

ХАРАКТЕРИСТИКА МОДЕЛЕЙ РОЗВИТКУ ПОЖЕЖ

© Шналь Т.М., Синенько І.П., Стасюк М.І., 2011

Наведено характеристику моделей розвитку пожеж будівель і споруд. Польові моделі пожежі дають змогу отримати якнайповнішу і найточнішу інформацію про досліджуваний процес порівняно з іншими математичними моделями пожежі. Доцільним є поєднання методів фізичного та математичного моделювання.

Ключові слова: пожежа, модель полів, приміщення, розвиток, вогнестійкість.

In the article the brought description over of models of development of fires of building and building. The field models of fire allow to get the most complete and exact information about the investigated process as compared to other mathematical models of fire. Expedient is combination of methods of physical and mathematical design.

Key words: fire, model of the fields (CFD), an apartment, development, fire-resistance.

Постановка проблеми. Статистика свідчить, що за зростання чисельності населення на 1 % кількість пожеж збільшується приблизно на 5 %, а збитки від них зростають на 10 %. Кожні п'ять секунд на земній кулі виникає пожежа, а в Україні – кожні 10 хвилин. Протягом однієї доби в Україні виникає 120–140 пожеж, у яких гинуть 6–7, отримують травми 3–4 людини, вогнем знищується 32–36 будівель, 4–5 одиниць техніки. Щодобові збитки від пожеж становлять близько 500 тис. грн. [1].

Державною програмою забезпечення пожежної безпеки, що затверджена ухвалою Кабінету Міністрів України від 3.04.95 № 238, передбачено проведення досліджень в області розробки математичних моделей і методів за визначенням і прогнозуванням вірогідності виникнення пожеж, ефективних засобів їх попередження і ліквідації наслідків. Аналіз наслідків пожеж у житлових будівлях дає підставу вважати, що здебільшого вогнестійкість конструкцій не була забезпечена внаслідок недостатньої обґрунтованості прийнятих у розрахунках моделей температурних режимів розвитку пожеж. Вивчення динаміки розвитку пожеж дає змогу створювати відповідні моделі розвитку пожеж, застосування яких дасть змогу точніше оцінювати вогнестійкість будівельних конструкцій та підвищити рівень пожежної безпеки об'єкта загалом.

Моделі розвитку пожеж. Вивчаючи розвиток пожеж у приміщеннях, з'ясовують методи фізичного, математичного та статистичного моделювання. У моделях відтворюються основні характеристики реального досліджуваного об'єкта з метою його вивчення. Фізичне моделювання ґрунтується на теорії подібності під час розгляду фази повного розвитку. На основі аналізу рівнянь зв'язку між змінними, які характеризують процес горіння, визначають умови та критерії подібності між натуральною пожежею та моделлю. Дослідження процесу горіння проводять на моделях, а результати досліджень екстраполюють на реальні об'єкти. Оскільки процес розвитку пожежі неможливо якнайповніше виразити одним рівнянням зв'язку, а система таких рівнянь може давати несумісні критерії подібності, то метод фізичного моделювання сам по собі унеможливує повністю досліджувати цей процес в усій його багатоманітності. Найчастіше він слугує для виявлення ступеня впливу двох, трьох вихідних параметрів на характер розвитку пожежі за фіксованого значення інших і для отримання відповідних емпіричних залежностей.

Математичне моделювання розвитку пожеж ґрунтується на строгішому аналітичному дослідженні процесу горіння залежно від вихідних даних. Для описання процесу на основі

класичних законів механіки та термодинаміки становлять системи диференціальних або інтегральних рівнянь. Разом із системами рівнянь задають вирази, які описують початкові та граничні умови. Так, розв'язання таких систем рівнянь у замкнутому вигляді є неможливим, тому використовують метод кінцевих елементів [2].

Однією з перших аналітичних моделей пожежі була модель, що відображає залежність температури "стандартної" пожежі від часу; використовується вона під час випробування будівельних конструкцій на вогнестійкість. Її, зазвичай, називають стандартною кривою "температура-час" і задають або у вигляді таблиці, або у вигляді емпіричної формули. У літературі її часто записують у вигляді

$$T = 345 \lg(8t + 1) + 20,$$

де T – температура газу в печі, °C; t – тривалість теплового впливу протягом вогневого випробування, хв.

Стандартний температурний режим відображає умовну модель, що використовується для оцінювання поведінки конструкцій під впливом пожежі у фазі повного розвитку. Прийняття цієї кривої температура-час є спрощеним представленням термічної дії пожежі.

Наукові дослідження з динаміки розвитку пожеж показали необхідність стандартизації інших можливих режимів розвитку пожеж. Так, в Україні у 2008 році був прийнятий ДБН В.1.2-7:2008, у якому встановлено багато температурних режимів, відмінних від стандартного, а саме: вуглеводневу криву, режим повільного горіння (тління), криву зовнішньої пожежі.

Вуглеводнева крива використовується для підтвердження вогнестійкості в умовах інтенсивнішого впливу (особливо за вищої швидкості наростання температури), яка визначається залежністю:

$$T = 1080 [1 - 0,325 \exp(-0,167t) - 0,675 \exp(-2,5t)] + 20.$$

Режим повільного горіння (тління) передбачає меншу швидкість підвищення температури впродовж перших 20 хв вогневого впливу та швидкість нагрівання, що відповідає стадії після 21 хв, ніж у стандартному температурному режимі. Залежність температура-час для температурного режиму повільного горіння визначається так:

для проміжку часу випробувань $0 < t \leq 21$:

$$T = 154 t^{0,25} + 20;$$

для проміжку часу випробувань $t > 21$:

$$T = 345 \lg [8(t - 20) + 1] + 20.$$

Для визначення характеристики вогнестійкості за зовнішнього вогневого впливу може бути використаний температурний режим зовнішньої пожежі, який визначається залежністю:

$$T = 660 [1 - 0,687 e^{-0,32t} - 0,313 e^{-3,8t}] + 20.$$

У разі використання в розрахунках стандартного температурного режиму (тобто поданої вище залежності температура-час) відповідно до ДСТУ Б В.1.1-4 слід застосовувати відповідні коефіцієнти конвекційного і радіаційного теплообміну, які відповідають умовам, що мають місце під час цих випробувань. Для інших моделей вогневого впливу (наприклад, вуглеводнева і тліюча пожежі) слід використовувати відповідний коефіцієнт теплообміну [3].

Очевидно, що попередні моделі тільки наближено описують розвиток пожежі, оскільки у них не враховується фаза загасання, яка існує в реальних пожежах. Врахування фази повного розвитку та фази загасання реалізовано в параметричній моделі пожежі, яка встановлена у EN 1991-1-2 (2002) і враховує найважливіші чинники, які мають вплив на розвиток пожежі в частині будівлі. Подібно до номінальної пожежі вона виражається у температурно-часовій залежності, яка містить деякі параметри, що частково відображають характер реальної пожежі. Як правило, у цю модель включають три параметри, а саме: пожежне навантаження в пожежному відсіку, отвори в стінах та/або даху, тип та природу різних стін у відсіку. Ця модель приймає, що температура є однаковою у відсіку й обмежується застосуванням у фазі після розгорання у відсіку з прийнятими розмірами. Модель вимагає таких даних: щільності пожежного навантаження, величини тепловиділення, втрат тепла. Теплові втрати, які відбуваються під час горіння газів, є важливим чинником розвитку температури у відсіку з пожежею. Втрати тепла відбуваються через огороження відсіку внаслідок конвекції, випромінювання, потоку вентиляції [4].

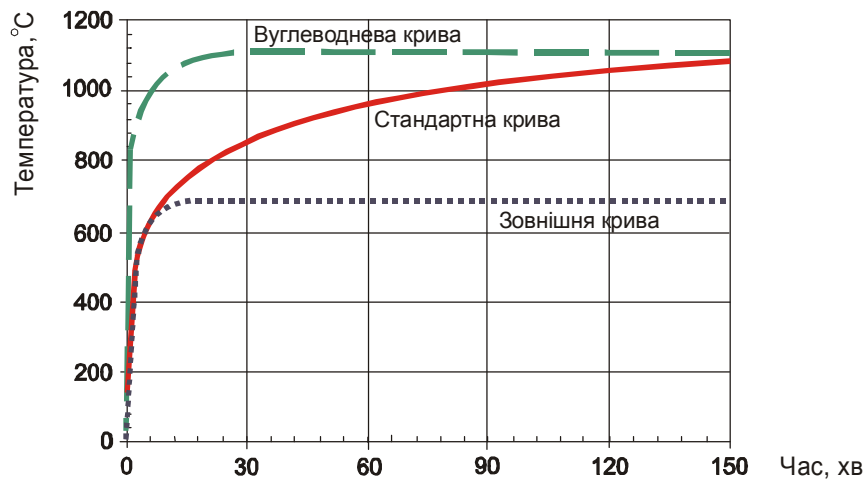


Рис. 1. Номінальні криві температура-час [4]

Під час моделювання пожежі багато вихідних параметрів мають випадковий характер, а саме: пожежне навантаження, його розташування в приміщенні, розташування та перерізи вентиляційних отворів, умови оточуючого середовища (температура, наявність опадів, вітру тощо). Для оцінки характеристик розсіювання максимальної температури пожежі та тривалості використовують метод статистичного моделювання. У такий спосіб отримують можливість оперувати з багатьма випадковими результатами, як із звичайною вибіркою із генеральної сукупності, і визначають екстремальну тривалість та максимальну температуру пожежі та інші її параметри.

У міру деталізації опису термогазодинамічних параметрів пожежі можна виділити три типи детерміністичних моделей: інтегральні, зонні (зональні) і польові.

Інтегральний (однозонова модель) метод є найпростішим серед існуючих методів моделювання пожеж. Однозонова модель використовується для умов після розгорання (рис. 2). У відсіку приймаються однакові температура, щільність, внутрішня енергія та тиск газу. Розрахунок температури враховує розв'язання рівнянь збереження маси та енергії; обмін мас між внутрішнім газом, зовнішнім газом (через отвори) та пожежею (швидкістю піролізу); обмін енергії між пожежею, внутрішнім газом, стінами та отворами.

Баланс енергії газу у пожежному відсіку приймається як

$$\frac{dE_g}{dt} = Q - Q_{out} + Q_{in} - Q_{wall} - Q_{rad}, \text{ Вт},$$

де E_g – внутрішня енергія газу; Q – величина тепловиділення під час пожежі, Вт; $Q_{out} = \dot{m}_{out} c T_f$; $Q_{in} = \dot{m}_{in} c T_{amb}$; $Q_{wall} = (A_t - A_{h,v}) \dot{m}_{net}$ – втрата енергії через огорожувальні поверхні; $Q_{rad} = A_{h,v} \sigma T_f^4$ – втрата енергії випромінюванням через отвори; c – питома теплоємність, Дж/кгК; $\dot{m}_{net} = \dot{m}_{net,c} + \dot{m}_{net,r}$ – тепловий потік нетто, Вт/м²; \dot{m} – швидкість зміни маси газу, кг/с; T – температура, К.

Сфера застосування однозонової моделі обмежується об'ємними пожежами, коли через інтенсивне перемішування газового середовища локальні значення параметрів у будь-якій точці близькі до середньооб'ємних. За межами можливостей інтегрального методу виявляється моделювання пожеж, що не досягли стадії об'ємного горіння, й особливе моделювання процесів, що визначають пожежну небезпеку за локальної пожежі. Інколи і за об'ємної пожежі розподілом локальних значень параметрів нехтувати не можна [5].

Детальніший розвиток пожежі можна описати [6] за допомогою багатозонових моделей (рис. 3), що ґрунтуються на припущенні про формування в приміщенні двох шарів: верхнього шару продуктів горіння (задимлена зона) і нижнього шару (вільна зона). Багатозонова модель розвитку

пожежі переважно застосовується для прогнозу поведінки вогню в окремій кімнаті. Об'єм кімнати ділиться на довільний ряд горизонтальних шарів, у яких температура й інші фізичні властивості передбачаються однорідними. Головні рівняння для кожного лінійного горизонтального шару виходять від збереження маси й енергії. Їх можна комбінувати з методом Рунга-Кутта, щоб визначити температури газу і фракцій різновидів кожного шару для кожного кроку часу.

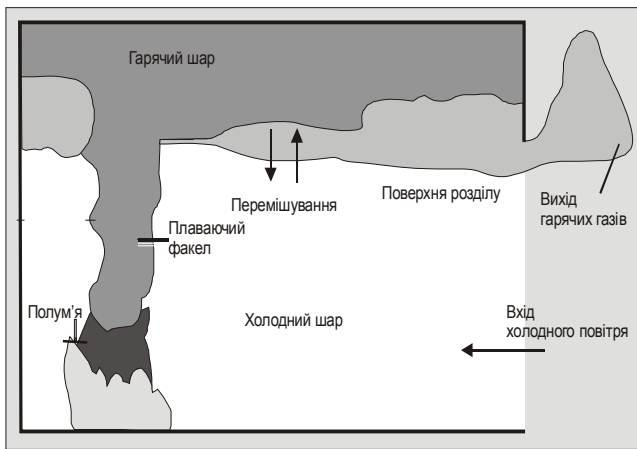


Рис. 2. Схема зоновної моделі розвитку пожежі

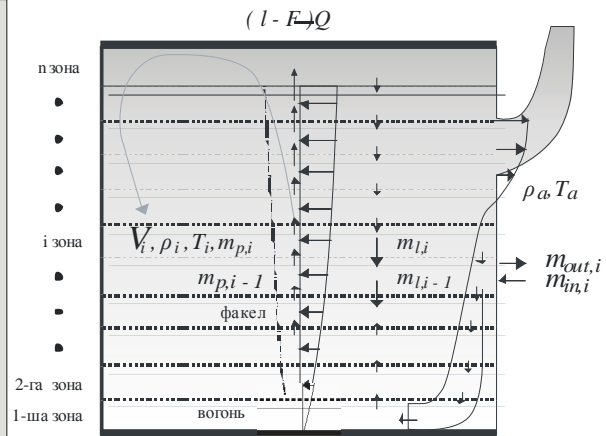


Рис. 3. Схема багатозонної моделі розвитку пожежі

Створюючи зональні моделі, необхідно робити велику кількість спрощень і допущень, які ґрунтуються на структурі потоку. Цю модель не можна застосувати у випадках, коли відсутня інформація про цю структуру з пожежних експериментів. Крім того, часто вимагається детальніша інформація про пожежу, ніж усереднені по шару (зонні) значення параметрів.

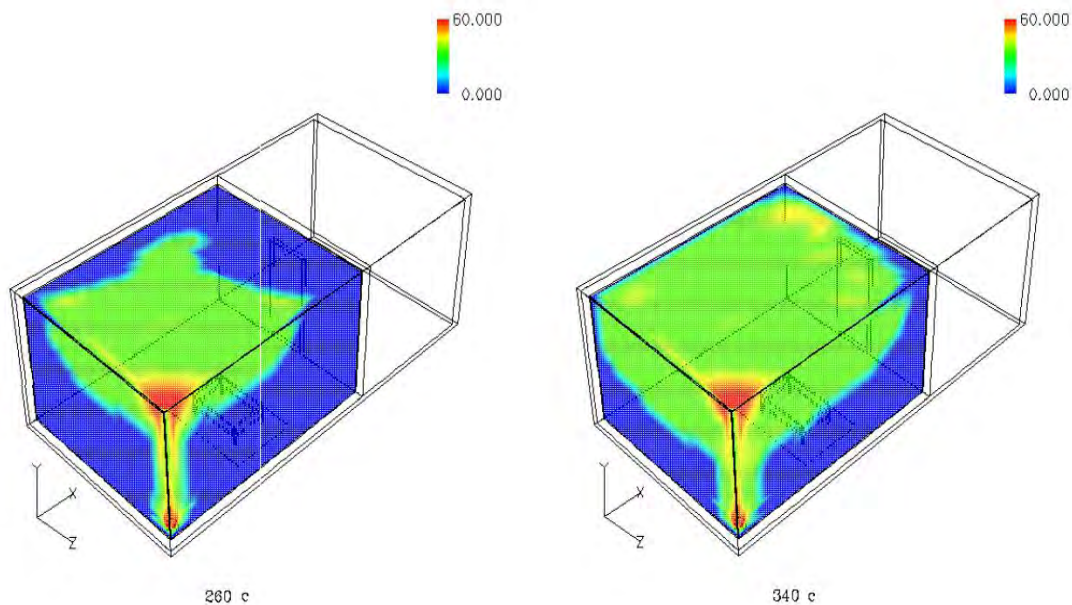


Рис. 4. 3D графічне представлення результатів розрахунку за моделями полів з використанням SOFIE [7]

Моделі полів у зарубіжній літературі CFD (computational fluid dynamics) є потужним і універсальним інструментом, вони ґрунтуються на абсолютно іншому принципі. Замість однієї чи

кількох великих зон у польових моделях виділяється велика кількість (зазвичай, тисячі або десятки тисяч) маленьких контрольних об'ємів, в жоден спосіб не пов'язаних з передбачуваною структурою потоку. Для кожного з цих об'ємів за допомогою численних методів розв'язується система рівнянь з частковими похідними, що виражають принципи локального збереження маси, імпульсу, енергії і мас компонентів. Отже, динаміка розвитку процесів визначається не апріорними припущеннями, а виключно результатами розрахунку [5].

Такі моделі, порівняно з інтегральними і зональними, вимагають значно більших обчислювальних ресурсів. Поширення комп'ютерної техніки дає можливість на практиці реалізувати моделі полів.

Сьогодні створено багато комп'ютерних програм, що реалізують метод полів, які доволі точно описують поля швидкостей, температури і концентрацій на початковій стадії пожежі.

Висновки. Незважаючи на актуальність проблеми моделювання пожеж, результати, досягнуті в цій області, мають переважно якісний або доволі наближений характер. Однак навіть на цьому рівні вони вже застосовуються для обґрунтування та нормування необхідних меж вогнестійкості конструкцій. Сьогодні ще не є можливим достатньо простим аналітичним шляхом визначити вогнестійкість конструкції залежно від режиму реальної пожежі, тому нормований показник – межу вогнестійкості конструкцій – визначають за визначеного температурного режиму пожежі.

Найбільш правильним у застосуванні є поєднання методів фізичного та математичного моделювання, які дають змогу під час моделювання пожежі компенсувати притаманні їм недоліки.

Результати будь-якого моделювання мають практичний сенс тільки у тому випадку, якщо модель адекватна реальному об'єкту (процесу), тобто доволі добре (з достатньою мірою точності) відображає реальний об'єкт.

1. http://revolution.allbest.ru/life/00102859_0.html. 2. *Моделирование пожаров и взрывов: [монография] / [И.Ф. Астахова, В.П. Беляцкий, Н.Н. Брушлинский и др.]; под общ. ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко; Ассоц. "Пожнаука". Пожар. безопасность и наука. – М.: Ассоц. "Пожнаука", 2000. – 482 с.* 3. ДБН В.1.2-7:2008. *Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека.* 4. Шналь Т.М. *Вогнестійкість та вогнезахист дерев'яних конструкцій.* – Львів: Вид. НУ "Львівська політехніка", 2006. – 214 с. 5. *Федеральное государственное учреждение "Всероссийский ордена "Знак Почета" научно-исследовательский институт противопожарной обороны". Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях.* 6. Chen Xiaojun, Yang Lizhong, Deng Zhihua, Fan Weicheng. *A multi-layer zone model for predicting fire behavior in a fire room.* – *Fire Safety Journal* 40 (2005) 267–281, www.elsevier.com/locate/firesaf. 7. Hertzberg T., Axelsson J., Cohe C. *Design Fires for Enclosures II-Field Model Based Design Fires.* – *SP Report 2003:21, Fire Technology, Boras, 2004.*