

УДК 004.9

В.М. Рудницький¹, І.Г. Маладика², М.О. Пустовіт²¹ Черкаський державний технологічний університет, Черкаси² Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля ДСНС України, Черкаси

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ДИМУ ВСЕРЕДИНИ БУДІВЕЛЬ МЕТОДОМ КЛІТИННИХ АВТОМАТІВ

В статті розглянуто моделювання поширення диму всередині будівель у двовимірному просторі. Вказано на основні відмінності моделей клітинних автоматів, наведені приклади їх застосування на практиці. Розроблено математичну модель поширення диму та продуктів горіння на основі клітинних автоматів у двовимірному просторі для подальшого використання в комп'ютеризованому тренажерному комплексі підготовки пожежного-рятувальника.

Ключові слова: математичне моделювання, поширення диму, клітинні автомати, двовимірний простір.

Вступ

Актуальність проблеми. Математичні моделі поширення пожежі та задимлення дозволяють імітувати реальну обстановку об'єкта з високою точністю в реальному часі, створювати практично всі можливі ситуації при його застосуванні, у тому числі вводити можливі аварійні ситуації й режими роботи обладнання для відпрацювання дій персоналу в особливих режимах і ситуаціях, створювати візуальну картину навколишнього простору і його зміни в процесі роботи.

Моделювання поширення диму та продуктів горіння при пожежі всередині будівель в двовимірному просторі може проходити за багатьма методами та способами.

Одним з таких є метод клітинних автоматів (КА). Основними перевагами методу є висока швидкість обробки даних, що закладено в математичну модель, достатня достовірність отриманих результатів, відображення результатів в графічному вигляді.

Дослідниками в переважній більшості випадків метод клітинних автоматів використовується для прогнозування поширення пожежі лісових масивів, відкритого простору тощо. В деяких випадках зустрічається його застосування для прогнозування пожеж всередині приміщень.

Аналіз та розробка моделі поширення диму методом клітинних автоматів дозволить в подальшому її використання в комп'ютеризованому тренажері підготовки пожежного-рятувальника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Класифіковано математичні моделі за основними їх характеристиками. В якості досліджуваних обрано моделі, що базуються на методі клітинних автоматів.

Дослідниками [1] проведено огляд різних підходів до розрахунків параметрів руху диму і дальності видимості при пожежі в приміщенні. Наведено методики розрахунку поля видимості в рамках інте-

гральної моделі, визначення параметра оптичної щільності та дальності видимості через схожість поля концентрації CO₂ та диму. Перспективним, на думку авторів, є математичні методи, засновані на польовому підході, як більш точні та універсальні. Ці методи органічно вписуються в концепцію "гнучкового" нормування.

Дослідником [2] моделюється процес поширення пожежі в будівлях. Використовується вектори швидкостей повітряних потоків для визначення параметрів задимлення. Головною проблемою, що може виникнути при застосуванні пропонованого методу, є необхідність вимірювання швидкостей повітряних потоків в реальних будівлях за різних умов, що не завжди є можливим.

Автором [3] розроблено метод побудови вектора вітру, який враховує вплив вітру на розповсюдження пожежі для моделі, що базується на системі клітинних автоматів. Одержаний чисельний метод обчислення параметрів вітру. Проте, метод використовується для відкритого простору, і отже, практично не є можливим його застосування в умовах приміщень.

Змодельовано поширення диму при пожежі в приміщеннях авторами [4]. Для цього використано інтегральну математичну модель. Проте не враховано фактичне поширення диму комірками клітинного автомату. Натомість, приймається що дим відразу поширюється на всю площу приміщення й поступово збільшується його кількість та концентрація.

Завдання розробки математичної моделі розповсюдження диму в одному або декількох приміщеннях довільної форми вдалося вирішити із застосуванням методу імітаційного моделювання.

Сутність цього методу полягає в тому, що процес імітується за допомогою арифметичних і логічних операцій в певній послідовності елементарних актів, яка характерна для модельованого процесу.

Загальною математичною моделлю функціонування системи виступає моделюючий алгоритм, відповідно до якого в ЕОМ виробляється інформація, що описує елементарні явища досліджуваного процесу з урахуванням їх взаємного впливу.

Використання моделюючого алгоритму дозволяє отримати не лише конкретні значення характеристик процесу, але і провести якісні дослідження для цієї системи [5].

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз існуючих математичних моделей поширення диму при пожежах та вдосконалення найбільш оптимальних для використання в комп'ютеризованому тренажері підготовки пожежного-рятувальника.

Математичні моделі поширення диму, що базуються на методі клітинних автоматів, можливо застосувати для моделювання складних динамічних систем, базою яких є місцева динаміка компонентів. Додатковою перевагою при використанні клітинних автоматів є відображення результатів в графічному вигляді, що полегшує розуміння дискретної динаміки досліджуваної системи.

Таким чином, слід проаналізувати існуючі математичні моделі поширення диму методом клітинних автоматів та визначити їх необхідні характеристики; скласти алгоритм роботи імовірнісної моделі поширення диму по площі приміщення.

Основний матеріал досліджень

Моделювання поширення вогню та диму при пожежі всередині будівель в двовимірному просторі.

Підхід ґрунтується на використанні двох взаємопов'язаних клітинних автоматів: один для моделювання поширення вогню і один для моделювання розповсюдження диму. Два клітинних автомати міняють свій стан з різними темпами, тому що швидкість поширення вогню і диму може бути дуже різною. Крім того, перехідні правила КА, що описують поширення диму, пов'язані з часом роботи КА поширення вогню.

У розробленій моделі площа поверху будівлі представляється у вигляді безлічі елементів – розрахункових одиниць площі (що відповідають квадратному метру, сантиметру і тому подібне), кожен з яких має свої характеристики горючого навантаження, у тому числі лінійну швидкість поширення полум'я. Поширення пожежі в тому або іншому напрямі від джерела запалення визначається вірогідністю загорання кожного такого елемента. Таким чином, дана модель є імітаційною імовірнісною моделлю.

Загорання клітини (x, y) впливає на одну з прилеглих клітин (x_1, y_1) .

Ймовірність займання визначається виходячи з матеріалів, що горять, і розташовані в сусідніх клі-

тинах. Ці ймовірності укладені в структурі багатовимірного масиву для всієї сітки, що є тривимірним: два з них (x та y), вказують положення у сітці для вихідної комірки (x, y) , а третій показує положення сусідніх клітин.

Для того щоб описати ці два взаємозалежних клітинних автомати, які являють собою основу нашої моделі, ми повинні відобразити їх характеристики [6]:

- просторова структура;
- прилегла структура;
- перемінні стану;
- перемінні часу;
- правила переходу.

Просторова структура клітинних автоматів представлена сіткою клітин, які можуть бути зазначені в будь-яких розмірах.

Ця сітка, як правило, складається з подібних клітин (тобто у вигляді сітки осередків), багатокутників правильної форми (наприклад, шестикутники і прямокутники). У нашому випадку просторова рамка для обох автоматів представлена як кінцева двовимірна ортогональна сітка з квадратних осередків.

Прилегла структура, як правило, обмежена районом навколо кожної комірки. У нашому методі використовується Мооге-подібне прилягання (рис. 1) (клітина стану плюс вісім оточуючих клітин).

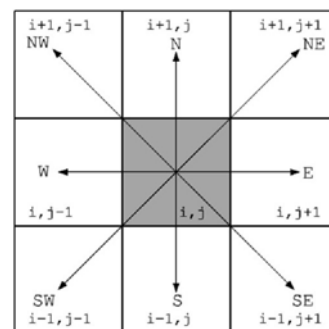


Рис. 1. Мооге-подібне прилягання

Змінні стану клітинного автомата представлені набором атрибутів, які описують свої "стани" у певний момент часу. У разі пожежі автомат значень комірок може бути:

0 = EMPTY (описує осередок, який застрахований від пожежі (або вже спалений, або неможливо спалити – наприклад, бетонна стіна);

1 = UNBURNED (описує осередок з наявністю матеріалів, які можуть горіти, але ще не зайнялись);

2 = BURNING (описує осередок, який горить).

У випадку КА поширення диму значення комірок може бути

0 = BLANK (описує осередок, який не може містити диму – наприклад, бетонна стіна);

1 = WITHOUT_SMOKE (описує незадимлений осередок);

2 = WITH_SMOKE (описує осередок, що задимлений).

Час складається з дискретних кроків, коли застосовуються правила переходу, щоб одержати стан кожного осередку, який міститься в сітці. Через різницю між швидкістю поширення вогню і диму, швидкість поширення КА диму відбувається швидше, ніж КА вогню.

Перехідні правила встановлюють, як стан клітини змінюється в часі. Ґрунтуючись на своєму власному стані, стані своїх сусідів і правилах переходу, клітина робить висновок, яким має бути її новий стан.

Всі клітини змінюють свої стани одночасно. У нашому випадку ми розробили складні правила переходу для обох КА, які включають імовірнісні функції та комплекс обмежень.

Також слід зазначити першорядну вагу коефіцієнту заповнення пожежного навантаження. Для того, щоб пожежа могла поширюватися, цей коефіцієнт має бути не менше 41% для моделі КА, працюючої з обліком 8-ми найближчих сусідів. Наступним за значимістю чинником є займистість палива.

При поганій займистості палива критичне значення коефіцієнта заповнення, при якому буде можливе поширення пожежі, підвищується. При занадто низькій займистості навіть стовідсоткове заповнення паливом не гарантує поширення пожежі.

Метод визначення поширення диму

Клітинний автомат поширення диму схожий з розробленим для поширення пожежі з деякими коригуваннями у параметрах.

Швидкість поширення диму, як правило, вище ніж вогню, тому клітинні автомати диму поширюються швидше.

Як і поширення вогню, поширення диму характеризується параметром матриці ідентичним з

FIXED_PROB_F (x, y, n) та позначається FIXED_PROB_S (x, y, n).

Ми приймаємо, що дим залишається на невідзначений період часу в конкретній клітині (тобто, ми вважаємо, що дим присутній в клітині, до тих пір, поки пожежа на погашена).

Ґрунтуючись на цих припущеннях, перехідні правила відносно автомата диму наступні:

$$B(x,y)_t = \begin{cases} 0 \text{ if } (B(x,y)_{t-1} = 0) \text{ or } (A(x,y)_{t-1} = 0), \\ 1 \text{ if } (B(x,y)_{t-1} = 1), \\ 2 \text{ if } (B(x,y)_{t-1} = 1) \text{ and } (\text{random} < \text{FIXED_PROB}_t) \\ \text{ or } (B(x,y)_{t-1} = 2) \text{ or } (A(x,y)_{t-1} = 2), \end{cases} \quad (1)$$

де B (x, y)_t є стан клітини в момент часу. Ці два автомати пов'язані між собою, тому що B_{(x, y)_t} залежить від A_{(x, y)_{t-1}}.

Перед перемальовуванням кожного кадру анімації по формулі (2) робиться обчислення вірогідності загоряння кожного елемента з урахуванням його характеристик і наявності сусідніх елементів, що горять

$$\text{FIXED_PROB}_S = \frac{V \cdot SP}{4}, \quad (2)$$

де V – лінійна швидкість поширення диму, виражена в одиницях [елемент/кадр анімації]; SP – параметр, що характеризує кількість і відносне розташування сусідніх елементів, що задимлені. Він може набувати значення в інтервалі [0...8], оскільки «питома вага» задимлених елементів приймається однаковою (рис. 2) :

$$SP = n, \quad (3)$$

де n –кількість задимлених елементів

У загальному вигляді алгоритм реалізації імовірнісної моделі поширення диму по площі показаний на рис. 3, деталізований алгоритм реалізації імовірнісної моделі поширення диму при накладенні обмежень показано на рис. 4.

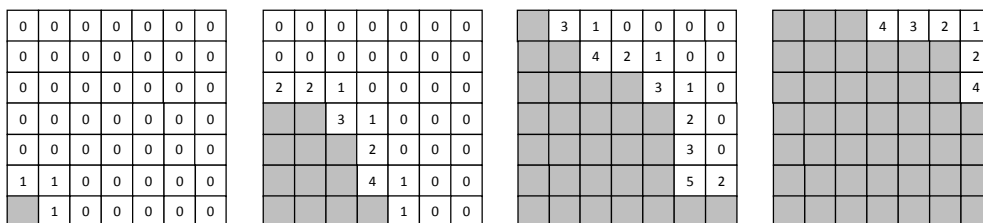


Рис. 2. Розподіл параметра SP в різні моменти часу моделювання

Висновок

Підводячи підсумок, можна сказати, що отримана імовірнісна модель поширення диму, що дозволяє спрогнозувати параметри задимлення при будь-яких введених користувачем конфігураціях приміщень, характеристиках горючого навантажен-

ня і довільній кількості джерел запалення. Подальшими перспективними дослідженнями є синтез з інтегральною математичною моделлю пожежі, що дозволить, як в реальному, так і в прискореному режимі часу моделювати не лише розвиток пожежі та задимлення, але і відображати параметри тепломасопереносу в усіх приміщеннях будівлі.

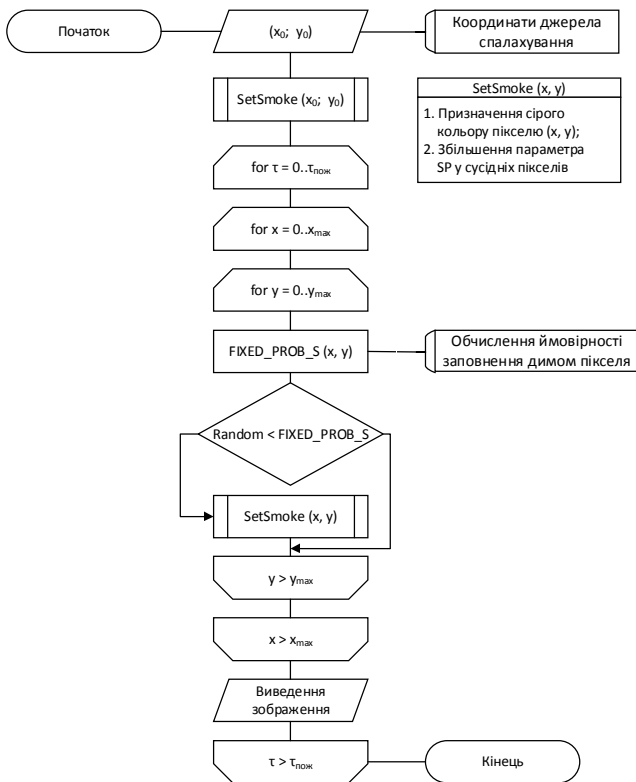


Рис. 3. Загальний алгоритм реалізації імовірнісної моделі поширення диму по площі

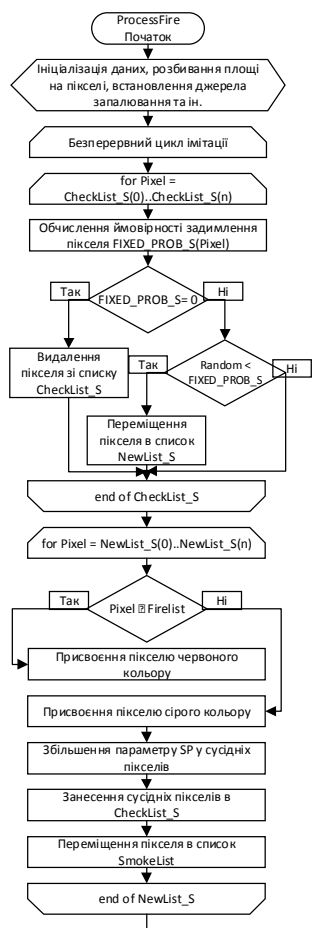


Рис. 4. Алгоритм реалізації імовірнісної моделі поширення диму



Список літератури

1. Серебрянников Д.С. Обзор моделей распространения дыма и определения дальности видимости / Д.С. Серебрянников, К.Ю. Литвинцев // Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности": Сб. науч. тр. – февраль 2011. – Вып. 1 (35).
2. Daniel-Ioan Curiaş. Fire Spreading Simulation in Large Buildings Based on Cellular Automata / Daniel-Ioan Curiaş // Advances in Dynamical Systems and Control. – 2010. – Vol. 45, no 3. – P. 159-162.
3. Головка А.В. Влияние ветра на процесс распространения пожара в математической модели клеточного автомата / А.В. Головка // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 3. – С. 68-71.
4. Субачева А.А. Имитационное моделирование развития и тушения пожаров в системе подготовки специа-

5. листов противопожарной службы [Текст] / А.А. Субачева, С.В. Субачев // Прикладная информатика. – 2008. – № 4. – С. 27-37.
6. Соколов С.В. Методологические основы разработки и использования компьютерных имитационных систем для исследования деятельности и проектирования аварийно-спасательных служб в городах [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.10 / Соколов Сергей Викторович. – М., 1999. – 295 с.
7. Wolfram S. Theory and applications of cellular automata / S. Wolfram // Advances Series in Complex Systems. World Scientific. – Singapore. – 1986.–Vol. 1.

Надійшла до редколегії 21.08.2013

Рецензент: д-р техн. наук, доц. М.І. Адаменко, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЫМА ВНУТРИ ЗДАНИЙ МЕТОДОМ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

В.Н. Рудницкий, И.Г. Маладыка, М.А. Пустовит

В статье рассмотрено моделирование распространения дыма внутри зданий в двумерном пространстве. Указаны основные отличия моделей клеточных автоматов, приведены примеры их применения на практике. Разработана математическая модель распространения дыма и продуктов горения на основе клеточных автоматов в двумерном пространстве для дальнейшего использования в компьютеризированном тренажерном комплексе подготовки пожарного-спасателя.

Ключевые слова: матмоделирование, распространение дыма, клеточные автоматы, двумерное пространство.

MATHEMATICAL MODELING OF THE SMOKE SPREAD INSIDE BUILDINGS USING CELLULAR AUTOMATA

V.M. Rudnickij, I.G. Maladyka, M.O. Pustovit

The paper considers the modeling of smoke spread inside the building in two-dimensional space. Shows the main differences between cellular automata models, examples of their application in practice. Developed a mathematical model of the smoke spread and combustion products based on cellular automata in two-dimensional space for further use in a computerized firefighter training simulator.

Keywords: mathematical modeling, smoke spread, cellular automata, two-dimensional space.