Установленні гармонізованих умов для поширення на ринку будівельної продукції і скасуванні Директиви 89/106 ЄЕС.
2. Директива ради ЄС 89/106 ЄЕС від 21 грудня 1988 р. щодо зближення чинних у державах-членах законів, регламентів та адміністративних положень стосовно будівельних виробів.
3. Тлумачний документ до Директиви 89/106 ЄЕС Основна вимога № 2 Пожежна безпека”.
4. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд 1764-00, редакція 20.12.2006 р./Постанова Кабінету Міністрів України від 20.12.2006 № 1764. – ПС “Законодавство” (станом на 26.12.2006 р.).
5. ДБН В.1.2-7-2008 Система забезпечення надійності та безпеки. будівельних об’єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека.
6. EN 1363-1:1999 Fire resistance tests - Part 1: General requirements (Випробування на вогнестійкість. Частина 1: Загальні вимоги).
7. ISO 834-1:2000 Fire resistance tests – Element of building construction –Part 1: General requirements (Випробування на вогнестійкість – Частина 1: Загальні вимоги).
8. ДСТУ Б В.1.1-19:2007 Захист від пожежі. Несучі стіни. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-1:1999, MOD).
9. ДСТУ Б В.1.1-20:2008 Захист від пожежі. Перекриття та покриття. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-2:1999, NEQ).
10. ДСТУ Б В.1.1-13:2007 Захист від пожежі. Балки. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-3:1999, NEQ).
11. ДСТУ Б В.1.1-14:2007 Захист від пожежі. Колони. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-4:1999, NEQ).
12. Новак С. В. Методи випробувань будівельних конструкцій та виробів на вогнестійкість / С. В. Новак, Л. М. Нефедченко, О. О. Абрамов. – К.: Пожінформтехніка, 2010. – 132 с.
13. ДСТУ Б В.1.1-4-98* Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги.
14. EN 1991-1-2:2002 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі.
15. EN 1992-1-2:2004 Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.
16. EN 1993-1-2:2005 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.
17. EN 1994-1-2:2005 Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.
18. EN 1995-1-2:2004 Єврокод 5. Проектування дерев’яних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.
19. EN 1996-1-2:2005 Єврокод 6. Проектування кам’яних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.
20. EN 1999-1-2:2002 Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.
21. Новак С.В. Аналіз сучасних методів визначення характеристики вогнезахисної здатності покриттів та облицювань / С.В. Новак, О.П. Якименко // Пожежна безпека: теорія і практика. – 2011. - № 8. – С. 56-61.
22. Новак С. В. Математическое моделирование процессов теплообмена в огнестойких конструкциях: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.14.05 «Теоретическая теплотехника» / С.В. Новак. – Харьков, 1996. – 24 с.
23. ДСТУ Б В.1.1-17:2007 Захист від пожежі. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (ENV 13381-4:2002, NEQ).
24. Новак С.В. Спосіб визначення вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів та облицювань для залізобетонних перекриттів / С.В. Новак, Л.М. Нефедченко, О.П. Якименко // Науковий вісник УкрНДІПБ. - 2011. – № 1(23). – С. 118–121.