

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ МЕТОДОМ КЛІТИННИХ АВТОМАТІВ

М.О. Пустовіт

Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля ДСНС України,
вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна; e-mail: fire@fire.ck.ua

Розглянуто математичні моделі процесу припинення горіння. Вказано на основні відмінності моделей, наведені приклади їх застосування на практиці. Розроблено модель процесу припинення горіння на основі методу клітинних автоматів. Враховано припинення горіння при зниженні концентрації кисню, повного вигорання горючого навантаження та подачі водяних струменів на площу горіння.

Ключові слова: моделювання, припинення горіння, поширення пожежі, клітинні автомати, розпилені водяні струмені

Актуальність проблеми

Вдосконалення підготовки персоналу оперативно-рятувальної служби цивільного захисту неможливе без впровадження в процес навчання комп'ютеризованих систем і тренажерів.

У такій галузі знань, де практично неможливо наочно відобразити складні процеси і явища, що відбуваються в реальному житті, комп'ютерне моделювання є особливо актуальним. Моделювання в процесі навчання можна розглядати не лише як спосіб узагальнення і представлення знань, але і як знаряддя (засіб) його формування.

Існуючі на сьогодні моделі гасіння пожеж, великий внесок у розвиток яких внесли Астахова І.Ф., Кошмаров Ю.А., Пузач С.В., Рижов А.М. та інші, та тренажерні системи на їх основі не реалізовувалися для цілей навчання. Вони спрямовані на рішення конкретних практичних задач пожежної безпеки, відображають окремі випадки горіння речовин і матеріалів в приміщеннях певної форми. При цьому вимагають для свого функціонування значного часу із-за великого об'єму проведених обчислень. А розроблені до теперішнього часу тренажерні системи розвитку пожеж у більшості випадків не містять у своїй основі досить адекватних моделей гасіння пожеж.

Аналіз існуючих математичних моделей гасіння пожеж дозволить обрати серед них найбільш ефективні та оптимальні для моделювання відповідних процесів та висунути вимоги для створення комп'ютеризованого тренажеру підготовки пожежного-рятувальника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз існуючих математичних моделей гасіння пожеж не виявив готових і апробованих рішень для використання в тренажерах, що значною мірою пов'язано з відсутністю достатньо відпрацьованих теорії і практики розв'язання подібних задач у рамках підготовки пожежного-рятувальника.

Авторами [1] описано загальний підхід до моделювання гасіння пожеж водяними струменями. У даній роботі було показано, як теорія займання пояснює використання

води для гасіння пожеж. Розроблено модель гасіння пожежі, у якій користувач встановлює критерій гасіння шляхом визначення кількості пального і температур стін.

У комп'ютерній програмі «INTMODEL», що реалізовує інтегральну математичну модель пожежі [2], загасання полум'я відбувається при значенні функції режиму пожежі [2, нерівність (2.21)] $K = 0,01$, тобто при концентрації кисню в приміщенні близько 3%. У роботі С.В. Пузача [3] – при концентрації кисню 8%. В обох роботах при виникненні вказаних умов загасання моделюється вмить на усій площі пожежі.

Така стрибкоподібна імітація, на нашу думку, при використанні в тренажері візуально сприйматиметься користувачем як процес нелогічний, невідповідний дійсності. Тому при моделюванні загасання полум'я варто використовувати імовірнісний підхід.

Дослідником [4] розроблена модель гасіння пожежі для використання у комп'ютерній програмі тренування керівника гасіння пожежі. У цій моделі не має значення, ведеться гасіння суцільними або розпиленими струменями, водою або піною. Кожен літр вогнегасної речовини, поданий за одну секунду, викликає зменшення площі пожежі за цю секунду на певну величину. У моделі фігурує величина W_H^M – об'єм вогнегасної речовини, необхідної для гасіння одного квадратного метра пожежі ($л/м^2$), яка визначає вогнегасну здатність речовини. Різні фактори, що ускладнюють або спрощують гасіння, в конкретному випадку враховуються збільшенням або зменшенням цієї величини. Крім цього задаються гранична дальність гасіння (радіус роботи ствола) в метрах і витрата води зі ствола (q_{cm}) у л/с.

У комп'ютерній програмі «КИС РТП», що розроблена С.В. Субачевим [5] реалізовано процес гасіння пожежі методом клітинних автоматів. В моделі враховано припинення горіння внаслідок вигорання пожежного навантаження, зниження концентрації кисню та подачі певної кількості води на гасіння пожежі. Основним недоліком є те, що в моделі не враховано зміна ефективності гасіння пожежі водою при різних кутах розпилення струменя, дальності струменя та ін.

Постановка завдання

Метою дослідження є аналіз існуючих математичних моделей гасіння пожеж для використання в комп'ютеризованому тренажері підготовки пожежного-рятувальника.

Застосування таких систем дозволить відбити усю сукупність процесів і явищ в усій її складності і взаємозв'язках, значно знизити витрати на натурне моделювання пожеж, скоротити терміни і підвищити рівень підготовки фахівців до ухвалення ефективних рішень в області пожежної безпеки. Необхідність їх впровадження в процес професійної підготовки фахівців оперативно-рятувальної служби цивільного захисту неодноразово відбивалася в роботах Брушлинського М.М., Денисова А.М., Кафідова В.В., Коломійця Ю.І., Місюкевича М.С., Семикова В.Л., Соболева М.М. і інших.

При розробці математичної моделі припинення горіння варто окреслити основні вимоги:

1) Математична модель повинна враховувати вигорання пожежного навантаження, зниження концентрації кисню та подачі певної кількості води на гасіння пожежі.

2) Математична модель повинна враховувати зміну ефективності гасіння пожежі водою при різних кутах розпилення водяного струменя, дальності його подачі, нерівномірність розподілу капель в об'ємі струменя.

Викладення основного матеріалу дослідження

Загасання полум'я в розробленій моделі пожежі відбувається по одній з наступних причин.

1) Внаслідок повного вигорання горючого навантаження на деякій розрахунковій одиниці площі (рис. 1).

2) При зниженні концентрації кисню в приміщенні в результаті вільного горіння або в результаті подачі азоту або вуглекислого газу.

Ймовірність EXT_PROB_1 , загасання елемента на кожному кадрі анімації (кроці рахунку) внаслідок зниження концентрації кисню в приміщенні визначається формулою (1):

$$EXT_PROB_1 = 1.1 - 6.25K, \quad (1)$$

де K — функція режиму пожежі.

Графічно залежність цієї ймовірності від концентрації кисню в приміщенні показана на рисунку 1.

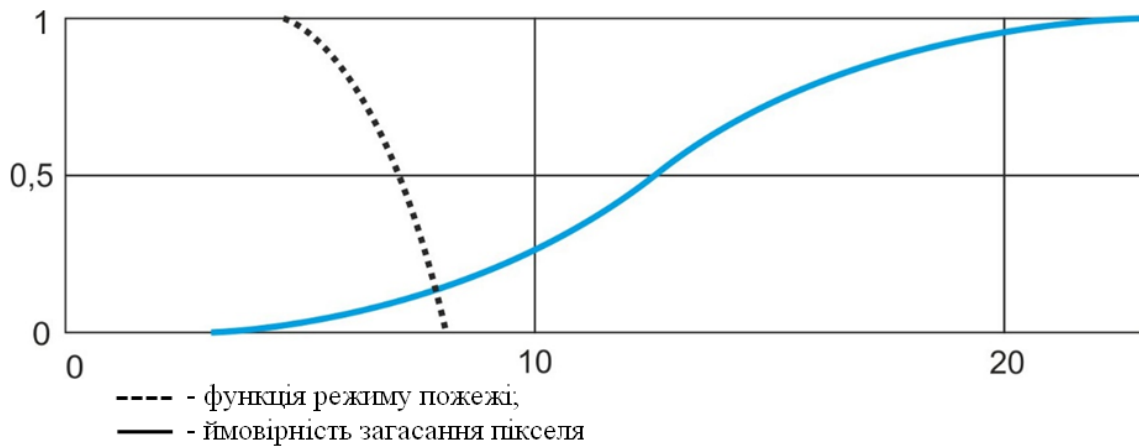


Рис. 1. Залежність ймовірності загасання пікселя від концентрації кисню в приміщенні

3) Загасання полум'я імітується також при подачі на цю площу горіння певної витрати води. Причому час загасання залежить від відношення фактичної інтенсивності подачі води I_ϕ до необхідної I_H (рис. 2):

$$\tau = \frac{10}{k^3} - 0.37, \quad (2)$$

де

τ — час, хв.;

$$k = \frac{I_\phi}{I_H}.$$

Необхідна інтенсивність подачі води на гасіння пожежі є відомою величиною та знаходиться за табл.11.1. [6]

Фактичну інтенсивність подачі води обчислюємо за наступною формулою:

$$I_{\phi} = \frac{q_{ст}}{S_{пож}}, \quad (3)$$

де

$S_{пож}$ — площа пожежі, м²;

$q_{ст}$ — витрата води з пожежного ствола, л/с.

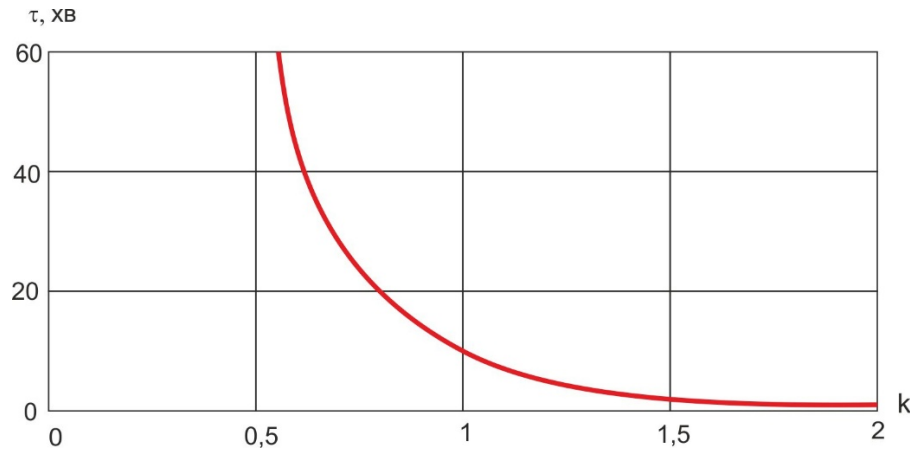


Рис. 2. Залежність часу загасання полум'я від відношення фактичної інтенсивності подачі води до необхідної

При такій залежності час загасання полум'я при подачі води необхідною інтенсивністю складає близько 10 хвилин.

Виходячи з кількості елементів в одному квадратному метрі площі, $a = 1600 \text{ м}^{-2}$, і кількості кадрів рахунку в хвилину 300 хв^{-1} отримана формула, що описує залежність ймовірності загасання кожного елемента на поточному кроці рахунку від кратності k :

$$EXT_PROB_2 = a \left[\frac{-1}{300 \left(\frac{10}{k^3} - 0.37 \right)} \right] \quad (4)$$

На рисунку 3 показаний алгоритм обчислення ймовірності EXT_PROB загасання кожного елемента залежно від концентрації кисню, інтенсивності подачі води і маси залишку горючого навантаження.

Окрім цього, у формулу (2) визначення ймовірності займання елемента доданий коефіцієнт, що зменшує лінійну швидкість поширення полум'я при подачі води, визначуваний по формулі:

$$k_v = \left(\frac{I_{\phi}}{I_H} - 1 \right) \quad (5)$$

Використання цього коефіцієнта дозволяє імітувати зниження лінійної швидкості поширення горіння при введенні перших засобів гасіння [6].

Так як було зазначено вище, для гасіння пожеж всередині будівель використовуються розпилені водяні струмені. Зважаючи на тактико-технічні

характеристики ми можемо визначити форму струменів та апроксимувати їх до умов нашої імовірнісної математичної моделі.

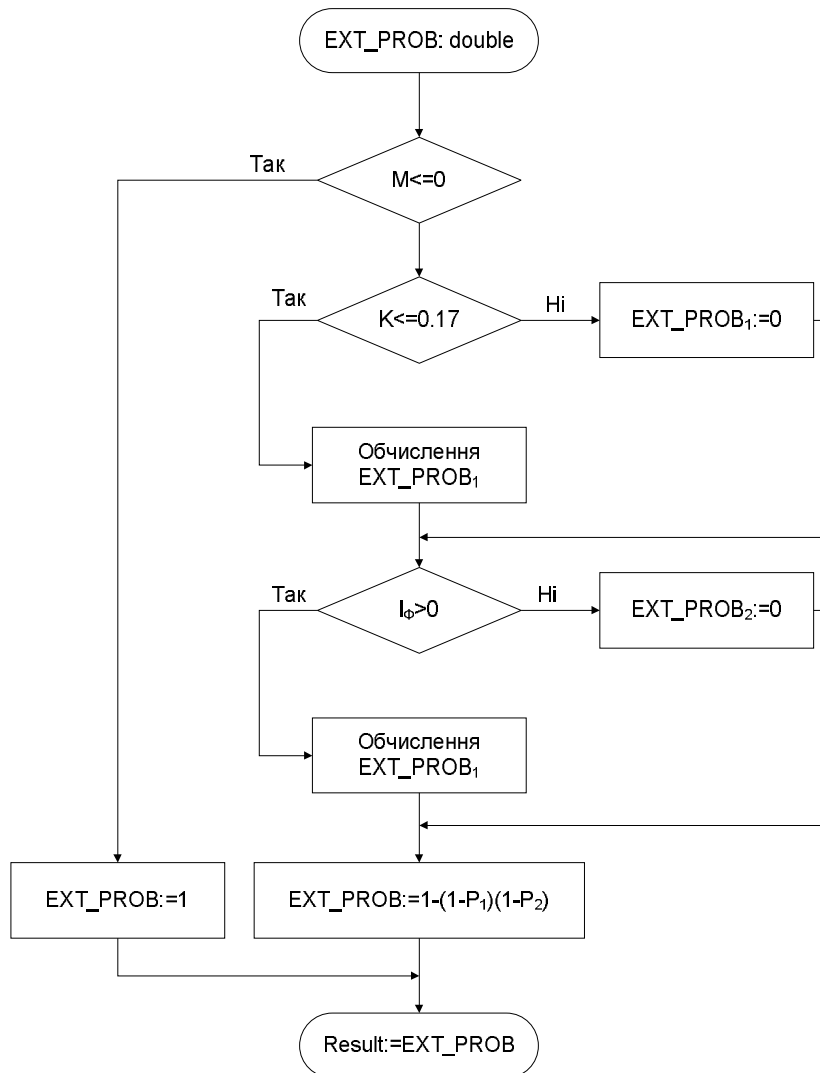


Рис. 3. Алгоритм обчислення ймовірності загасання кожного елементу FireList, що знаходиться в списку

Кут розпилювання стволів може змінюватись в межах 0,3-1,9 рад (30-110 град). Маючи ці дані, розраховуємо площу струменя (6)

$$S = \frac{\theta R^2}{2}, \tag{6}$$

де

- θ — кут розпилювання, рад;
- R — довжина струменя.

Весь струмінь води не бере участь в припиненні горіння. Найбільш ефективно це робить розпилена фаза, що приблизно дорівнює 2/3 струменя. Тому площа струменя, що буде брати участь у гасінні обчислюється за наступною формулою (7)

$$S_{зас} = \frac{\theta R_1^2}{2} - \frac{\theta R_2^2}{2}, \quad (7)$$

де

$S_{зас}$ — площа водяного струменя, що бере участь в гасінні, м²;

R_1 — довжина струменя, м;

R_2 — довжина струменя, що не бере участь в гасінні пожежі.

Таким чином, отримуємо кількість елементів клітинного автомату, що на даний момент обробляються водою (8)

$$N_z = \frac{S_{зас}}{a}, \quad (8)$$

де a — кількість елементів у одному квадратному метрі.

Розподілення кількості води у площині струменя є нерівномірним. Найбільша кількість води знаходиться в центральній частині струменя, найменша – по краях струменя (рис. 4). Чим більша кількість води припадає на одну комірку клітинного автомату, тим більша фактична інтенсивність подачі води та швидкість переходу автомату зі стану «BURNING» в стан «EMPTY». Таким чином, формула (3) буде мати наступний вигляд:

$$l_\phi = \frac{q_{ef}}{S_{пож}}, \quad (9)$$

де q_{ef} — ефективна витрата води зі ствола в залежності від просторового положення КА відносно центру струменя

$$q_{ef} = q_{ст} \frac{|l_{КА}|}{R_{ст}}, \quad (10)$$

де

$l_{КА}$ — найкоротша відстань від КА до середини струменя, м;

$R_{ст}$ — радіус струменя, м

$$R_{ст} = l_{ст} \tan \frac{\theta}{2}, \quad (11)$$

де $l_{ст}$ — довжина струменя води від краю ствола до осі з поточним КА, що перпендикулярна середині струменя.

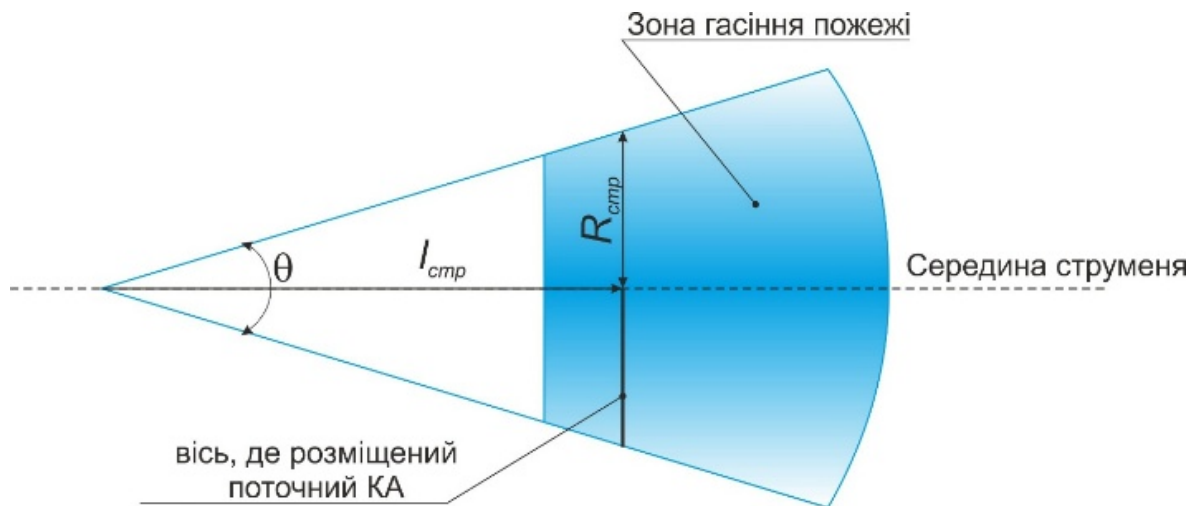


Рис.4. Загальний вигляд розпиленого водяного струменя

Висновки

Здійснений аналіз математичних моделей припинення горіння дав можливість оцінити їх основні переваги та недоліки для послідуєчого використання в комп'ютеризованому тренажері підготовки пожежного-рятувальника.

При розробці математичної моделі припинення горіння було враховано вигорання пожежного навантаження; зниження концентрації кисню та подачі певної кількості води на гасіння пожежі; зміну ефективності гасіння пожежі водою при різних кутах розпилення водяного струменя; дальності його подачі; нерівномірність розподілу капелів в об'ємі струменя

Подальшими перспективними дослідженнями є створення комплексної моделі розвитку та припинення горіння за допомогою методу клітинних автоматів для тривимірного простору, що дасть змогу візуалізувати вказані процеси та використати її в комп'ютеризованому тренажері підготовки пожежного-рятувальника

Список літератури

1. Särđqvist, S. Water for Manual Fire Suppression / S. Särđqvist, G. Holmstedt // Journal of Fire Protection Engineering. — 2001. — Vol. 11, No. 4. — PP. 209–231.
2. Прогнозирование опасных факторов пожара [Текст] : лабораторный практикум / Ю.А. Кошмаров, Ю.С. Зотов, В.В. Андреев, С.В. Пузач. — М.: МИПБ МВД России, 1997. — 68 с.
3. Пузач, С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности : монография / С.В. Пузач ; Акад. гос. противопожар. службы и др. — М. : Акад. ГПС, 2005. — 336 с.
4. Разливанов, И.Н. Комплексная модель пожара и пожаротушения в условиях ограниченности сил и средств / И.Н. Разливанов // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 8–10 окт. 2008 г. — М.: Центр «Антистихия», 2008.
5. Субачев, С.В. Совершенствование подготовки персонала противопожарной службы на основе технологий имитационного моделирования пожаров в зданиях [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.10 / Субачев Сергей Владимирович. — М., 2008. — 113 с.
6. Теревнев, В.В. Справочник руководителя тушения пожара : такт. возможности пожар. подразделений / В.В. Теревнев ; М-во Рос. Федерации по делам гражд. обороны, чрезвычайн.

ситуациям и ликвидации последствий стихийн. бедствий, Акад. гос. противопожар. службы.
— М. : ИБС-Холдинг, 2005. — 243 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРЕКРАЩЕНИЕ ГОРЕНИЯ МЕТОДОМ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

М.А. Пустовит

Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля ГСЧС Украины,
ул. Оноприенко, 8, Черкасы, 18034, Украина; e-mail: fire@fire.ck.ua

Рассмотрены математические модели процесса прекращения горения. Указаны основные отличия моделей, показаны примеры их использования на практике. Разработана модель процесса прекращения горения на основе метода клеточных автоматов. Учтено прекращение горения при снижении концентрации кислорода, полного выгорания горючего нагрузки и подачи водных струй на площадь горения.

Ключевые слова: моделирование, прекращение горения, распространение пожара, клеточные автоматы, распыленные водяные струи

MODELING THE PROCESSES OF BURNOUT BY CELLULAR AUTOMATA

Mykhailo O. Pustovit

Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes,
8 Onoprienko str., Cherkassy, 18034, Ukraine; e-mail: fire@fire.ck.ua

The mathematical models of the extinguishing process were examined. Main differences between the models and examples of their use in practice were shown. The model of the burnout process on the basis of cellular automata is developed. Burnout while reducing the concentration of oxygen, complete combustion of the fuel load and the supply of water jets on the burning area is taken into account.

Keywords: modelling, burnout, fire spread, cellular automata, sprayed water jets