

УДК 614.841.42

В. М. Нуянзін, канд. техн. наук, М. О. Кропива, канд. техн. наук, А. О. Майборода, канд. пед. наук, доцент, А. Ю. Вовк, І. А. Марченко, Д.Е. Копитін
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГАЗОБМІНУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ ДІОКСИДОМ ВУГЛЕЦЮ

Метою проведення досліджень даної роботи є вивчення ефективності гасіння пожежі діоксидом вуглецю з урахуванням зміни газообміну. Проведено аналіз застосування нейтральних газів в системах автоматичного пожежогасіння, які передбачають об'ємний спосіб гасіння. Аналізом встановлено, що швидкість ліквідації горіння буде залежати від газообміну в приміщенні, тобто від кількості та місць розташування вентиляційних отворів, дверей, вікон тощо. Для дослідження впливу газообміну на ефективність та швидкість припинення горіння розроблено установку, камера якої імітує реальне приміщення та комп'ютерну модель такого ж приміщення для проведення моделювання. Створена установка дозволяє застосовувати якості флегматизатора - діоксид вуглецю, азот, аргон тощо. Обґрунтовано структурні компоненти установки таким чином, що з ємності під тиском надходить флегматизатор до камери для спалювання, що обладнана двома отворами (перший для відводу продуктів горіння з камери, другий для вводу флегматизатора) та двома отворами, які імітують вентиляцію та вхідний прохід та дозволяють змінювати газообмін в камері. Кількість флегматизатора, що подається до камери спалювання, регулюється редуктором. В камеру вмонтовано терморпару для контролю температури в зоні горіння. Створена комп'ютерна модель камери для спалювання, аналогічна до натурального експерименту. Проведено обчислювальний експеримент. Проведено натурний експеримент. Встановлено, що вплив, який чинять відкриті вентиляційні канали на швидкість припинення горіння, найбільш суттєвий при низьких швидкостях подачі інертних газів. Розраховано відносно відхилення результатів математичного моделювання від експериментальних даних. Результати проведеного дослідження показують ефективність моделювання теплових процесів для проведення подальших досліджень впливу газообміну на швидкість гасіння пожеж в закритих об'ємах.

Ключові слова: пожежогасіння, інертні гази, вогнегасні речовини, комп'ютерне моделювання.

Постановка проблеми. В Україні гостро постає проблема боротьби з пожежами та їх наслідками. За результатами аналізу пожеж та їх наслідків, в Україні за 2019 рік [1] виявлено тенденції, що вказують на збільшення кількості пожеж та матеріальних втрат від них, травмованих на пожежах людей, порівняно з 2018 роком. Для боротьби з пожежами використовують речовини, які умовно називають вогнегасними засобами.

Традиційно усі речовини, які використовуються для припинення горіння, умовно поділяються на 4 види [2]:

- ті, що розводять речовини у зоні реакції горіння – це в основному нейтральні гази: азот (N_2), вуглекислий газ (CO_2), водяна пара (H_2O), гелій (He), аргон (Ar) та деякі інші;

- ті, що охолоджують зону реакції або горючі речовини – це в основному вода, порошок, пісок та інші;

- ті, що ізолюють речовини (горючі або окисники) від зони горіння – це пісок, вогнегасні порошки, піна (повітряно-механічна, хімічна);

- ті, що гальмують реакцію горіння (хімічні активні інгібітори) – це деякі види хімічних порошоків та рідин, які містять

хімічні елементи 7 групи таблиці Менделєєва, - галоїди типу чотирьоххлористого вуглецю (CCl_4), бромистого метилену (CH_2Br_2), бром етилу ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$), тетрафтордибромметану ($\text{C}_2\text{Br}_2\text{F}_4$) та багато інших.

При першому розгляді такий умовний поділ майже не викликає сумнівів. Про умовності та відносності такого поділу, проте, що вогнегасна речовина діє на процес припинення горіння сукупністю своїх фізичних та хімічних властивостей, описано в багатьох роботах [3, 4]. Наприклад, нейтральні гази, при введенні в зону горіння, розводять молекули горючої речовини та окисника; зіткнення їх стає менш ймовірним, реакція окиснення сповільнюється, інтенсивність горіння знижується, тепловиділення слабша, а при певній концентрації інертного газу взагалі припиняється. Як наслідок горіння припиняється і пожежа тухне.

З фізики горіння і вибуху [5] відомо, що при зниженні об'ємної концентрації кисню в зоні горіння менше 14% кінетичне (і дифузійне) горіння припиняється. Але, якщо справи тільки в механічному розбавленні молекул горючої речовини з окисником, то здається, що все рівно чим розбавляти – азотом, вуглекислим газом, гелієм, парами води тощо. Проте дослідження [6] показали, що це зовсім не так. І на ефективність гасіння пожеж інертними газами помітно впливає їх теплофізичні властивості.

В роботі [7] показано залежність необхідної концентрації різних інгібіторів та флегматизаторів для розбавлення метану (рис. 1). З рисунку видно, що найбільшу ефективність мають інгібітори (галогеновуглеводні) та флегматизатори (вуглекислий газ та водяна пара).

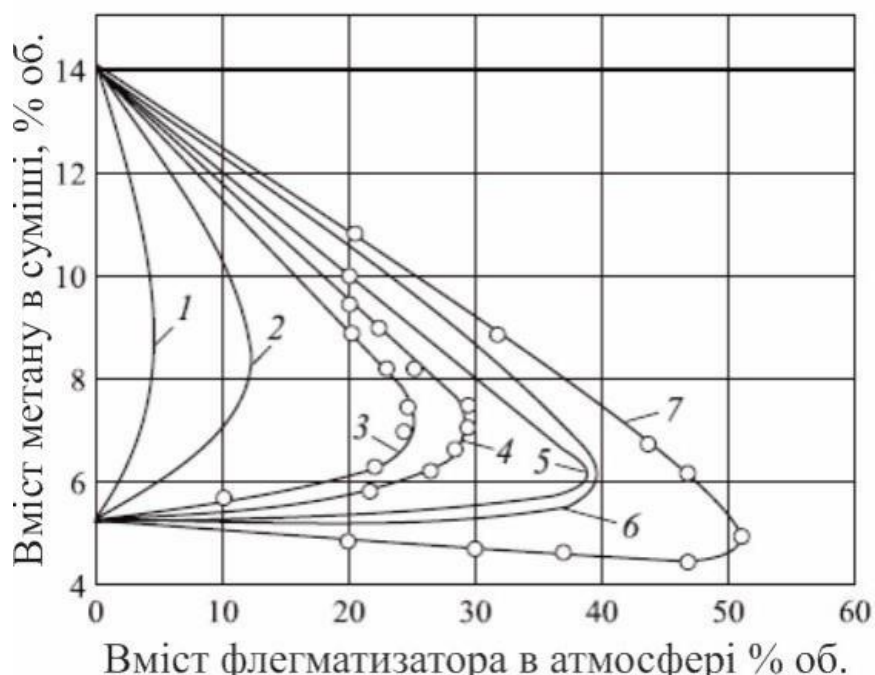


Рисунок 1 – Залежність концентрації метану в суміші від вмісту флегматизатора в атмосфері: 1, 2 – галогеновуглеводні типу $\text{C}_2\text{Br}_2\text{F}_4$; 3 – діоксид вуглецю CO_2 ; 4 – водяна пара H_2O ; 5 – азот N_2 ; 6 – гелій He; 7 – аргон Ar.

Разом з тим, нейтральні гази в основному використовуються в системах автоматичного пожежогасіння, які передбачають об'ємний спосіб гасіння. Зрозуміло, що швидкість ліквідації загорання буде залежати від газообміну в

приміщенні, тобто кількості та місцю розташування вентиляційних отворів, не закритих дверей, вікон тощо. Дослідження в цьому напрямку, як в Україні та і в світі майже не проводяться, тому мета даної роботи є актуальною.

Аналіз останніх досліджень.

Основи теорії гасіння дифузійного полум'я представлені зокрема в роботі [8]. Доведено, що припинення горіння в газовому дифузійному факелі настає тоді, коли в момент подачі вогнегасної речовини швидкість хімічної реакції у фронті полум'я, локалізованому в контурі стехіометричного складу, стає недостатньою для хімічного перетворення при заданих швидкостях пального та окисника. При цьому флегматизатор може подаватися як з окисником, так і з паливом.

Кількість робіт, присвячених визначенню мінімальних вогнегасних концентрацій (граничних концентрацій флегматизатора для подачі в зону окисника) дуже багато (див., [9, 10]). У роботах [11, 12] виявлено ефект: синергізму при подачі в зону окисника флегматизаторами різної хімічної природи (наприклад, хімічно-інертних і тих, що володіють інгібуючою дією). На основі використання ефектів синергізму запропоновані нові високоефективні вогнегасні склади [10]. Вплив агентів різної хімічної природи на гасіння дифузійного полум'я при їх подачі разом з окислювачем вивчали в роботах [10, 11]. При цьому виявлені хімічні механізми

пригнічення горіння вуглеводнів за допомогою фторовані агентів.

В той же час проведено аналіз літературних джерел, в яких вивчено гасіння дифузійного факелу полум'я шляхом подачі флегматизатора разом з паливом [13, 14]. Однією з перших робіт в цьому напрямку слід відзначити дослідження [13], в якому досліджені концентраційні межі дифузійного горіння суміші $\text{H}_2 + \text{He}$ в повітрі. Поряд з цим, слід відзначити дослідження умов стабілізації дифузійних факелів сумішею водню і метану з різними інертними розчинниками [14].

Викладення основного матеріалу.

Для дослідження впливу газообміну на ефективність та швидкість припинення горіння було розроблено установку (рис. 2), камера якої імітує реальне приміщення та комп'ютерну модель (рис. 3) такого ж приміщення для проведення моделювання.

Найбільш близьким аналогом за технічною суттю пристрою є установка газового пожежогасіння [15], яка містить балон з газовою вогнегасною речовиною, запірно-пускову арматуру, трубопроводи та випускні насадки. Однак, в даній установці не передбачено можливості здійснення регулювання витрати вогнегасної речовини та зміни кількості відкритих пройм.

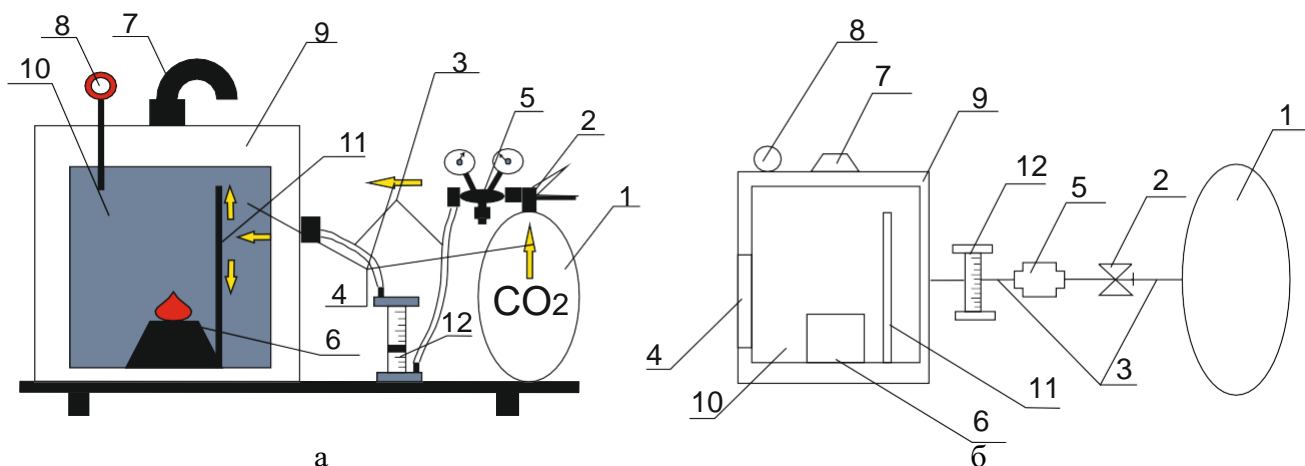


Рисунок 2 – Установка для дослідження припинення горіння методом флегматизації (а); конструктивна схема установки (б):

1 – смінь з флегматизатором під тиском; 2 – вентиль; 3 – гнучкий трубопровід; 4 – отвір для притоку повітря із засувкою; 5 – редуктор; 6 – горюча речовина; 7 – отвір для відводу продуктів горіння; 8 – датчик температури; 9 – ізольована камера; 10 – термостійке скло; 11 – екран; 12 – ротаметр.

Установка (рис. 2) працює за наступною схемою. З ємності під тиском надходить флегматизатор до камери для спалювання (імітаційної кімнати), що обладнана двома (робочими) отворами: перший для відводу продуктів горіння з камери, другий для вводу флегматизатора та двома отворами, які імітують вентиляцію та вхідний прохід та дозволяють змінювати газообмін в камері. Кількість флегматизатора, що подається до камери спалювання регулюються редуктором. В

камеру вмонтовано термопару для контролю температури в зоні горіння.

При введенні нейтрального газу в зону горіння, крім зниження концентрації компонентів горючої суміші, відбувається також втрата частини тепла на нагрівання цього розріджувача від початкової температури до температури зони горіння. Установка дозволяє використовувати в якості флегматизатора - діоксид вуглецю, азот, аргон тощо.

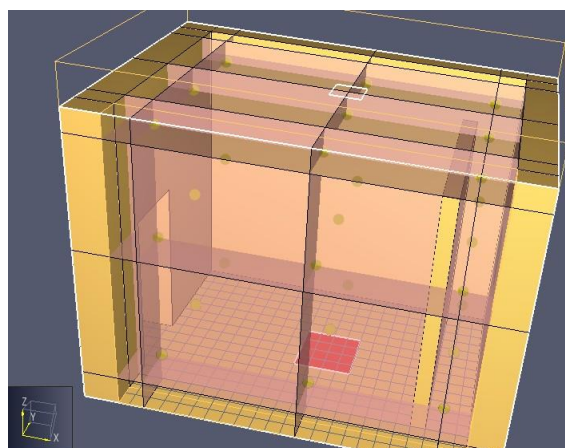
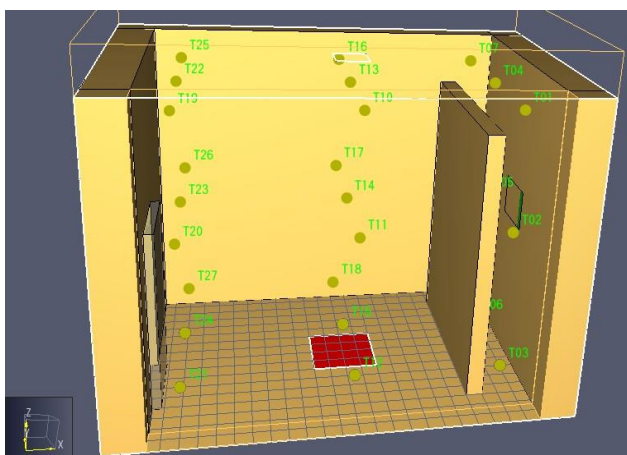


Рисунок 3 – Вигляд моделі імітаційного приміщення, яка використовувалась для обчислювального експерименту (жовтими крапками показано місця розрахунку температур).

При проведенні наших досліджень (рис. 4) флегматизатором було обрано діоксид вуглецю (CO_2). За джерело горіння було обрано парафінову свічку. Експеримент було проведено за двох режимів: 1 – усі пройми відкриті, 2 – усі пройми закриті. Зміну температури фіксували за допомогою мультиметру DT-838 у комплекті з термопарами. Під час

досліджень фіксувався час з моменту початку подачі діоксиду вуглецю в зону горіння до припинення горіння. Для кореляції результатів було проведено 2 експерименти.

Дослідження було проведено при швидкостях подачі діоксиду вуглецю рівним 60, 80 та 100 л/хв.



Рисунок 4 – Проведення експериментальних досліджень з визначення впливу газообміну на швидкість гасіння пожежі діоксидом вуглецю

Результати проведених досліджень представлено на графіку (рис. 5). З них видно, що припинення горіння при закритих вентиляційних отворах (режим газообміну № 1) відбувається швидше, ніж при відкритих отворах (режим газообміну № 2). Так, при швидкості подачі діоксину вуглецю рівній 40 л/хв. це відбувається на 4 с швидше, що більше ніж на 40 % швидше; при швидкості подачі діоксину вуглецю рівній 60 л/хв. це відбувається на 3,5 с швидше, що більше ніж на 35 % швидше; при швидкості подачі діоксину вуглецю

рівній 80 л/хв. це відбувається на 3,3 с швидше, що більше ніж на 35 % швидше; при швидкості подачі діоксину вуглецю рівній 100 л/хв. на 1,9 с, що більше ніж на 25 % швидше.

З цього можна зробити висновок, що вплив, який чинять відкриті вентиляційні канали (двері, вікна) на швидкість припинення горіння найбільш суттєвий при низьких швидкостях подачі інертних газів. А також, що при збільшенні швидкості надходження флегматизаторів в зону горіння час гасіння зменшується.

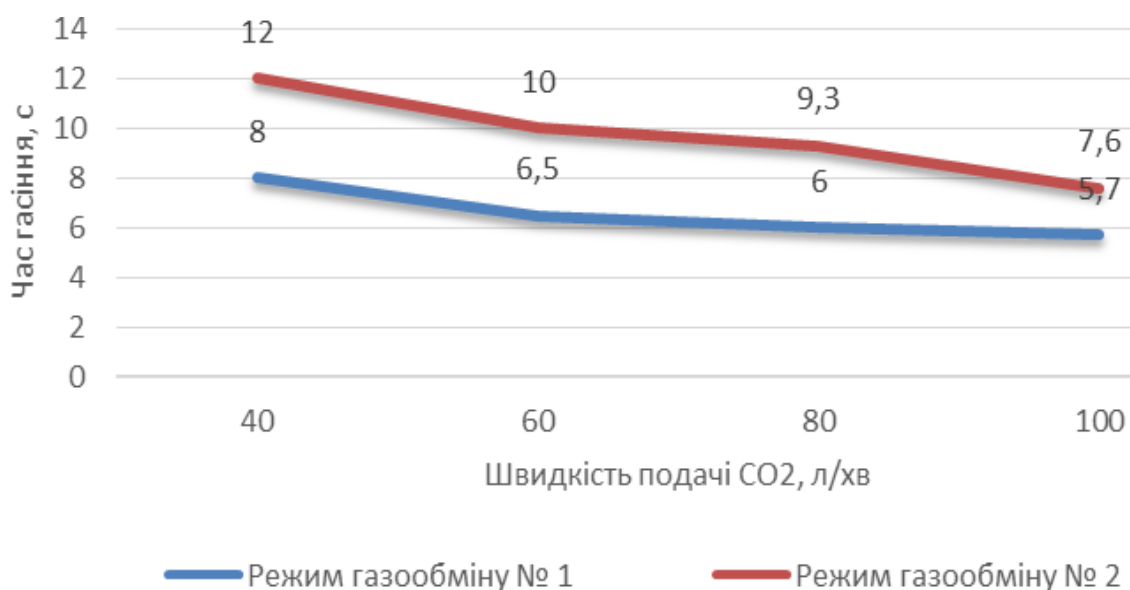


Рисунок 5 – Графік залежності часу (від моменту початку подачі діоксиду вуглецю до припинення горіння) від режиму газообміну та швидкості подачі вогнегасної речовини.

Для проведення обчислювального експерименту з використанням створеної математичної моделі модельного приміщення (рис. 3) для випробувань використана нижченаведена послідовність розрахункових процедур.

1. За допомогою САD програми створюється геометрична конфігурація модельного приміщення необхідних розмірів. Всередині створюються моделі перегородок, отвору для виходу продуктів горіння та місця підпору повітря. Геометрична модель імпортується в середовище розрахункового комплексу FDS.

2. Вводяться початкові параметри моделювання, які неможливо змінити у процесі розрахунку: початкова температура

середовища, підпір повітря з одного боку, необхідний час горіння тощо.

3. Ініціюється процес горіння у середній частині приміщення. З цією метою моделюється осередок пожежі.

4. При проведенні розрахунку відбувається спостереження за температурою відповідних точок у приміщенні та температурного градієнту в режимі он-лайн.

З метою контролю температурного режиму засобами комп'ютерного комплексу FDS було створено 27 місць її контролю (жовті крапки рис. 3).

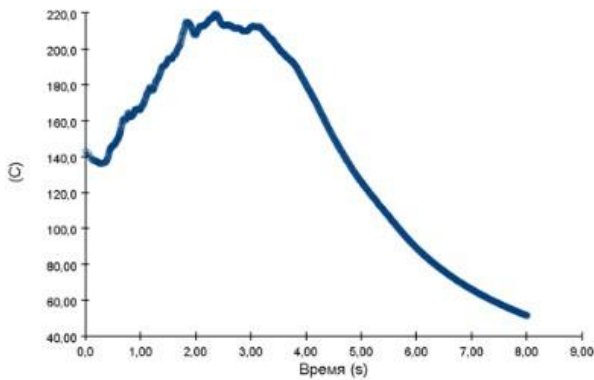
Після завершення обчислювального експерименту було отримано дані температур по кожному місцю контролю для проведення верифікації.

На рис. 6, 7 побудовано графіки середньої температури в середині модельного приміщення під час обчислювального експерименту.

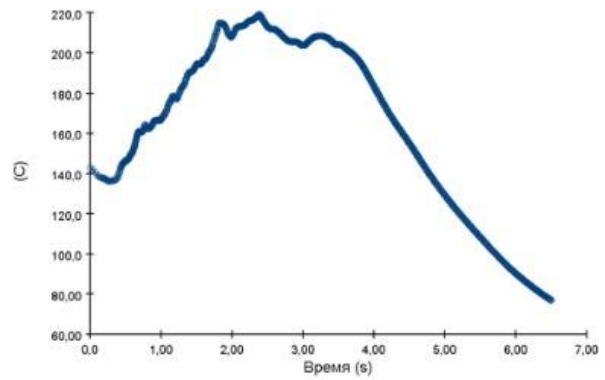
В результаті розрахунків припинення горіння в модельному приміщенні з закритими вентиляційними отворами зі швидкістю подачі діоксиду вуглецю 40, 60, 80 і 100 л/хв. ми отримали наступні відрізки

часу на припинення горіння - 8,2; 6,7; 6,3 та 5,8 секунд.

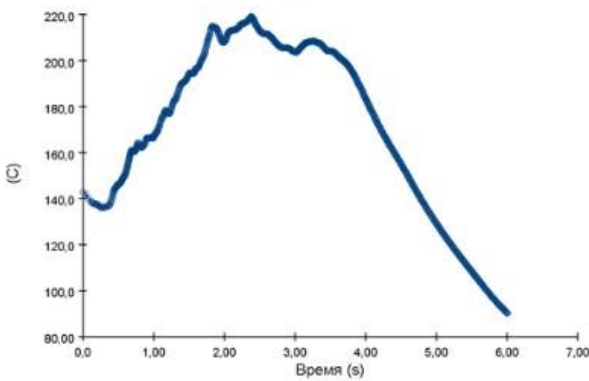
В результаті розрахунків припинення горіння в модельному приміщенні з відкритими вентиляційними отворами зі швидкістю подачі діоксиду вуглецю 40, 60, 80 і 100 л/хв. ми отримали наступні відрізки часу на припинення горіння - 12,4; 10,3; 9,6 та 7,8 секунд.



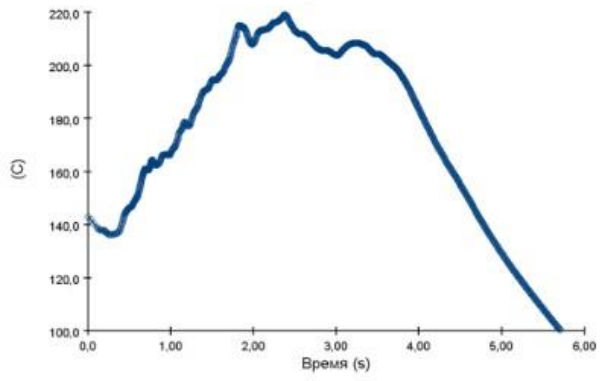
а



б

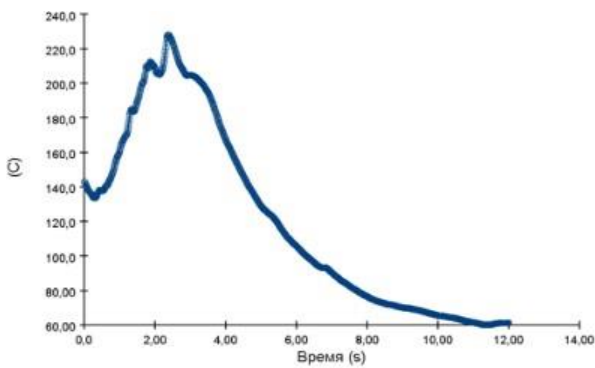


в

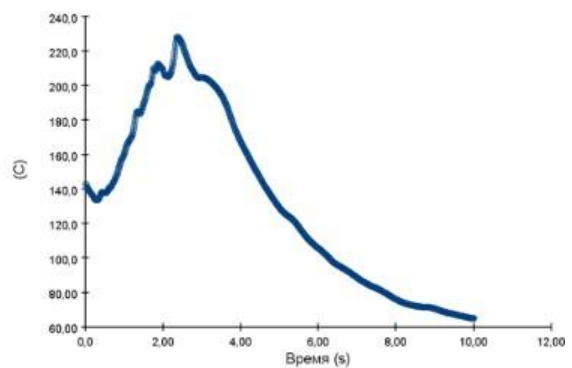


г

Рисунок 6 – Зміна середньої температури у модельному приміщенні при закритих вентиляційних отворах та різних швидкостях подачі діоксиду вуглецю (а – 40 л/хв., б – 60 л/хв., в - 80 л/хв., г - 100 л/хв.)



а



б

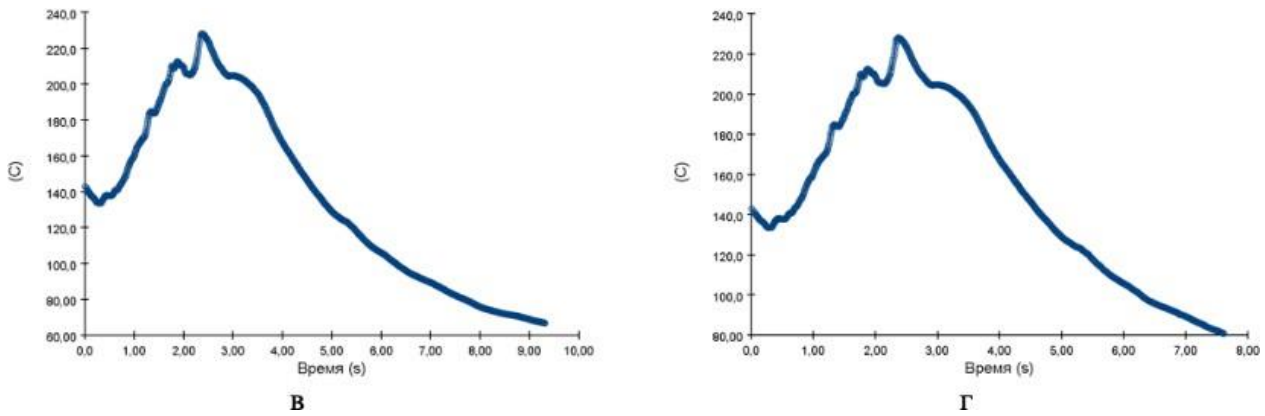


Рисунок 7 – Зміна середньої температури у модельному приміщенні при відкритих вентиляційних отворах та різних швидкостях подачі діоксиду вуглецю (а – 40 л/хв., б – 60 л/хв., в - 80 л/хв., г - 100 л/хв.)

Аналізуючи порівняння результатів математичного моделювання процесу теплообміну (рис. 7) при пожежі у модельному приміщенні та експериментальних даних можна констатувати, що відносне відхилення складає в середньому 5,6 %, що показує ефективність моделювання теплових процесів для проведення подальших досліджень впливу газообміну на швидкість гасіння пожеж в закритих об'ємах.

Висновки. У даній роботі досліджено вплив газообміну на ефективність гасіння пожеж діоксидом вуглецю за допомогою проведення експериментальних досліджень на спеціально створеній установці та за допомогою обчислювального експерименту за допомогою програмного комплексу CFD Fire Dynamics Simulator 6.2. Доведено ефективність моделювання теплових процесів для проведення подальших досліджень впливу газообміну на швидкість гасіння пожеж в закритих об'ємах. Для досягнення мети виконано наступні задачі:

1. Створена математична модель модельного приміщення, аналогічна до натурального експерименту. Проведено обчислювальний експеримент. Проведено натурний експеримент.

2. Встановлено, що вплив, який чинять відкриті вентиляційні канали (двері вікна)

на швидкість припинення горіння найбільш суттєвий при низьких швидкостях подачі інертних газів. Також встановлено, що при збільшенні швидкості надходження флегматизаторів в зону горіння, час гасіння зменшується та припинення горіння при закритих вентиляційних отворах відбувається швидше, ніж при відкритих отворах. Так, при швидкості подачі діоксиду вуглецю рівній 40 л/хв., це відбувається на 4 с швидше, що більше ніж на 40 % швидше; при швидкості подачі діоксиду вуглецю рівній 60 л/хв., це відбувається на 3,5 с швидше, що більше ніж на 35 % швидше; при швидкості подачі діоксиду вуглецю рівній 80 л/хв. це відбувається на 3,3 с швидше, що більше ніж на 35 % швидше; при швидкості подачі діоксиду вуглецю рівній 100 л/хв. на 1,9 с, що більше ніж на 25 % швидше.

3. Розраховано відносне відхилення результатів математичного моделювання від експериментальних даних, яке складає 5,6 %.

4. Результати проведеного дослідження показують ефективність моделювання теплових процесів для проведення подальших досліджень впливу газообміну на швидкість гасіння пожеж в закритих об'ємах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту [Електронний ресурс]: – Режим доступу до матеріалу. : https://undicz.dsns.gov.ua/files/2020/1/27/Analychna%20dovidka%20pro%20rojeji_12.2019.pdf
2. Основи теорії розвитку і припинення горіння: Підручник. – Частина II. – Черкаси: ЧПБ / Г. Єлагін, М. Шкарабура, М. Кришталь, О. Тищенко. - : [2005]. – 276 с.
3. Баратов Анатолий Николаевич. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. / А. Н. Баратов, В. Н. Иванов. – М.: Химия, 1979. – 362 с.
4. Абдурагимов Иосиф Микаэлевич. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. / И. М. Абдурагимов, В. Е. Макаров, В. Ю. Говоров. – М. : ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 256 с.
5. Математическая теория горения и взрыва. / Я. Зельдович, Г. Баренблатт, В. Либрович, Г. Махвиладзе. - М. : Наука, 1980 - 478 с.
6. Процессы горения. / И. Абдурагимов, А. Андросов, Л. Исаева, Е. Крылов. – М. : Высшая инженерная пожарно-техническая школа МВД СССР, [1984]. – 478 с.
7. Абдурагимов Иосиф Микаэлевич. О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения / Иосиф Абдурагимов. – М. : 2012. – 59-63 с. – ISSN 0869-7493.
8. The extinction of diffusion flames burning in various oxygen concentration by inert gases and bromotrifluoroethane. Tucker D.M. [Text] / D.M. Tucker, D.D. Drysdale, D.Y. Rasbash // Combustion and Flame. - 1981. - V. 41. - № 3. - P. 293- 300.
9. Франк - Каменецкий Давид Альбертович. Диффузия и теплопередача в химической кинетике [Текст] / Давид Франк - Каменецкий. - М. : Наука, 1987. - 491 с.
10. Hamins, A. Extinction of nonpremixed flames with halogenated fire suppressants [Tex] / A. Hamins [et al.] // Combustion and Flame. - 1994. - V. 99 - № 2. - P. 221-230.
11. Saso Yu. Binary CF₃Br - and CF₃H - inert flame suppressants: effect of temperature on the flame inhibition effectiveness of CF₃Br and CF₃H [Text] / Yu. Saso [et. al.] // Combustion and Flame. - 1999. - V. 118. - № 3. - P. 489-499.
12. Holmstedt, G. Investigation of scale effects of halon and alternatives regarding flam extinguishing, inerting concentration and thermal decomposition products [Text] / G. Holmstedt, P. Andersson, J. Andersson // Proceedings of the 4th International Symposium: Fire Safety Science. - Ottawa: IAFSS, 1995. - P. 853-864.
13. Simmons, R.F. Some limiting oxygen concentrations for diffusion flames in air diluted with nitrogen [Text] / R.F. Simmons, H.G. Wolfhard // Combustion and Flame. - 1957. - V. 1. - № 2. - P. 155-161.
14. Голиневич Г.Е. Естественная стабилизация и срыв оторванного турбулентного диффузионного газового факела [Текст] / Г.Е. Голиневич [и др.] // Физика горения и взрыва. - 1991. - № 5. - С. 76-81.
15. Сучасні засоби автоматичного пожежогасіння: навч. посібник. / Антошкін О. А., Бондаренко С. М., Дерев'янка О. А., Дурєєв В. А., Котов А. Г., Литвяк О. М., Мурін М. М.. – Х.: НУЦЗУ, 2018. – 271 с.

REFERENCES

1. Ukrayinskiy naukovo-doslidniy institut tsivilnogo zahistu [Elektronniy resurs]: – Rezhim dostupu do materialu. : https://undicz.dsns.gov.ua/files/2020/1/27/Analichna%20dovidka%20pro%20rojeji_12.2019.pdf
2. Osnovi teorii rozvitku i pripinennya gorinnya: Pidruchnik. – Chastina

- II. – Cherkasi: ChIPB / G. Elagin , M. Shkarabura, M. Krishtal, O. Tischenko. - : [2005]. – 276 s.
3. Baratov Anatoliy Nikolaevich. Pozharotushenie na predpriyatiyah himicheskoy i neftepererabatyivayuschey promyishlenosti. / A. N. Baratov, V. N. Ivanov. – M.: Himiya, 1979. – 362 s.
4. Abduragimov Iosif Mikaelevich. Fiziko-himicheskie osnovyi razvitiya i tusheniya pozharov. / I. M. Abduragimov, V. E. Makarov, V. Yu. Govorov. – M. : VIPTSh MVD SSSR, 1980. – 256 s.
5. Matematicheskaya teoriya goreniya i vzryiva. / Ya. Zeldovich, G. Barenblatt, V. Librovich, G. Mahviladze. - M. : Nauka, 1980 - 478 s.
6. Protsessyi goreniya. / I. Abduragimov , A. Androsov, L. Isaeva , E. Kryilov. – M. : Vysshaya inzhenernaya pozharno-tehnicheskaya shkola MVD SSSR, [1984]. – 478 s.
7. Abduragimov Iosif Mikaelevich. O mehanizmah ognetushashego deystviya sredstv pozharotusheniya / Iosif Abduragimov. – M. : 2012. – 59-63 s. – ISSN 0869-7493
8. The extinction of diffusion flames burning in various oxygen concentration by inert gases and bromotrifluoroethane. Tucker D.M. [Text] / D.M. Tucker, D.D. Drysdale, D.Y. Rasbash // Combustion and Flame. - 1981. - V. 41. - № 3. - P. 293- 300.
9. Frank - Kamenetskiy David Albertovich. Diffuziya i teploperedacha v himicheskoy kinetike [Tekst] / David Frank - Kamenetskiy. - M. : Nauka, 1987. - 491 s.
10. Hamins, A. Extinction of nonpremixed flames with halogenated fire suppressants [Tex] / A. Hamins [et al.] // Combustion and Flame. - 1994. - V. 99 - № 2. - P. 221-230.
11. Saso Yu. Binary CF₃Br - and CF₃H - inert flame suppressants: effect of temperature on the flame inhibition effectiveness of CF₃Br and CF₃H [Text] / Yu. Saso [et. al.] // Combustion and Flame. - 1999. - V. 118. - № 3. - P. 489-499.
12. Holmstedt, G. Investigation of scale effects of halon and alternatives regarding flame extinguishing, inerting concentration and thermal decomposition products [Text] / G. Holmstedt, P. Andersson, J. Andersson // Proceedings of the 4th International Symposium: Fire Safety Science. - Ottawa: IAFSS, 1995. - P. 853-864.
13. Simmons, R.F. Some limiting oxygen concentrations for diffusion flames in air diluted with nitrogen [Text] / R.F. Simmons, H.G. Wolfhard // Combustion and Flame. - 1957. - V. 1. - № 2. - P. 155-161.
14. Golinevich, G.E. Estestvennaya stabilizatsiya i sryiv otornannogo turbulentnogo diffuzionnogo gazovogo fakela [Tekst] / G.E. Golinevich [i dr.] // Fizika goreniya i vzryiva. - 1991. - № 5. - S. 76-81.
15. Suchasni zasobi avtomatichnogo pozhezhogasinnya: navch. posibnik. / Antoshkin O. A., Bondarenko S. M., Derev'yanko O. A., DurEEv V. A., Kotov A. G., Litvyak O. M., MurIn M. M.. – H.: NUTsZU, 2018. – 271 s.

*В. М. Нуязин, канд. техн. наук, М. А. Кропива, канд. техн. наук,
А. А. Майборода канд. пед. наук, доцент, А. Ю. Вовк, И. А. Марченко
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля
Национального университета гражданской защиты Украины*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАЗООБМЕНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА

Целью проведения исследований данной работы является изучение эффективности тушения пожара диоксидом углерода с учетом изменения газообмена. Проведен анализ применения нейтральных газов в системах автоматического

пожаротушения, которые предусматривают объемный способ тушения. Анализом установлено, что скорость ликвидации горения будет зависеть от газообмена в помещении, то есть от количества и мест расположения вентиляционных отверстий,

дверей, окон. Для исследования влияния газообмена на эффективность и скорость прекращения горения разработана установка, камера которой имитирует реальное помещение и компьютерную модель такого же помещения для проведения моделирования. Созданная установка позволяет применять в качестве флегматизатора - диоксид углерода, азот, аргон и др. Обоснованно структурные компоненты установки таким образом, что из емкости под давлением поступает флегматизатор в камеру для сжигания, которая оборудована двумя отверстиями: первое для отвода продуктов горения из камеры, второе для ввода флегматизатора и двумя отверстиями, которые имитируют вентиляцию и входную дверь и позволяют изменять газообмен в камере. Количество флегматизатора, подаваемого в камеру сжигания регулируются редуктором. В камеру встроена термопара для контроля

температуры в зоне горения. Создана компьютерная модель камеры для сжигания, аналогичная натурному эксперименту. Проведен вычислительный эксперимент. Проведен натурный эксперимент. Установлено, что влияние, которое оказывают открытые вентиляционные каналы на скорость прекращения горения наиболее существенное при низких скоростях подачи инертных газов. Рассчитано относительное отклонение результатов математического моделирования от экспериментальных данных. Результаты проведенного исследования показывают эффективность моделирования тепловых процессов для проведения дальнейших исследований влияния газообмена на скорость тушения пожаров в закрытых объемах.

Ключевые слова: пожаротушение, инертные газы, огнетушащие вещества, компьютерное моделирование.

V. M. Nuianzin, PhD in technical sciences, M. O. Kropyva, PhD in technical sciences, A. O. Maiboroda, PhD in technical sciences, docent, A. Yu. Vovk, I. A. Marchenko, Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes of NUCD Ukraine

THE RESEARCH OF THE EFFECT OF GAS TRANSMISSION ON THE EFFECTIVENESS OF CARBON FIRE EXTINGUISHING

The purpose of the research of this work is to study the effectiveness of fire extinguishing using carbon dioxide in the light of changes in gas exchange. The analysis of the use of neutral gases in automatic fire extinguishing systems, which provide a volumetric way of extinguishing is conducted. The analysis found that the rate of elimination of combustion will depend on the gas exchange in the room, ie the number and location of ventilation openings, doors, windows and the like. To investigate the effect of gas exchange on the efficiency and speed of cessation of combustion, an installation was designed to simulate a real room and a computer model of the same simulation room. The created installation allows to apply qualities of a phlegmatizer - carbon dioxide, nitrogen, argon and more. The structural components of the installation are substantiated in such a way that the phlegmatizer from the pressure vessel enters into the combustion chamber equipped with two openings: the first to remove combustion

products from the chamber, the second - for entering of the phlegmatizer and two openings that simulate ventilation and inlet passage and allow gas exchange in the camera. The amount of phlegmatizer supplied to the combustion chamber is regulated by the gearbox. A thermocouple is installed in the chamber to control the temperature in the combustion zone. A computer model of a combustion camera was created, similar to a full-scale experiment. A computational experiment was performed. A full-scale experiment was conducted. It is established that the influence exerted by open ventilation ducts on the rate of cessation of combustion is most significant at low feed rates of inert gases. The relative deviation of the results of mathematical modeling from the experimental data is calculated. The results of the study show the effectiveness of simulation of thermal processes for further studies of the effect of gas exchange on the rate of extinguishing fires in closed volumes.