УДК 004.9

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДИНАМІКИ РОЗВИТКУ ПОЖЕЖІ

Рачинська А. Л.[1], Недєва О. А.[1], Іщенко О. В.[1]
[1]*Одеський національний університет імені І.І.Мечникова*

Анотація: В умовах сьогодення питання пожежної безпеки особливо гостро стоїть на тлі все більш масштабних техногенних, природних і соціальних катастроф, з якими стикається людство. Особливо тривожно, що кількість пожеж через військові конфлікти, обстріли та вибухи на об'єктах інфраструктури зростає. Ця динаміка створює додаткове навантаження на системи цивільного захисту і вимагає оперативних інструментів для прогнозування та оцінки ризиків. Пожежі є великими руйнівниками навколишнього середовища, промислових зон і житлових районів, вони становлять велику небезпеку для життя і здоров'я людей. Основні напрями, спрямовані на забезпечення пожежної безпеки, є імперативними, якщо ми зможемо звести до нуля обставини виникнення пожеж і зменшити їх наслідки.

Розуміння фундаментальних принципів горіння та гасіння важливе для успішної профілактики та гасіння пожеж. Тому сучасні інформаційні технології, придатні для моделювання динаміки поведінки пожежі з урахуванням фізико-хімічних властивостей горючих матеріалів і для швидкого виявлення критичних станів, схильних до займання, повинні бути реалізовані. Інноваційна інформаційна технологія, заснована на математичних моделях процесів горіння та поширення полум'я, дозволяє прогнозувати поширення пожежі в просторі.

В роботі представлено інформаційну технологію, що реалізується за допомогою мови програмування C# та графічних бібліотек. Розроблена ІТ поєднує в собі різні модулі технології, які дозволяють користувачеві створювати індивідуальні розрахунки, візуалізацію даних та інструмент аналізу результатів. Ця схема поєднує підхід зверху вниз до проблем прогнозування пожеж. Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що, використовуючи такий інструмент візуалізації, можна досліджувати динаміку поширення пожежі, що, в свою чергу, спрощує подальший аналіз і допомагає приймати компетентні рішення.

Ключові слова: інформаційна технологія, візуалізація процесу, чисельне дослідження, моделювання, програмування.

INFORMATION TECHNOLOGY FOR VISUALIZATION OF FIRE DEVELOPMENT DYNAMICS

A. Rachinska[1], O. Nedieva[1], O. Ishchenko[1]
[1]*Odesa I.I. Mechnikov National University*

Abstract: In today's conditions, fire safety is a particularly pressing issue given the increasingly large-scale man-made, natural, and social disasters facing humanity. It is especially alarming that the number of fires caused by military conflicts, shelling, and explosions at infrastructure facilities is on the rise. This dynamic creates an additional burden on civil protection systems and requires operational tools for risk prediction and assessment. Fires are major destroyers of the environment, industrial areas, and residential areas, posing a great danger to human life and health. The main areas aimed at ensuring fire safety are imperative if we are to reduce the circumstances of fires to zero and mitigate their consequences.

Understanding the fundamental principles of combustion and extinguishing is important for successful fire prevention and extinguishing. Therefore, modern information technologies suitable for modeling the dynamics of fire behavior, taking into account the physical and chemical properties of

combustible materials, and for the rapid detection of critical conditions prone to ignition, must be implemented. Innovative information technology based on mathematical models of combustion and flame propagation processes allows predicting the spread of fire in space. IT is implemented using the C# programming language and graphics libraries.

It combines various technology modules that allow the user to create individual calculations, data visualization, and a tool for analyzing results. This scheme combines a top-down approach to fire prediction problems. Analysis of the results obtained shows that using such a visualization tool, it is possible to study the dynamics of fire spread, which, in turn, simplifies further analysis and helps to make competent decisions. There are many organizations that need help, and this technology can be customized to the exact requirements of a particular organization. It can be easily adapted to any needs – emergency response services, the environment, civil protection, or other structures involved in the analysis and prediction of emergencies.

Keywords: information technology, process visualization, numerical research, modeling, programming.

.

1 ВСТУП

У сучасних умовах, зокрема на тлі воєнних конфліктів та вибухів на об'єктах критичної інфраструктури, проблема пожеж набуває ще більшої гостроти. Такі події значно ускладнюють роботу рятувальних служб та підвищують ризики для населення. Вогонь, що вийшов з із-під контролю, здатний викликати значні руйнівні та смертоносні наслідки.

Пожежі почали розглядати як комплекс взаємопов'язаних процесів і явищ. Розпочалися розробки нових вогнегасних речовин та застосування вже наявних речовин іншими способами. Існує безпосередня зацікавленість у зниженні вірогідності виникнення пожеж і зменшенні шкоди від них. Досягнення цієї мети є досить актуальним і складним соціально-економічним завданням, вирішенню якого повинні сприяти системи пожежної безпеки. Боротьба з пожежами, а отже і розвиток науки про пожежі в цілому, включно з дослідженням процесів горіння під час пожеж, у поєднанні з використанням сучасних інформаційних технологій, стає надзвичайно важливим завданням сучасного суспільства.

2 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Важлива особливість явища горіння — здатність до просторового поширення. Більшість розрахункових методів є наближеними, мають характер емпіричних залежностей. Таким прикладом є формули для визначення температури самозаймання за середньою довжиною вуглецевого ланцюга, концентраційних меж поширення полум'я та інші.

Щоб визначити теоретичну кількість повітря, необхідну для горіння досліджуваної речовини використовується брутто-рівняння матеріального і теплового балансу реакції горіння [1-3]

$$n_{\text{п}}[\text{п}]+n_{\text{о}}[\text{о}]=n_{\text{пгі}}[\text{пг}]+Q, \tag{1}$$

де $n_{\text{п}}[\text{п}]$, $n_{\text{о}}[\text{о}]$, $n_{\text{пгі}}[\text{пг}]$ – стехіометричні коефіцієнти при відповідних речовинах, ($[\text{п}]$ – пальне , $[\text{о}]$ – окислювач, $[\text{пг}]$ – продукти горіння); Q – тепловий ефект хімічної реакції.

Теоретичний об'єм повітря $V_{\text{п}}^{0}$ м^3/кг необхідного для горіння пального

$$V_{\text{п}}^{0}=\frac{22,4\left(n_{O_2}+n_{N_2}\right)}{n_{\text{п}}M_{\text{п}}}, \tag{2}$$

де n_{O_2} і n_{N_2} – мольні частки кисню та азоту у стехіометричній реакції, $n_{\text{п}}$ – кількість речовини пального, $M_{\text{п}}$ – молярна маса пального.

Для практичних розрахунків приймають, що повітря складається з 21% кисню і 79% азоту. Таким чином, об'ємне співвідношення азоту і кисню в повітрі становитиме:

$$\frac{\varphi_{N_2}}{\varphi_{O_2}}=\frac{79}{21}=3.76, \tag{3}$$

де φ_{N_2}, φ_{O_2} – відповідно (% об.) вміст азоту та кисню в окислювальному середовищі.

Під час горіння на пожежах витрата повітря відрізняється від теоретично необхідної. Дійсна витрата повітря на одиницю пального записується як

$$V_{\text{п}} = \alpha V_{\text{п}}^{0} \tag{4}$$

Множник α називається коефіцієнтом надлишку повітря. Різниця між дійсною і теоретично необхідною кількістю повітря називається надлишком повітря.

$$\Delta V = V_{\text{п}} - V_{\text{п}}^{0}$$

або

$$\Delta V_{\text{п}} = V_{\text{п}}^{0}\left(\alpha - 1\right). \tag{5}$$

Повний, дійсний об'єм продуктів горіння знаходиться з урахуванням надлишку повітря ($\alpha > 1$)

$$V_{\text{пг}} = V_{\text{пг}}^{0} + \left(\alpha - 1\right)V_{\text{п}}^{0}, \tag{6}$$

де $V_{\text{пг}}^{0}$ – теоретичний об'єм продуктів при $\alpha = 1$.

Адіабатична температура горіння – температура, до якої нагріваються продукти горіння, коли все тепло, що виділилося в результаті згоряння, йде на їх нагрівання. Дійсна температура горіння завжди нижча за адіабатичну через тепловтрати [1-3].

Для розрахунку температури горіння складемо рівняння теплового балансу, вважаючи, що тепло, яке виділилося в результаті згоряння, нагріває продукти горіння $\left(CO_2, H_2O, N_2\right)$ від початкової температури T_0 до температури $T_{\text{г}}$.

$$Q_{н}\left(1-\eta\right) = \sum c_{p_{\text{пгі}}} V_{\text{пгі}}\left(T_{\text{г}} - T_0\right), \tag{7}$$

де $Q_{н}$ – нижча теплота згоряння, η – коефіцієнт тепловтрат (частка втрат тепла на випромінювання, а також унаслідок неповноти згоряння); $c_{p_{\text{пгі}}}$ і $V_{\text{пгі}}$ – теплоємність і об'єм *i*-го продукту горіння.

У пожежній інженерії для швидких оцінок часто застосовують спрощене рівняння енергетичного балансу, де теплова енергія від горіння підвищує температуру повітря в приміщенні:

$$T_{avg} = T_0 + \frac{Q_{total}}{\rho c_p V},\ Q_{total} = m_{\text{г}} H_c, \tag{8}$$

де T_{avg} – середньооб'ємна температура, T_0 – початкова температура повітря (зазвичай 20°C), Q_{total} – сумарна теплова енергія, c_p – питома теплоємність повітря (≈ 1000 Дж/(кг·°C)), ρ – густина повітря (приблизно 1.2 кг/м³ при нормальних умовах), V – об'єм приміщення, $m_{\text{г}}$ – маса згорілої речовини за даний час, H_c – теплота згоряння.

Динамікою будь-якого процесу, в тому числі пожежі, називається залежність його параметрів від часу. Знання закономірностей зміни параметрів пожежі необхідне для гарантування безпеки людей, розроблення заходів для запобігання поширенню пожеж, для проектування систем автоматичного виявлення і гасіння, планування сил і засобів, необхідних під час ліквідації пожеж.

У багатьох випадках пожежа починається з прогрівання локальної ділянки поверхні горючого матеріалу й утворення над нею горючої суміші, яка потім запалюється. Зростання температури матеріалів супроводжується збільшенням лінійної швидкості поширення фронту полум'я.

При розрахунку площі пожежі припускається, що фронт полум'я поширюється рівномірно в усіх напрямках зі швидкістю υ, м/хв. До моменту торкання стін має форму кола

$$F(t) = \pi(\upsilon t)^2. \quad (9)$$

Коли фронт полум'я досягає огороджувальної конструкції, його форма відразу стає прямокутною.

3 ЦІЛІ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведемо дослідження для прямокутних приміщень з внутрішнім розташуванням осередку горіння. Згідно формулам (2-8) проводиться аналітична оцінка параметрів вибухонебезпечності різних речовин: розрахунки кількості повітря, необхідного для горіння досліджуваної речовини, температури горіння та площі пожежі.

В роботі ставиться ціль побудувати інформаційну технологію для моделювання чисельних досліджень та візуалізації динаміки розвитку пожежі у приміщеннях на основі математичної моделі поширення полум'я та теплових процесів горіння.

Для досягнення поставленої цілі необхідно розглянути наступні задачі:

- задача побудови модуля користувацького інтерфейсу інформаційної технології відповідно до принципів об'єктно-орієнтованого програмування;

задача візуалізації динаміки розвитку пожежі у 2D-просторі з використанням засобів комп'ютерної графіки;

- задача розробки модулю математичного моделювання та чисельних розрахунків пожежних процесів;
- задача створення системи зберігання вхідних даних та отриманих результатів.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В роботі побудовано інформаційну технологію [4-5] для моделювання чисельних досліджень та візуалізації динаміки розвитку пожежі у приміщеннях прямокутної форми. Архітектура ІТ має вигляд, що представлено на рис. 1.

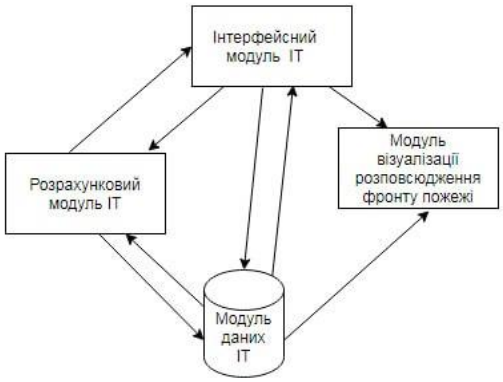

Рис. 1. Архітектура інформаційної технології

Інформаційна технологія створена у середовищі розробки Visual Studio на мові програмування C# із використанням принципів об'єктно-орієнтованого програмування [6-8]. Бібліотека класів реалізує обчислювальну частину та забезпечує виконання чисельних розрахунків динаміки розвитку пожеж у приміщенні. Візуалізація отриманих результатів здійснюється за допомогою комп'ютерної графіки у 2D-просторі [9-11].

Для визначення теоретичної кількості повітря, необхідного для горіння досліджуваної речовини створено модуль даних з характеристиками різних пальних, для яких користувач ІТ може проводити розрахунок.

Інтерфейсний модуль ІТ є центральним вузлом архітектурного рішення побудованого проекту. Він забезпечує навігацію між іншими функціональними модулями та виконання основних розрахунків. Містить інтерфейсну панель із зручним доступом до розрахункових вікон та основного функціоналу проекту.

В роботі виконано чисельне дослідження для двох моделей розвитку пожежі. Обидві моделі розраховані для двох однакових за розмірами приміщень, але з різним розташуванням осередків горіння. Перша модель має осередок горіння біля двері приміщення. А друга – з осередком у центрі приміщення. Для кожного сценарію визначено площу пожежі, середньооб'ємну температуру, температуру над осередком та температуру на рівні 1,7 м біля дверей у часові моменти 5, 15 та 20 хв з моменту виникнення загоряння.

Результати чисельного дослідження візуалізуються за допомогою відповідного графічного модуля. В роботі представлено модель приміщення – бібліотека з розмірами і об'ємом відповідно 48×24×4.2 (м), V =4838.4 (м^3). Приміщення має 8 вікон уздовж кожної довгої стіни з розмірами розміри 3×1.8 (м). Двері приміщення розташовані на меншій стороні по центру. Початкова температура приміщення T_0 =20 С. Повітря в бібліотеці має густину ρ =1.2 кг/м3, та питому теплоємність повітря c_p =1000 Дж/(кгК). Частка втрат/акумуляції тепла в огородженнях: η =0.995. Обмеження тепловиділення вентиляцією (оцінка MQH): $\dot{Q}_{max}$ ≈192 МВт (для середньої висоти ~2–2.2 м) [12]. У розрахунках над осередком тепловиділення обмежуємо цим значенням.

На рисунку 2 представлено процес динаміки фронту пожежі в приміщенні з осередком горіння біля двері зі швидкістю поширення фронту пожежі υ =1.2 м/хв. В роботі на рис. 2а-2г представлено візуалізацію у моменти часу t=5, 10, 15, 20 хв відповідно. Також на рисунках 2а-2г вказана розрахована площа пожежі S_fire (м^2) у перераховані моменти часу.

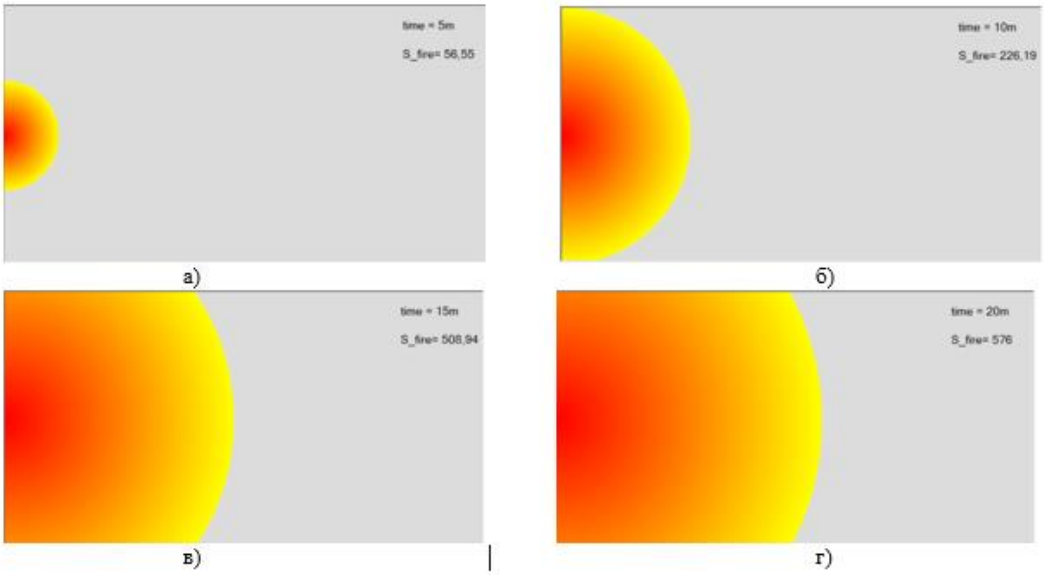

Рис. 2. Динаміка розвитку пожежі в приміщенні з осередком горіння біля двері

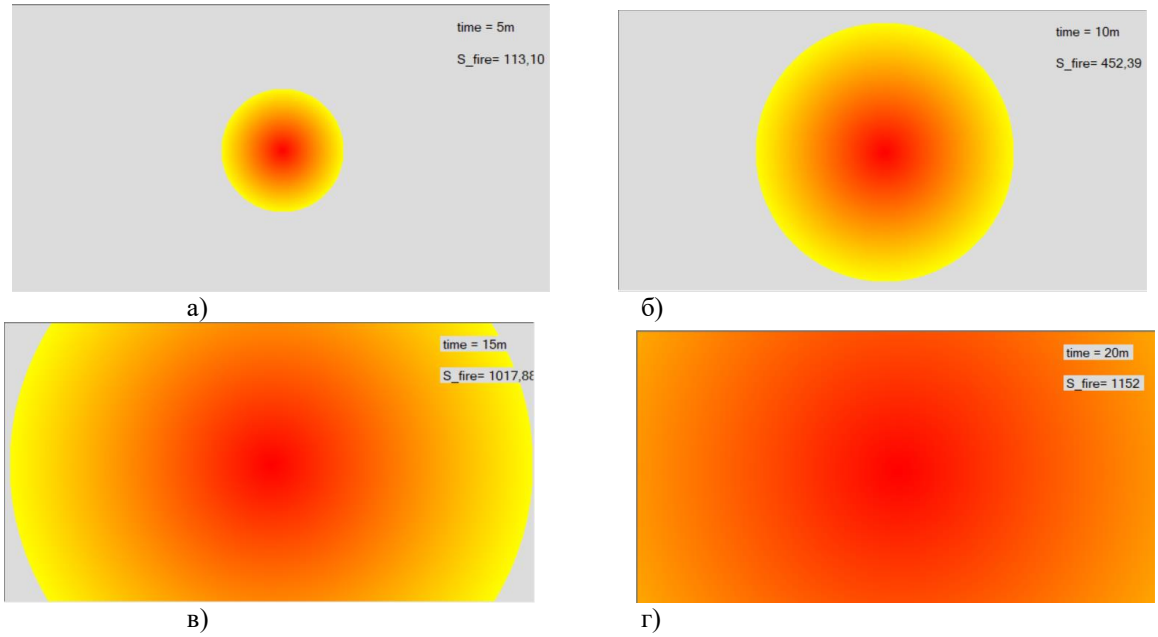

Рис. 3. Динаміка розвитку пожежі з осередком горіння в центрі приміщення

На рисунку 3 розглянуто модель розповсюдження пожежі у прямокутному приміщенні тієї самої бібліотеки з осередком горіння в центрі приміщення. Моделювання проведено з тією ж швидкістю фронту пожежі υ=1.2 м/хв. Повітря приміщення та технічні характеристики співпадають з параметрами першої моделі. На рис. 3а-3г представлено візуалізацію динаміки пожежі та площу пожежі у моменти часу t=5, 10, 15, 20 хв відповідно.

Візуалізація проводиться згідно результатам отриманим розрахунковим модулем розробленої інформаційної технології. Функціонал розрахункового модуля дозволяє проаналізувати температуру над осередком, середньооб'ємної температури та температури на заданому рівні біля дверей приміщення.

На рис. 4 представлено графік температури над осередком для двох моделей розташування осередку пожежі.

Середньооб'ємна температура (час в секундах) розраховується згідно формули

$$T_{cp}(t) = T_0 + \frac{(1-\eta)\dot{q}''F(t)t}{\rho c_p V}.$$

Над осередком (під стелею): кореляція типу Heskestad, константу підібрано так, щоб при $\dot{Q}$=192 МВт отримувати ≈1260 С, далі усе масштабується та обрізається цим максимумом.

Результат обчислення середньооб'ємної температури для двох розрахункових моделей розташування осередка пожежі представлено на рис. 5.

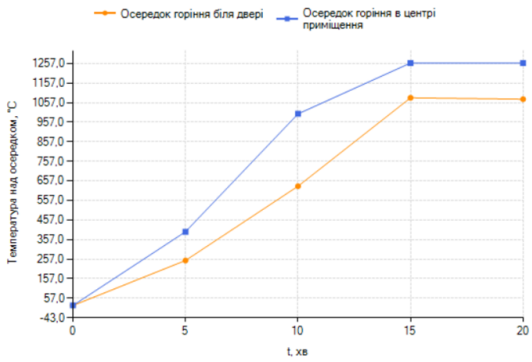

Рис.4. Графік температури над осередком

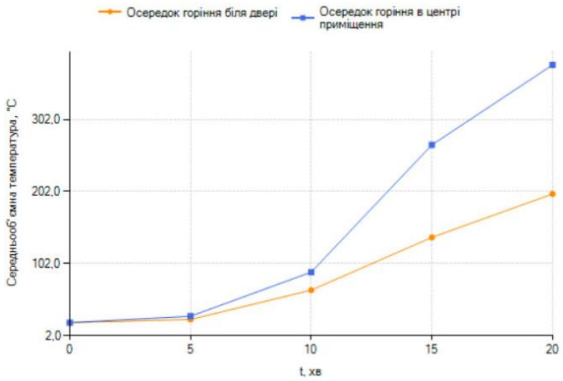

Рис.5. Графік середньооб'ємної температури

В роботі представлено графік зміни температури на рівні 1.7 м біля дверей бібліотеки на рис. 7.

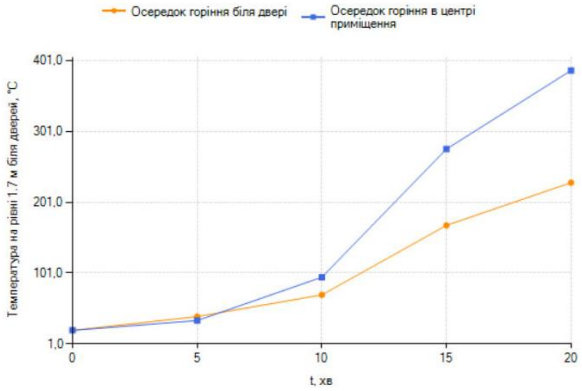

Рис. 6. Графік температури на рівні 1.7 м біля дверей

5 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати чисельного дослідження та моделювання динаміки пожежі показали, що для першої моделі з осередком біля дверей розповсюдження полум'я відбувається переважно в глиб приміщення, і вже через 20 хв пожежа займає приблизно половину його площі. При цьому середньооб'ємна температура зростає до 198,6°C, а температура над осередком – до 1075°C.

Для другої моделі, коли осередок горіння у центрі приміщення, фронт пожежі має більш рівномірний круговий характер, тим самим полум'я швидше охоплює більшу площу. Температури зростають значно інтенсивніше, досягаючи 377,7°C середньооб'ємної та 1260°C над осередком через 20 хв після початку загоряння.

Згідно результатам розрахунків, що представлено на рис. 5, температура над осередком вища у сценарії 2, але після ~15 хв у обох випадках її зростання обмежується вентиляцією (беремо ліміт ~1260 °C).

Проведене чисельне дослідження (див. рис. 6) показало, що середньооб'ємна температура у сценарії 1 нижча, бо площа палаючої зони на ранніх етапах — півколо, а не коло; і навіть на 20-й хв вогонь обмежений половиною зали.

Розташування осередку змінює розподіл температур і темп охоплення площі — це критично для планування евакуації (точка 1.7 м у дверях) і розстановки датчиків. Згідно рис. 7 видно, що температура на висоті 1.7 м біля дверей для першої моделі розташування осередка до 12-ї хв збільшується на +15 °C, а після 12-ї хв на +30 °C. Та ж сама температура для другої моделі розташування осередку до 12-ї хв збільшується

на 5°С, а після 12-ї хв - на10 °С. Точка 1.7 м біля дверей чутливіша до близькості джерела: у сценарії 1 додаток T_{cp} більший (бо осередок поруч).

Порівняльний аналіз свідчить, що розташування осередку горіння та умови вентиляції суттєво впливають на швидкість розповсюдження вогню і температурні режими у приміщенні.

6 ВИСНОВКИ

Розроблено інформаційну технологію дослідження динаміки пожежі в прямокутних приміщеннях з внутрішнім розташуванням осередку горіння.

Отримані ІТ-моделі дозволяють швидко отримувати інженерно корисні оцінки середньооб'ємної температури та температур під стелею, якщо чітко зафіксовані $\dot{q}''$, η і правила геометрії фронту.

Для точності у майбутньому варто додати двошарову модель (гарячий/холодний шари), явне випромінювання, теплообмін зі стінами та час-до-руйнування отворів як розрахункові параметри.

7 ЕТИЧНІ ДЕКЛАРАЦІЇ

Автори не мають відповідних фінансових чи нефінансових інтересів, які слід розкривати.

Література

1. Кусковець С. Л., Шаталов О. С., Турченюк В. О. Основи теорії горіння та вибуху: Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2012. 374 с.
2. Ємельяненко С. О., Лавренюк О. І., Михалічко Б. М. Теорія горіння та вибуху. Пожежі та їх ліквідація: Навчальний посібник. Львів: ЛДУ БЖД, 2019.158 с.
3. Тарахно О. В., Жернокльов К. В., Трегубов Д. Г. Теорія розвитку та припинення горіння. Методичні вказівки до вивчення курсу, контрольні завдання для курсантів, слухачів денної та заочної форм навчання. Харків: Університет цивільного захисту України, 2011. 207 с.
4. Peter Bernus, Kai Mertins, Gunter Schmidt. Handbook on Architectures of Information Systems. Berlin: Springer, 2016. 886 p.
5. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем. Черкаси: Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.
6. Daniel Solis. Illustrated C# 2012. Berkeley: APress, 2012. 732 p.
7. Andrew Troelsen, Phillip Japikse Pro C# 9 with .NET 5: Foundational Principles and Practices in Programming. Apress: New York, 2021.1383 p.
8. Svetlin Nakov & Co Fundamentals of computer programming with C#. The Bulgarian C# Programming Book: Sofia, 2013.1122 p.
9. Маценко В. Г. Комп'ютерна графіка. Чернівці: Рута, 2009. 343 с.
10. Пічугін М. Ф., Канкін І. О., Воротніков В. В. Комп'ютерна графіка. Київ: Центр учбової літ., 2013. 346 с.
11. Рачинська А. Л. Конспект лекцій з дисципліни «Комп'ютерна графіка» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня. Електронне видання. Одеса: ОНУ, 2021. 119 с.
12. Білик С. І .Інформаційно-довідковий збірник з пожежної безпеки: Довідник. Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності МНС України, 2013.79 с.

References

1. Kuskovec, S. L., Shatalov, O. S., Turcheniuk, V. O. (2012). *Osnovy teorii horinnia ta vybukhu* [Fundamentals of combustion and explosion theory] (monograph). Rivne: NUVHP [in Ukraine].
2. Iemelianenko, S. O., Lavreniuk, O. I., Mykhalichko, B. M. (2019) Teoriia horinnia ta vybukhu. Pozhezhi ta yikh likvidatsiia. [Theory of combustion and explosion. Fires and their elimination:] (monograph). Lviv: LDU BZhD [in Ukraine].

3. Tarakhno, O. V., Zhernoklov, K. V., Trehubov, D. H. (2011) Teoriia rozvytku ta prypynennia horinnia. [Theory of development and cessation of combustion] (monograph). Kharkiv: Universytet tsyvilnoho zakhystu Ukrainy [in Ukraine]..
4. Peter, Bernus, Kai, Mertins, Gunter Schmidt. (2016) Handbook on Architectures of Information Systems. (monograph). Berlin: Springer.
5. Avramenko, V. S., Avramenko, A. S. (2017). Proektuvannya informacijnih system. [Design of information systems]. (monograph). Cherkasy: Cherkasy National University named after. B. Khmelnitsky. [in Ukraine].
6. Daniel, Solis. (2012) Illustrated C# 2012. (monograph). Berkeley: APress.
7. Andrew, Troelsen, Phillip, Japikse (2021) Pro C# 9 with .NET 5: Foundational Principles and Practices in Programming. (monograph). Apress: New York.
8. Svetlin, Nakov & Co (2013) Fundamentals of computer programming with C#. (monograph). The Bulgarian C# Programming Book: Sofia.
9. Matsenko V. G. (2009). Komp'yuterna grafika. [Computer graphics]. (monograph). Chernivtsi: Ruta. [in Ukraine].
10. Pichugin, M. F., Kankin, I. O., Vorotnikov, V. V. (2013). Komp'yuterna grafika [Computer graphics]. (monograph). Kyiv: Center for educational literature. [in Ukraine].
11. Rachynska, A. L. (2021) Konspekt lektsii z dystsypliny «Kompiuterna hrafika» dlia zdobuvachiv vyshchoi osvity pershoho (bakalavrskoho) rivnia. [Lecture notes on the discipline "Computer Graphics" for first-year (bachelor's) level higher education students] (monograph). Odesa: ONU [in Ukraine].
12. Bilyk, S. I (2013) Informatsiino-dovidkovyi zbirnyk z pozhezhnoi bezpeky: [Information and reference collection on fire safety] Lviv: Lvivskyi derzhavnyi universytet bezpeky zhyttiediialnosti MNS Ukrainy [in Ukraine].

Рачинська Алла Леонідівна
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
к.ф.-м.н., доцент
вул. Всеволода Змієнка, 2 Одеса, Україна, 65082
rachinskaya@onu.edu.ua,
ORCID: 0000-0003-2430-9603
Недєва Ольга Анатоліївна
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
викладач
вул. Всеволода Змієнка, 2 Одеса, Україна 65082
nedevaolya@gmail.com,
ORCID: 0009-0005-6469-5213
Іщенко Олеся Володимирівна
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
к.т.н.
вул. Всеволода Змієнка, 2 Одеса, Україна 65082
Alesya.Ishchenko@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-7882-4718

Для посилань:
Рачинська А. Л., Недєва О. А., Іщенко О. В. Інформаційна технологія візуалізації динаміки розвитку пожежі. Механіка та математичні методи, 2025. Т. VII. № 2. С. 160–169

For references:
A. Rachinska, O. Nedieva, O. Ishchenko (2025). Information technology for visualization of fire development dynamics. Mechanics and Mathematical Methods. VII (2). 160–169.