

УДК 004.9:614.841

*А. О. Биченко, канд. техн. наук, доцент, М. О. Пустовіт,  
В. Б. Ротар, канд. пед. наук, доцент, О. І. Мигаленко, канд. екон. наук,  
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України*

## **РОЗПАРАЛЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ОБРАХУНКІВ ПРОЦЕСУ РОЗВИТКУ ПОЖЕЖІ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ТРИВИМІРНИХ КЛІТИННИХ АВТОМАТІВ**

*Розроблена модель процесу розвитку пожежі на основі методу тривимірних клітинних автоматів. У даній моделі об'єм поверху будівлі представляється у вигляді скінченої кількості елементів - розрахункових одиниць об'єму (відповідних кубічному метру, сантиметру і т.п.), кожен з яких має свої характеристики горючого навантаження, в тому числі лінійну швидкість поширення полум'я. Ймовірність переходу комірки з одного стану до іншого базується на вагових коефіцієнтах, що враховують взаємне розташування комірок у просторі та їх стани. Удосконалено моделі поширення вогню та задимлення у тривимірному просторі на основі методу клітинних автоматів.*

*Виконано розпаралелювання і оптимізацію алгоритмів обрахунку моделей поширення вогню і диму. Для цього використано групування елементів, що мають різні стани на кожному часовому кроці шляхом внесення їх до масивів. Таким чином, необхідні операції робляться не з усіма елементами всієї площі будівлі, а тільки з тими, які безпосередньо залучені в модель і є об'ємом пожежі або задимлення. Завдяки функціоналу присвоєння кожному елементу свої характеристики, стає можливим імітувати поширення пожежі при одночасному перебуванні в приміщенні будь-якої кількості різних видів горючого навантаження, в тому числі займання дверей і перегородок з подальшим переходом пожежі в сусіднє приміщення.*

*Досить часто подібні алгоритми працюють спільно з набором псевдовипадкових чисел, наприклад, при випадковій вибірці якихось значень з великого масиву даних. Для покращення якості випадкових чисел здійснено запуск декількох копій вихідної функції генерації чисел.*

*Отримана ймовірнісна модель поширення пожежі в тривимірному просторі дозволяє обрахувати площу і об'єм (кількісно) і форму пожежі при будь-яких введених користувачем конфігураціях приміщень, характеристиках горючого навантаження і довільній кількості джерел запалювання. Завдяки проведеному розпаралелюванню і оптимізації алгоритмів вдалося збільшити значення швидкостей обрахунку моделі на різних конфігураціях комп'ютерів, що дозволило отримувати результатами моделювання в режимі реального або прискореного часу для подальшого використання в комп'ютеризованому тренажері підготовки пожежного.*

**Ключові слова:** *розпаралелювання; оптимізація процесу; клітинні автомати; моделювання вогню та задимлення; розвиток пожежі.*

### **Постановка 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 вирішення конкретних практичних задач пожежної безпеки, відображають окремі випадки горіння речовин і матеріалів в приміщеннях певної форми. При цьому вимагають для свого

функціонування значного часу через великий об'єм проведених обчислень. А розроблені до теперішнього часу тренажерні системи розвитку пожеж у більшості випадків не містять у своїй основі досить адекватних моделей гасіння пожеж [1].

Одним з багатьох методів моделювання поширення вогню і задимлення є метод клітинних автоматів. Основними перевагами методу є висока швидкість обробки даних, що закладена в математичну модель, достатня достовірність отриманих результатів, відображення результатів у графічному вигляді.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Аналіз існуючих математичних моделей поширення пожежі 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.

Класифіковано математичні моделі за основними їх характеристиками. В якості досліджуваних обрано моделі, що базуються на методі клітинних автоматів.

Автори [2] використовують КА для розрахунку розповсюдження пожежі та задимлення у великих будівлях. Основним недоліком даного методу є значний розмір комірки, і як наслідок – низька точність прогнозування.

Дослідником [3] моделюється процес поширення пожежі в будівлях. Використовуються вектори швидкостей повітряних потоків для визначення параметрів задимлення. Головною проблемою, що може виникнути при застосуванні пропонованого методу, є необхідність вимірювання швидкостей повітряних потоків в різних умовах, що не завжди можливо.

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.

Автори [5] для збільшення точності результатів моделювання поширення пожежі всередині будівель на основі методу клітинних автоматів пропонують проводити масштабування комірки, зважаючи на доступні обчислювальні можливості.

#### **Постановка завдання**

Метою дослідження є оптимізація алгоритмів розробленої моделі розвитку пожежі методом розпаралелювання для використання в комп'ютеризованому тренажері підготовки пожежного-рятувальника.

Математичні моделі поширення вогню та 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 у графічному вигляді, що полегшує розуміння дискретної динаміки досліджуваної системи.

#### **Основний матеріал досліджень**

У розробленій моделі об'єм поверху будівлі представляється у вигляді скінченної кількості елементів – розрахункових одиниць об'єму (відповідних кубічному метру, сантиметру і т.п.), кожен з яких має свої характеристики горючого навантаження, в тому числі, лінійну швидкість поширення полум'я. Поширення пожежі в тому чи іншому напрямку від джерела займання визначається ймовірністю загоряння кожного такого елемента. Таким чином, розроблена модель є імітаційною ймовірнісною моделлю [6].

Просторова область процесу поширення пожежі (полігон) – це тривимірний простір, представлений тривимірним масивом з наступними максимальними значеннями по кожному виміру:  $x_{\max}$  – число індексів по виміру "x";  $y_{\max}$  – число індексів по виміру "y";  $z_{\max}$  – число індексів по виміру "z" [7]. Належність індексу до відповідного виміру визначається наступним чином:

$$x \in \{1, 2, \dots, x_{\max}\};$$

$$y \in \{1, 2, \dots, y_{\max}\};$$

$$z \in \{1, 2, \dots, z_{\max}\}$$

Кожен компонент тривимірного масиву представляє собою клітинний автомат процесу поширення полум'я (задимлення). Конфігурація сусідства комірок клітинного автомата з ортогональними з ним комірками

визначається його координатами в тривимірному векторному просторі. Існує обмежена кількість конфігурацій  $K = \{k_1, k_2, \dots, k_{26}\}$ .

$$k_{k \in K} = \begin{cases} k_1 (0 < x_0 + 1 < x_{\max}) \wedge (z = z_0) \wedge (y = y_0); \\ k_2 (0 < x_0 - 1 < x_{\max}) \wedge (z = z_0) \wedge (y = y_0); \\ k_3 (0 < y_0 + 1 < y_{\max}) \wedge (x = x_0) \wedge (z = z_0); \\ k_4 (0 < y_0 - 1 < y_{\max}) \wedge (x = x_0) \wedge (z = z_0); \\ k_5 (0 < z_0 + 1 < z_{\max}) \wedge (x = x_0) \wedge (y = y_0); \\ k_6 (0 < z_0 - 1 < z_{\max}) \wedge (x = x_0) \wedge (y = y_0). \end{cases} \quad (1)$$

де  $x_0, y_0, z_0$  - координати джерела займання

Узагальнена конфігурація сусідства клітинного автомата показана на рис. 1 (а, б, в).

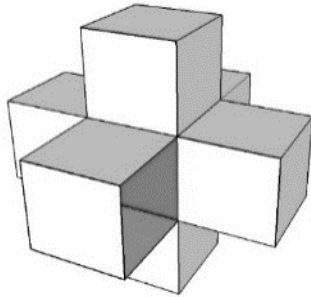


Рисунок 1 (а) – Узагальнена конфігурація сусідства комірок клітинного автомата з координатами КА, визначеним у (1)

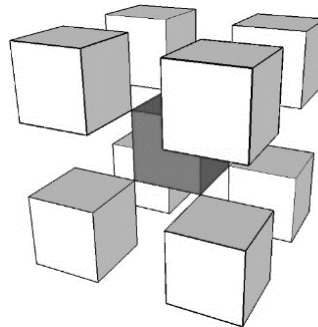


Рисунок 1 (б) – Узагальнена конфігурація сусідства комірок клітинного автомата з координатами КА, визначеним у (2)

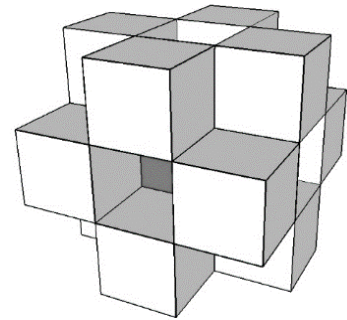


Рисунок 1 (в) – Узагальнена конфігурація сусідства комірок клітинного автомата з координатами КА, визначеним у (3)

Конкретне  $k$ -е сусідство комірок клітинного автомата визначається значенням координати комірки клітинного автомата, знаходиться в невидимій зоні на рис. 1 (а), і залежно (1).

Координати комірок клітинних автоматів, розташованих в кутах полігону визначаються залежністю (2):

$$k_{k \in K} = \begin{cases} k_7 (0 < x_0 + 1 < x_{\max}) \wedge (0 < y_0 + 1 < y_{\max}) \wedge (0 < z_0 + 1 < z_{\max}); \\ k_8 (0 < x_0 - 1 < x_{\max}) \wedge (0 < y_0 + 1 < y_{\max}) \wedge (0 < z_0 + 1 < z_{\max}); \\ k_9 (0 < x_0 + 1 < x_{\max}) \wedge (0 < y_0 - 1 < y_{\max}) \wedge (0 < z_0 + 1 < z_{\max}); \\ k_{10} (0 < x_0 - 1 < x_{\max}) \wedge (0 < y_0 - 1 < y_{\max}) \wedge (0 < z_0 + 1 < z_{\max}); \\ k_{11} (0 < x_0 + 1 < x_{\max}) \wedge (0 < y_0 + 1 < y_{\max}) \wedge (0 < z_0 - 1 < z_{\max}); \\ k_{12} (0 < x_0 - 1 < x_{\max}) \wedge (0 < y_0 + 1 < y_{\max}) \wedge (0 < z_0 - 1 < z_{\max}); \\ k_{13} (0 < x_0 - 1 < x_{\max}) \wedge (0 < y_0 - 1 < y_{\max}) \wedge (0 < z_0 - 1 < z_{\max}); \\ k_{14} (0 < x_0 + 1 < x_{\max}) \wedge (0 < y_0 - 1 < y_{\max}) \wedge (0 < z_0 - 1 < z_{\max}). \end{cases} \quad (2)$$

КА, координати якого представлені в (2), пофарбований у темний колір.

Координати комірок клітинних автоматів, розташованих на ребрах полігону і віддалених від його кутів, визначаються як:

$$k|_{k \in K} = \begin{cases} k_{15} (0 < x_0 + 1 < x_{\max}) \wedge (0 < y_0 + 1 < y_{\max}) \wedge (z = 0); \\ k_{16} (0 < x_0 - 1 < x_{\max}) \wedge (0 < y_0 + 1 < y_{\max}) \wedge (z = 0); \\ k_{17} (0 < x_0 + 1 < x_{\max}) \wedge (0 < y_0 - 1 < y_{\max}) \wedge (z = 0); \\ k_{18} (0 < x_0 - 1 < x_{\max}) \wedge (0 < y_0 - 1 < y_{\max}) \wedge (z = 0); \\ k_{19} (x = 0) \wedge (0 < y_0 + 1 < y_{\max}) \wedge (0 < z_0 + 1 < z_{\max}); \\ k_{20} (x = 0) \wedge (0 < y_0 - 1 < y_{\max}) \wedge (0 < z_0 + 1 < z_{\max}); \\ k_{21} (x = 0) \wedge (0 < y_0 + 1 < y_{\max}) \wedge (0 < z_0 - 1 < z_{\max}); \\ k_{22} (x = 0) \wedge (0 < y_0 - 1 < y_{\max}) \wedge (0 < z_0 - 1 < z_{\max}); \\ k_{23} (0 < x_0 + 1 < x_{\max}) \wedge (y = 0) \wedge (0 < z_0 + 1 < z_{\max}); \\ k_{24} (0 < x_0 - 1 < x_{\max}) \wedge (y = 0) \wedge (0 < z_0 + 1 < z_{\max}); \\ k_{25} (0 < x_0 + 1 < x_{\max}) \wedge (y = 0) \wedge (0 < z_0 - 1 < z_{\max}); \\ k_{26} (0 < x_0 - 1 < x_{\max}) \wedge (y = 0) \wedge (0 < z_0 - 1 < z_{\max}). \end{cases} \quad (3)$$

Узагальнена конфігурація сусідства комірок клітинного автомата з координатами, визначеними в (3), показана на рис. 1 (в).

Ймовірність займання визначається виходячи з матеріалів, що горять, які розташовані в сусідніх комірках. Ці ймовірності укладені в структурі багатовимірного масиву для всієї сітки: три з них (x, y і z), що вказують положення в сітці для початкового осередку (x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>, z<sub>0</sub>), а четвертий k показує положення сусідніх комірок).

$$\text{FIXED\_PROB\_F} (1: N, 1: M, 1: L, 1: 26)$$

де її елементи є можливостями.

$$\text{FIXED\_PROB\_F} (x, y, z, k) \in [0, 1]$$

N, M і L – це розміри сітки (наша сітка має NxMxL комірок), і ми маємо 26 сусідів кожної комірки, які є рівноцінними (див. Рис. 1)

Перед перемальовуванням кожного кадру анімації за формулою (4) робиться обчислення ймовірності загоряння кожного

елемента з урахуванням його характеристик і наявності сусідніх елементів, що горять:

$$\text{FIXED\_PROB\_F} = \frac{V \cdot FP}{4} \quad (4)$$

де V – лінійна швидкість поширення полум'я, виражена в одиницях [елемент / кадр анімації]; FP – параметр, що характеризує кількість і відносне розташування сусідніх елементів, що горять. Він може приймати значення в інтервалі [0 ... 50].

$$FP = 3n_o + 2n_d + n_a \quad (5)$$

де n<sub>o</sub> – кількість елементів, що горять, розташованих ортогонально по відношенню до того, що розглядається; n<sub>d</sub> – кількість елементів, що горять, розташованих по діагоналі щодо того, що розглядається; n<sub>a</sub> – кількість елементів, що горять, розташованих в кутах того, що розглядається.

Правила переходів щодо КА поширення пожежі для осередку (x, y, z) на крок за часом t, позначається A(x, y, z)<sub>t</sub> (6):

$$A(x, y, z)_t = \begin{cases} 0 \text{ if } (A(x, y, z)_{t-1} = 0) \\ \text{or } (A(x, y, z)_{t-1} = 2) \text{ and } (\text{time\_expired}(x, y, z) = 0) \\ 1 \text{ if } (A(x, y, z)_{t-1} = 1) \\ 2 \text{ if } (A(x, y, z)_{t-1} = 1) \text{ and } (\text{random} < \text{FIXED\_PROB\_F}) \\ \text{or } (A(x, y, z)_{t-1} = 2) \text{ and } (\text{time\_expired}(x, y, z) > 0) \end{cases} \quad (6)$$

де  $\text{time\_expired}(x, y, z)$  є лічильником, який зменшується від максимального значення  $t_{\max}$  на кожен часовий крок, поки значення КА не досягне 0.

Клітинний автомат поширення диму в тривимірному просторі схожий з розробленим для поширення вогню з деякими коригуваннями в параметрах.

Швидкість поширення диму, як правило, вище, ніж вогню, тому комірки клітинного автомату диму змінюють стани швидше.

Як і поширення вогню, поширення диму характеризується параметром матриці ідентичним з  $\text{FIXED\_PROB\_F}(x, y, z, k)$  і позначається  $\text{FIXED\_PROB\_S}(x, y, z, k)$ .

$$B(x, y, z)_t = \begin{cases} 0 \text{ if } (B(x, y, z)_{t-1} = 0) \text{ or } (A(x, y, z)_{t-1} = 0) \\ 1 \text{ if } (B(x, y, z)_{t-1} = 1) \\ 2 \text{ if } (B(x, y, z)_{t-1} = 1) \text{ and } (\text{random} < \text{FIXED\_PROB\_S}) \\ \text{or } (B(x, y, z)_{t-1} = 2) \text{ or } (A(x, y, z)_{t-1} = 2) \end{cases} \quad (7)$$

Перед перемальовуванням кожного кадру анімації за формулою (8) робиться обчислення ймовірності загоряння кожного елемента з урахуванням його характеристик і наявності сусідніх елементів, що горять:

$$\text{FIXED\_PROB\_S} = \frac{V \cdot SP}{4} \quad (8)$$

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 приймати значення в інтервалі  $[0 \dots 26]$ , оскільки «питома вага» задимлених елементів приймається однаковою.

$$SP = n \quad (9)$$

З огляду на те, що продукти горіння піднімаються вгору, ми можемо зробити висновок, що накопичення диму в вертикальному вимірі відбувається поступово. Внаслідок цього клітинний автомат поширення диму в тривимірному просторі набуває ті ж параметри, що і КА поширення диму в двовимірному просторі з поступовим додаванням значень по осі  $z$ .

Ми приймаємо, що дим залишається на невизначений період часу в конкретній комірці (тобто ми вважаємо, що дим присутній у комірці, до тих пір, поки пожежу не погашено).

Ґрунтуючись на цих припущеннях, правила переходів стосовно автомата диму наступні:

де  $n$  – кількість задимлених елементів. Існує достатня кількість статистичних алгоритмів, придатних для ефективного розпаралелювання і підвищення продуктивності програмного коду. Досить часто такі алгоритми працюють спільно з набором псевдовипадкових чисел, наприклад, при випадковій вибірці якихось значень з великого масиву даних.

У нашому програмному коді для моделювання багаторазово повторювалися обчислення, ітерації яких залежали від різних наборів випадкових чисел. Такий код дуже добре підходить для розпаралелювання. В цілому, якщо кожна ітерація буде виконуватися на окремому ядрі, час виконання коду істотно знизиться.

Якісно згенерувати масив випадкових чисел за допомогою декількох паралельних потоків можна різними способами. Можна скористатися готовими потокобезпечними паралельними функціями, наприклад, бібліотекою масштабованих паралельних генераторів випадкових чисел (SPRNG), про яку йдеться в статті [8]. Ще одним варіантом є запуск декількох копій вихідної функції генерації чисел. Метод, обговорюваний нижче,

забезпечує генерацію якісного набору випадкових чисел. Крім того, в результаті його використання створюється один і той же набір випадкових чисел, незалежно від кількості одночасно запущених функцій – чи то одна функція в послідовному коді або кілька функцій в паралельному коді.

Нижче наведено паралелізований алгоритм моделі поширення вогню і диму в тривимірному просторі, розроблений авторами (рис. 2).

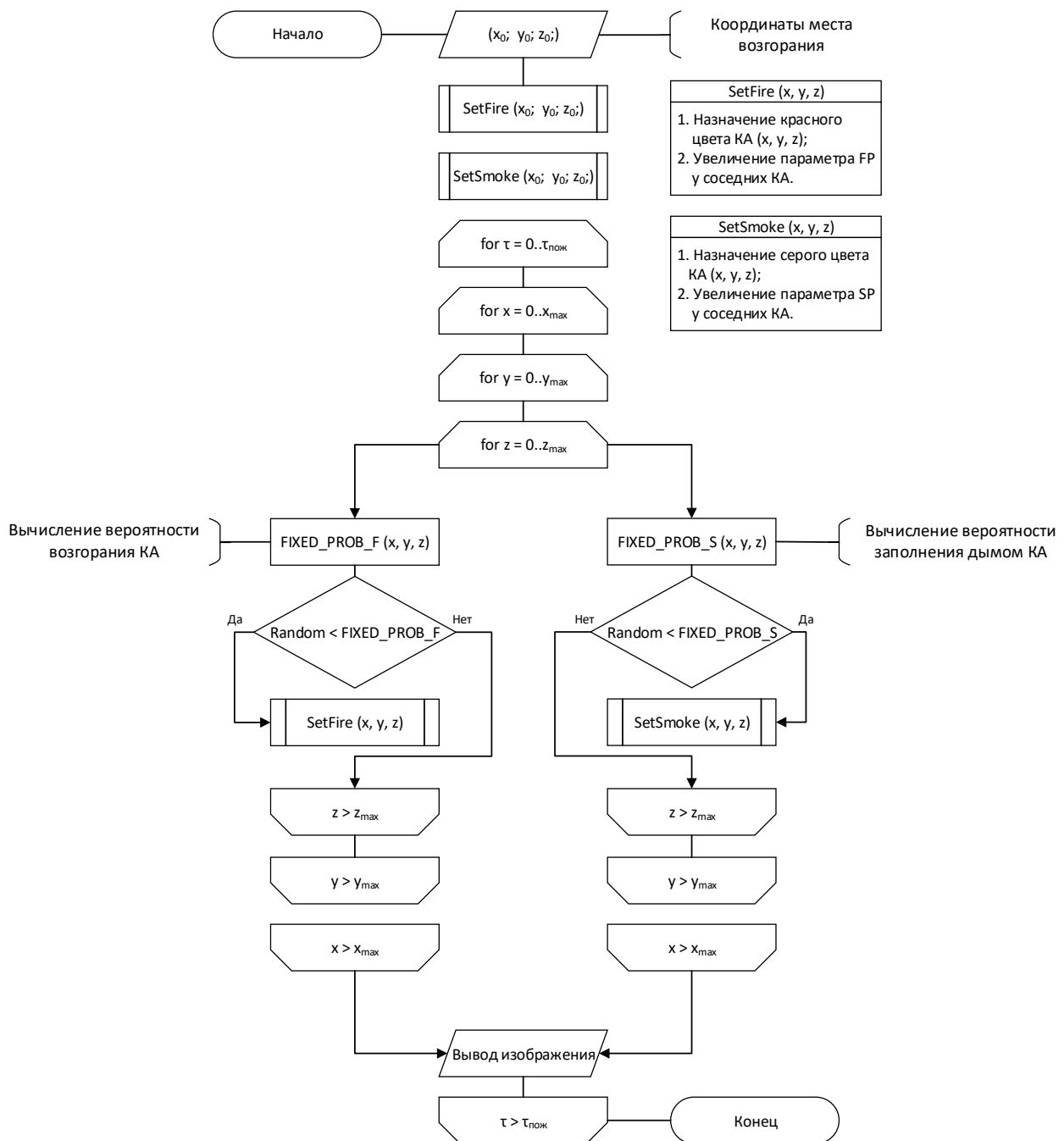


Рисунок 2 – Паралелізований алгоритм моделі поширення вогню і диму в тривимірному просторі

На жаль, навіть паралелізований алгоритм, наведений вище, не дозволяє реалізувати цю модель в режимі реального часу на середніх в апаратному плані комп'ютерах, в зв'язку з досить великою кількістю елементів, стан яких необхідно аналізувати (близько 64000 в кожному кубічному метрі об'єму будівлі). При моделюванні пожежі навіть у невеликому офісі за цим алгоритмом на сучасних комп'ютерах вдається досягти швидкості всього 10-15 кадрів в секунду.

Крім того, при такому зверненні до елементів при виконанні умов (6, 7) і загорянні елемента автоматично збільшується значення FP і SP в сусідніх елементів, і ймовірність зміни їх стану на поточному кроці обрахунку обчислюється з уже зміненим його значенням. Так при  $V = V_{\max}$  вся площа може бути охоплена вогнем всього за один крок рахунку.

Обидві зазначені проблеми вдалося вирішити шляхом оптимізації алгоритму програми з використанням масивів особливого типу – списків [7].

Створюється чотири об'єкти цього класу:

CheckList – список покажчиків на елементи, які ще не горять, (або не задимлені), розташовані впритул до фронту пожежі (загорання яких власне імітує поширення полум'я в тому чи іншому напрямку);

NewList – список покажчиків на елементи, які належить запалити на цьому кроці обрахунку, оскільки виконується умова (6, 7);

FireList – список покажчиків на елементи (їх сукупність є об'ємом пожежі), які вже горять.

SmokeList – список покажчиків на елементи (їх сукупність є об'ємом задимлення), що задимлені.

Таким чином, необхідні операції робляться не з усіма елементами всієї площі будівлі, а тільки з тими, які безпосередньо залучені в модель і є об'ємом пожежі або задимлення.

Реалізація моделі відбувається за наступним алгоритмом:

- обробляється список CheckList: обчислюється ймовірність

загорання (задимлення) кожного елемента, при виконанні умов (6, 7) він переноситься в список NewList;

- обробляється список NewList: елементи списку позначаються червоним (сірим) кольором, у всіх сусідніх елементів збільшується значення FP (SP) і вони заносяться в список CheckList;

- всі елементи з NewList переносяться в FireList (SmokeList)

- обробляється список FireList (SmokeList): обчислюється площа пожежі та інші параметри, необхідні для реалізації інтегральної моделі; пропорційно швидкості вигорання зменшується маса горючого матеріалу, при вигоранні всієї маси, що припадає на цю розрахункову одиницю площі, вона видаляється зі списку (загасання).

### **Висновки**

Таким чином, завдяки можливості присвоювати кожному елементу свої характеристики, стає можливим імітувати поширення пожежі при одночасному перебуванні в приміщенні будь-якої кількості різних видів горючого навантаження, в тому числі займання дверей і перегоронок з подальшим переходом пожежі в сусіднє приміщення.

Підбиваючи підсумок, можна сказати, що отримана ймовірнісна модель поширення пожежі в тривимірному просторі, дозволяє отримати площу і об'єм (кількісно) і форму пожежі при будь-яких введених користувачем конфігураціях приміщень, характеристиках горючого навантаження і довільній кількості джерел запалювання.

### **Перспективи подальших досліджень**

Завдяки методам розпаралелювання і оптимізації алгоритмів вдалося отримати ті значення швидкостей обрахунку моделі на різних конфігураціях комп'ютерів, які дозволяють працювати з результатами моделювання в режимі реального або прискореного часу. Це в свою чергу дає можливість використовувати отримані в статті результати при розробці комп'ютеризованих комплексів підготовки пожежного.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие / Ю.А. Кошмаров. – М : Академия ГПС МЧС России, 2000. – 118 с.
2. Daniel-Ioan Curiac «Fire Spreading Simulation in Large Buildings Based on Cellular Automata», *Advances In Dynamical Systems And Control*, vol. 45, no 3, pp. 159-162, 2010.
3. Головка А.В. Влияние ветра на процесс распространения пожара в математической модели клеточного автомата/ Головка А.В.// Информационно - керуючі системи на залізничному транспорті. Сб. науч. тр. – Харьков: Фолио, 2010. - Вып. 3. – С. 68 – 71.
4. А.А. Субачева, С.В. Субачев Имитационное моделирование развития и тушения пожаров в системе подготовки специалистов противопожарной службы // *Прикладная информатика*. – 2008. – № 4. – с. 27 – 37.
5. Филиппенко И.Г., Головка А.В. Клеточные автоматы – основа построения математической модели процесса распространения пожара // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2010. – Вып. № 3/5 (45). – с. 8 – 13.
6. Пустовіт М.О. Моделювання поширення пожежі всередині будівель у тривимірному просторі методом клітинних автоматів / М.О. Пустовіт // *Збірник наукових праць «Системи управління, навігації та зв'язку»*, - випуск №2 (26) - Харків: 2013
7. Рудницький В.М. Іноваційні принципи розробки тренажерів для пожежних: монографія / В.М. Рудницький, М.О. Пустовіт – Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017 – 166 с.
8. Жабин В.И. Метод распараллеливания процессов в вычислительных системах // *Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт»*. Информатика, управление и вычислительная техника. – 2000. – № 34. – С. 136-142.

REFERENCES

1. Yuri Koshmarov «Prediction of hazardous factors of fire in the room: a textbook», *Academy SFPS EMERCOM of Russia*, p. 118, 2000.
2. Daniel-Ioan Curiac «Fire Spreading Simulation in Large Buildings Based on Cellular Automata», *Advances In Dynamical Systems And Control*, vol. 45, no. 3, pp. 159-162, 2010.
3. Andrey Golovko «Wind effect on the propagation of a fire in a mathematical model of a cellular automaton», *Railway information and control systems*, vol. 3, pp. 68 – 71, 2010.
4. A. Subacheva, S. Subachev «Simulation modeling of the development and extinguishing of fires in the training system of specialists of the fire service», *Applied Informatics*, no. 4, pp. 27 – 37, 2008.
5. I. Philipenko, A. Golovko «Cellular automata - the basis for constructing a mathematical model of the fire propagation process», *East European Journal of Advanced Technology*, vol. 3/5 (45), pp. 8 – 13, 2010
6. Mykhailo Pustovit «Modeling of fire propagation inside buildings in three-dimensional space by cellular automata», *Control systems, navigation and communication*, vol. 2 (26), 2013
7. V. Rudnitskij «Innovative principles of developing simulators for firefighters: a monograph», *Cherkassy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes*, p. 166, 2017
8. V. Zhabin «Method of paralleling processes in computing systems», *Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute"*. Computer science, control and computer engineering, vol. 34, pp. 136-142, 2000.



*А. А. Быченко, канд. техн. наук, доцент, М. А. Пустовит, Ротарь В. Б., канд. пед. наук, доцент, А. И. Мигаленко, канд. экон. Наук,  
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля  
Национального университета гражданской защиты Украины*

## **РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ПОЖАРА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ТРЕХМЕРНОГО КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА**

*Разработана модель процесса развития пожара на основе метода трехмерных клеточных автоматов. В данной модели объем этажа здания представляется в виде конечного числа элементов - расчетных единиц объема (соответствующих кубическому метру, сантиметру и т.п.), каждый из которых имеет свои характеристики горючей нагрузки, в том числе, линейную скорость распространения пламени. Вероятность перехода ячейки из одного состояния в другое базируется на весовых коэффициентах, учитывающих взаимное расположение ячеек в пространстве и их состояние. Усовершенствована модель распространения огня и задымления в трехмерном пространстве на основе метода клеточных автоматов.*

*Выполнено распараллеливание и оптимизация алгоритмов расчета моделей распространения огня и дыма. Для этого использовано группировки элементов, имеющих разные состояния на каждом временном шаге путем внесения их в массив. Таким образом, необходимые операции делаются не со всеми элементами всей площади здания, а только с теми, которые непосредственно вовлечены в модель и являются объемом пожара или задымления. Благодаря функционалу присвоения каждому элементу своих характеристик, становится возможным имитировать распространения пожара при одновременном пребывании в помещении*

*любого количества различных видов горючей нагрузки, в том числе возгорания дверей и перегородок с последующим переходом пожара в соседнее помещение.*

*Достаточно часто подобные алгоритмы работают совместно с набором псевдослучайных чисел, например, при случайной выборке любых значений из большого массива данных. Для улучшения качества случайных чисел осуществлен запуск нескольких копий исходной функции генерации чисел.*

*Полученная вероятностная модель распространения пожара в трехмерном пространстве позволяет рассчитать площадь и объем (количественно) и форму пожара при любых введенных пользователем конфигурациях помещений, характеристиках горючей нагрузки и произвольном количестве источников зажигания. Благодаря проведенному распараллеливанию и оптимизации алгоритмов удалось увеличить значение скоростей расчета модели на различных конфигурациях компьютеров, что позволило получать результаты моделирования в режиме реального или ускоренного времени для дальнейшего использования в компьютеризированном тренажере подготовки пожарного.*

**Ключевые слова:** *распараллеливание; оптимизация процесса; клеточные автоматы; моделирование огня и задымления; развитие пожара.*

UDC 004.9:614.841

*Artem Bychenko, PhD in technical sciences, docent, Mykhailo Pustovit,  
Vasyl Rotar, PhD in pedagogical sciences, docent, Oleksiy Migalenko, PhD in economical sciences,  
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes of  
National University of Civil Defence of Ukraine*

## **PARALLELING AND CALCULATIONS OPTIMIZATION OF FIRE PROPAGATION PROCESS BASED ON THE METHOD OF THREE-DIMENSIONAL CELLULAR MACHINES**

*A model of the fire propagation process based on the method of three-dimensional cellular machine was developed. In this model, the volume of the building floor is represented as a finite number of elements - the estimated values of volume (corresponding to cubic meter, centimeter, etc.), each of them has its own characteristics of combustible load, including the linear velocity of flame propagation. The probability of moving cell from one state to another is based on weight coefficients that take into account the relative position of the cells in space and their states. Models of fire and smoke propagation in three-dimensional space based on the method of cellular machines were improved.*

*Parallelization and optimization of algorithms for calculating models of fire and smoke propagation were performed. This is done by grouping cells that have different states at each time step by adding them to arrays. Thus, the necessary operations are done not with all the cells of the entire building area, but only with those directly involved in the model, which is a volume of fire or smoke. Thanks to the functionality of assigning to each*

*element its characteristics, it becomes possible to simulate fire propagation while being in the room of any number of different types of combustible load, including the door and partitions with the subsequent propagation of fire to the adjacent room.*

*Quite often, such algorithms work in conjunction with a set of pseudorandom numbers, for example, when randomly sampling some values from a large data set. Multiple copies of the original number generation function have been run to improve the quality of random numbers.*

*The obtained probabilistic model of fire propagation in three-dimensional space allows to calculate the area and volume (quantitatively) and the shape of the fire with any user configurations, combustion load characteristics and any number of sources of ignition. Due to the parallelization and optimization of algorithms, it is possible to increase the value of model calculation speeds on different configurations of computers, which allowed to obtain simulation results in real or accelerated time for further use in a computer simulator of firefighter training.*