

Д.Г. Трезубов, к.т.н., доцент, НУЦЗУ

## ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПОЖЕЖІ В ОГОРОДЖЕННІ

(представлено д.т.н. Басмановим О.Є.)

Розглянуто стан питання щодо визначення температури пожежі в огороженні за різними методиками. Показано недосконалість апроксимаційного прогнозу стандартного температурного режиму пожежі. Запропоновано проводити розрахунок стандартного температурного режиму пожежі за двома апроксимаційними формулами.

**Ключові слова:** пожежа в огороженні, температура пожежі, прогноз, розрахунок.

**Постановка проблеми.** Пожежі в огороженні, за даними статистики, залишаються найбільш поширеною проблемою у забезпеченні пожежної безпеки на території України, що призводить до значних матеріальних та моральних збитків. Однією з головних небезпек на пожежі є висока температура середовища. Це обмежує можливість знаходження людини та матеріалів у різних зонах пожежі. Тому вирішення проблеми підвищення рівня пожежної безпеки пов'язано з прогнозуванням температури пожежі в огороженні і є основою для розробки оптимальних протипожежних заходів, прогнозування поведінки будівельних конструкцій й ступеню небезпеки перебування людей у приміщеннях під час розвитку пожежі, для розробки нових будівельних матеріалів, вогнезахисних покриттів та вогнетривкого захисного обмундирування [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Кількісною характеристикою інтенсивності тепловиділення на пожежі є її температурний режим – зміна температури пожежі в часі. Для прогнозу температури пожежі існує декілька наукових напрямків. Але базою для практичних розрахунків найчастіше є інтегральна модель з використанням апроксимаційних формул та номограм.

Інтегральна модель є найбільш простою моделлю розрахунку температурного режиму пожежі в приміщенні і яка припускає, що тепло пожежі йде на нагрів продуктів горіння і рівномірно розподілено по об'єму приміщення. При цьому, розрахунок  $T_{\text{пож}}$  ґрунтується на рівнянні теплового балансу пожежі, який враховує, що тепло пожежі витрачається на нагрів: 1) продуктів горіння, які видаляються з приміщення,  $Q'_{\text{пг}}$ ; 2) продуктів горіння, які залишаються в приміщенні  $Q''_{\text{пг}}$  і визначають температуру пожежі; 3) будівельних конструкцій,  $Q_{\text{БК}}$ ; 4) на підготовчі процеси в горючому матеріалі,  $Q_{\text{підг}}$ ; 5) на випромінювання за межі приміщення  $Q_{\text{випр}}$ . Статистична обробка експериментальних даних дозволила представити залежності температури пожежі в огороженні від густини теп-

лового потоку, надлишку повітря та часу розвитку пожежі у вигляді номограм [2]. Густина теплового потоку, який сприймають огорожуючі конструкції; у свою чергу визначається теплотою пожежі  $Q_{\text{пож}}$  [2]

$$q = \frac{Q_{\text{пож}}}{S_{\text{огор}}}, \text{кВт}\cdot\text{м}^{-2}, \quad (1)$$

де  $S_{\text{огор}}$ ,  $S_{\text{пож}}$  – площі огорожуючих конструкцій та пожежі,  $\text{м}^2$ ;  $Q_{\text{пож}}$  – теплота пожежі,  $Q_{\text{пож}} = \eta Q'_{\text{н}} v_{\text{м}} S_{\text{пож}}$ ,  $\text{кДж}\cdot\text{с}^{-1}$ ;  $Q'_{\text{н}}$  – нижча масова теплота згоряння речовини,  $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$ ;  $v_{\text{м}}$  – масова швидкість вигорання речовини,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ .

Тобто, температура пожежі в огороженні залежить від об'єму приміщення, часу розвитку і площі пожежі, кількості пожежної навантаги, теплоти згоряння, масової швидкості вигорання, швидкості поширення горіння для речовини, інтенсивності газообміну, тепловтрат на нагрів конструкцій, температури повітря, що надходить в приміщення та ін. Якщо повітрообмін у приміщенні відбувається з високим коефіцієнтом надлишку повітря, то інтенсивність горіння збільшується, зростає температура в зоні реакції горіння. Але повітря має відносно низьку температуру, тому під час руйнування скління температура пожежі може тимчасово падати.

За розрахунком середньооб'ємну температуру пожежі на будь-який момент розвитку визначають як частку адіабатичної температури горіння  $T_{\text{ад}}$  з врахуванням безрозмірного критерію Больцмана [2]

$$T_{\text{пож}\tau} = 0,66T_{\text{ад}} \text{Bo}^{0,17} = 18,1T_{\text{ад}} \left( \frac{\eta S_{\text{пож}} v_{\text{м}} c''_{\text{р}} v_{\text{пр}}}{\varepsilon_{\text{пр}} S_{\text{огор}} T_{\text{ад}}^3} \right)^{0,17}, \text{К}, \quad (2)$$

де  $\text{Bo}$  – критерій Больцмана, який дорівнює відношенню тепла, яке виділяється під час горіння, до тепла, що передається продуктами горіння до огорожуючих поверхонь у процесі променистого теплообміну;  $\sigma_0$  – постійна Больцмана,  $5,76 \cdot 10^{-11} \text{кВт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ ;  $v_{\text{пр}}$  – питомий дійсний об'єм продуктів горіння, що утворюється при згорянні 1 кг горючої речовини за даних умов,  $\text{м}^3\cdot\text{кг}^{-1}$ ;  $\varepsilon_{\text{пр}}$  – приведений ступінь чорноти продуктів горіння;  $c''_{\text{р}}$  – питома об'ємна теплоємність газового середовища,  $\text{кДж}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{К}^{-1}$ .

Наведений вище принцип розрахунку температури пожежі передбачає знання температури пожежі у першому наближенні для визначення густини повітря, об'ємної теплоємності та приведенного ступеню чорноти продуктів горіння за даних умов [2].

**Постановка завдання та його вирішення.** Основною проблемою практичних пожежно-технічних розрахунків є відсутність спрощених формул для прогнозу температури пожежі у першому наближенні. Тому завданням даної роботи є обґрунтувати та розробити методику апрокси-

маційного розрахунку температури пожежі.

Визначені температурні режими пожежі в приміщеннях будівель і споруд різного призначення: для пожеж у тунелях; для пожеж у будинках нафтопереробної і хімічної промисловості; стандартна температурна крива пожежі; для пожеж у підвалах; режими пожеж у житлових приміщеннях з різними площами прорізів, крива для тліючої пожежі [3].

Одна з перших аналітичних моделей пожежі побудована для випробування будівельних конструкцій на вогнестійкість. Її називають стандартною кривою і задають у вигляді емпіричної залежності температури пожежі від часу [4]

$$t = 345 \lg(8\tau_{\text{пож}} + 1) + 20, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3)$$

Але на реальних пожежах до 10 хвилини – пожежа не має стандартного температурного режиму і ця формула дає не правильний прогноз, тому для  $\tau_{\text{пож}} > 10$  хв. приймають [2]

$$t = 345 \lg(8(\tau_{\text{пож}} - 10) + 1) + 20, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4)$$

але на 10 хв. ця формула дає 20 °С.

Для високотемпературних пожеж, які мають збільшену швидкість зростання температури, наприклад, при горінні водню, зокрема на АЕС, температурний режим пожежі приймають більш інтенсивним, що відображає вуглеводнева крива [4]

$$t = 1080(1 - 0,325 \exp(-0,167\tau) - 0,165 \exp(-2,5\tau)) + 20, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (5)$$

Режим повільного горіння (тліюча пожежа) передбачає менш інтенсивне зростання температури перші 20 хв, тому стандартний температурний режим починається з 21 хв, відповідно до 20 хв включно

$$t = 154 \tau_{\text{пож}}^{0,25} + 20, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (6)$$

після 20 хв:  $t = 345 \lg(8(\tau_{\text{пож}} - 20) + 1) + 20, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (7)$

Зовнішній температурний режим пожежі враховують для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій

$$t = 660(1 - 0,687 \exp(-0,32\tau) - 0,313 \exp(-3,8\tau)) + 20, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (8)$$

Існує формула оцінки температури пожежі за відношенням площі пожежі до площі підлоги [5]

$$T_{\text{пож}} = 298 + 1200S_{\text{пож}}/S_{\text{підл}}, \text{ } \text{K}. \quad (9)$$

При цьому площа пожежі в деякій мірі враховує час розвитку по-

жежі. Але при такому розрахунку ми не враховуємо стандартний температурний режим пожежі, а площа пожежі з часом може і не змінюватись, тобто дана формула призначена лише для пожеж, що поширюються.

За результатами проведеного аналізу для спрощеного визначення температурного режиму пожежі у першому наближенні до 10 хв. вільного розвитку, зростання температури можна прийняти за лінійним законом

$$t = 100 - 7(10 - \tau_{\text{пож}}), \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (10)$$

або за логарифмічним законом близьким до стандартного температурного режиму пожежі

$$t = 55 \lg(8\tau_{\text{пож}} + 1), \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (11)$$

Тоді після 10 хв. можна запропонувати

$$t = 345 \lg(8(\tau_{\text{пож}} - 10) + 2), \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (12)$$

Запропоновані формули (10) – (12) дозволяють прогнозувати температурний режим стандартної пожежі та є підставою для розрахунку фактичної температури пожежі за інтегральною моделлю.

Для прогнозу фактичного температурного режиму пожежі (10) – (12) необхідно врахувати теплоту пожежі та параметри приміщення за загальним принципом формули (1), через визначення уявного часу розвитку пожежі, що буде характеризувати збільшену, чи зменшену швидкість розвитку пожежі:  $\tau_{\text{пож.уяв.}} = \tau_{\text{пож}} \cdot f(\eta, Q'_n, v_m, S_{\text{пож}}, S_{\text{огор}})$ .

**Висновки.** Проаналізовано аналітичні підходи до прогнозу температурного режиму пожежі в огороженні. Запропоновані апроксимаційні формули (11), (12) для розрахунку температури пожежі у першому наближенні при проведенні розрахунків за інтегральною моделлю пожежі. Визначений напрямок для вдосконалення даних формул для прогнозу фактичного температурного режиму пожежі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Тарахно Е.В. Применение кремнийорганических материалов для огнестойкого защитного обмундирования / Е.В. Тарахно, Л.А. Андрищенко, А.М. Кудин, Л.Н. Трефилова // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2014. – Вып. 36. – С. 243-258. Режим доступа: [http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol36/tarahno\\_trfilova.pdf](http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol36/tarahno_trfilova.pdf).

2. Тарахно О.В. Теорія розвитку та припинення горіння. Практикум, ч. II. / О.В. Тарахно, Д.Г. Трегубов, К.В. Жернокльов та ін. – Х.: НУЦЗУ, 2010. – 510 с. Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Articles/tarahno/tarahno2010praktikum2.pdf>.

3. Андронов В.А. Дослідження вогнезахисних властивостей реактивних покриттів для металевих конструкцій з урахуванням температурних режимів реальних пожеж / В.А. Андронов, Є.О. Рибка // Проблеми пожежної безпеки. – Х.: НУЦЗУ, 2011. – Вип. 29. – С. 8-17. Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol29/06.pdf>.

4. Шналь Т.М. Характеристика моделей розвитку пожеж / Т.М. Шналь, І.П. Синенько, М.І. Стасюк // Вісник Нац. університету "Львівська політехніка". – 2011. – № 697. – С. 252-256.

5. ДБН В.1.2-7-2008. Основні вимоги до будівель і споруд: пожежна безпека. – Київ: Мінрегіонбуд. – 2008. – 30 с.

*Отримано редколегією 13.03.2017*

Д.Г. Трегубов

#### **Прогноз температурного режима пожара в ограждении**

Рассмотрено состояние вопроса по определению температуры пожара в ограждении по разным методикам. Показано несовершенство современного аналитического подхода для описания стандартного температурного режима пожара. Предложено проводить расчет температур пожара в первом приближении по двум аппроксимационным формулам.

**Ключевые слова:** пожар в ограждении, температура пожара, расчет.

D. Tregubov

#### **Forecasting the fire temperature in the enclosure**

The state of the issue on determining the fire temperature in the enclosure by different methods is considered. The imperfection of the modern analytical approach for describing the standard temperature regime of a fire is shown. It is proposed to calculate the fire temperatures in the first approximation using two approximation formulas.

**Keywords:** fire in the enclosure, fire temperature, calculation.