

УДК 614.841.332

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2022.6.1.85-94>

Аліна Перегін (ORCID:0000-0003-2062-5537)

*Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНФІГУРАЦІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ ВОГНЕВИХ ПЕЧЕЙ НА УМОВИ НАГРІВАННЯ НЕСУЧИХ СТІН ЗА СТАНДАРТНИМ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ ПОЖЕЖІ

Метою даної роботи є визначення конфігурації камери печі та її параметрів, що будуть забезпечувати відповідність температурному режиму пожежі та вимогам відповідно до умов проведення вогневих випробувань несучих стін.

У програмному комплексі FlowVision було створено 3 комп'ютерні конфігурації вогневих печей, для дослідження теплового впливу на вертикальну будівельну конструкцію, а саме: несучої стіни, які відрізнялися геометричними розмірами конструкції камери вогневої печі та параметрами отворів для встановлення пальників та отвору для виходу продуктів горіння. Зазначено алгоритм дослідження та визначення моделі камери вогневої печі, яка буде забезпечувати адекватність та відтворюваність результатів місця встановлення датчиків контролю температури. Продемонстровано, як конструктивні особливості камери печі впливають на рівномірність розподілу температур по обігрівальній поверхні несучої стіни, розрахунково визначено температуру встановлених датчиків контролю температури у камері вогневої печі та на обігрівальній поверхні несучої стіни, та побудовано графік зміни його у часі. Встановлено, яка із змодельованих конфігурацій дасть можливість проводити найбільш достовірні дослідження теплового впливу пожежі на вертикальні будівельні конструкції.

Ключові слова: *вогнестійкість, будівельні конструкції, несуча стіна, камера вогневої печі.*

Постановка проблеми. Основним завданням при проектуванні будівельних конструкцій є гарантування пожежної безпеки та вогнестійкості будівельних конструкцій, яка повинна відповідати вимогам пожежних норм сьогодення. Межі вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій, зазвичай, досліджуються проведенням випробувань стандартним методом у спеціальних випробувальних установках. Але, сукупність певних норм, правил та методів, що призначені для забезпечення достовірності вимірювань і самі конструкції не є досконалими, тому їх необхідно поліпшувати. Для вирішення цього недоліку потрібно проводити додатково дослідження з використання установок для проведення вогневих випробувань. Але висока вартість даних випробувань та велика трудомісткість спонукає проводити моделювання тепломасообміну у камерах вогневих печей за допомогою програмних комплексів. Також фактом є те, що існуючі методи стандартизуються лише на температурно-часових кривих датчиків контролю температури вогневої печі. Тому питання рівномірності прогріву залізобетонної конструкції залежить від геометричних параметрів камери вогневої печі та інших конструктивних елементів. У даній роботі показано, як внутрішня будова камери печі, геометричні параметри, розміщення отвору для відведення продуктів горіння та отворів для встановлення пальників впливає на рівномірність розподілу температури по обігрівальній поверхні вертикальних будівельних конструкцій.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. В попередніх дослідженнях [1] за допомогою системи автоматизованого проектування було змодельовано ряд конфігурацій, та визначено 3 з них, які працюють найбільш адекватно, дані конфігурації можливо використовувати в програмному комплексі FlowVision та FDS. У попередньо зазначених програмних

комплексах, з використанням створених конфігурацій у SolidWorks, можливо провести обчислювальний експеримент, перевірити розподіл температур по всій площі печі та обігрівальній поверхні.

В роботі [2] проаналізовано математичний апарат та можливості програмного комплексу FDS, які дозволяють змоделювати тепломасообмін у камері вогневих печей, з факельним горінням. Використовуючи 3 створені конфігурації [1] було проведено обчислювальний експеримент за допомогою FDS. В даному програмному комплексі існують суттєві недоліки, в процесі розрахунку неможливо коригувати інтенсивність горіння факелів полум'я. Дані закладаються у препроцесор, задається час розрахунку, далі FDS працює автономно, що не дозволяє відтворити стандартний температурний режим у камері печі. Відбувається інтенсивне прогрівання камери печі. Вже через одну хвилину досягається стаціонарна температура, яка тримається протягом часу розрахунку.

Розглянувши роботу [3] стало відомо, що створені математичні моделі вертикальних печей для випробувань стін на вогнестійкість на основі повної системи рівнянь Нав'є - Стокса за допомогою програмного комплексу CFD FlowVision 2.5 з різними геометричними параметрами та кількістю пальників, дають не достовірні результати обчислювальних експериментів, тобто температура у камері вогневих печей розподіляється нерівномірно. У верхній частині камери печі перевищує допустиму похибку випробувань, а в нижній необхідна температура у потрібний проміжок часу не досягається.

Аналізуючи попередні математичні моделі висвітлені у роботах [4, 5] можна зазначити, що камери вогневих печей для проведення випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій потрібно поліпшувати, оскільки вогневі печі істотно відрізняються геометричною конфігурацією, схемами розташування отворів для пальників, їх кількістю, видом паливно-форсунової системи та конструкцією вимірювальної арматури. Тобто актуальним залишається питання ефективності моделювання умов нагрівання будівельних конструкцій у відповідності до умов стандартного температурного режиму.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Відповідно до проведених раніше досліджень [2–5], розглянуті в даних роботах програмні комплекси та створені різні конфігурації камер вогневих печей, мають недосконалість та деякі похибки, тому доцільно визначити конфігурацію камери вогневої печі для проведення найбільш достовірних досліджень теплового впливу пожежі на вертикальну будівельну конструкцію та провести обчислювальний експеримент для перевірки коректної роботи вогневої печі, яка здатна відтворювати температурний режим пожежі.

З огляду на це, для проведення реальних вогневих випробувань, передбачається створення запроєктованої камери вогневої печі, що здатна забезпечувати рівномірний температурний розподіл у камері вогневої печі та на обігрівальній поверхні вертикальних будівельних конструкцій.

Постановка задачі та її розв'язання. Для досягнення поставленої мети, потрібно вирішити наступні задачі:

1. На основі конфігурацій, що були описані у роботі [2] провести дослідження теплового впливу пожежі на обігрівальну поверхню несучої стіни;
2. Розробити алгоритм створення моделі камери вогневої печі, яка буде відтворювати умови проведення випробування на вогнестійкість будівельних конструкцій.
3. Дослідити, як конструктивні особливості камери вогневої печі впливають на рівномірність розподілу температур по обігрівальній поверхні несучої стіни.
4. Проаналізувати отримані результати застосування програмного комплексу FlowVision та можливість досліджувати тепловий вплив на обігрівальну поверхню несучої стіни у відповідності до стандартного температурного режиму.

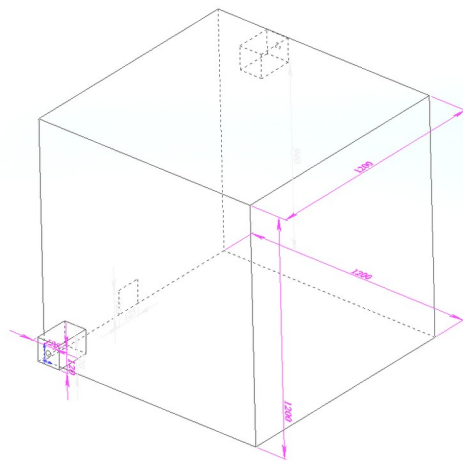
Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. Для отримання моделі камери вогневої печі, яка буде відтворювати умови нагрівання несучих стін за стандартним температурним режимом пожежі було змодельовано

З комп'ютерні конфігурації для дослідження теплового впливу пожежі на обігрівальну поверхню несучих стін.

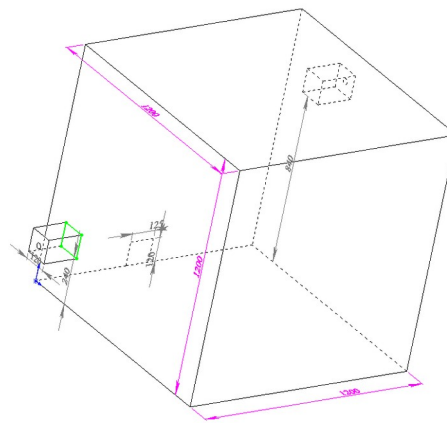
В попередній роботі [1] системою автоматизованого проектування було спроектовано три конфігурації вогневих печей з різними розмірами отвору для виходу продуктів горіння, отворів для встановлення пальників та габаритами самої вогневої печі. За допомогою комп'ютерного інструмента SolidWorks, умовно було розмежовано елементи, які будуть випробовуватися та конструкції печі, за допомогою кольорів.

Геометричні конфігурації печей зображені на рис. 1., а габаритні розміри камер зазначені – в табл. 1.

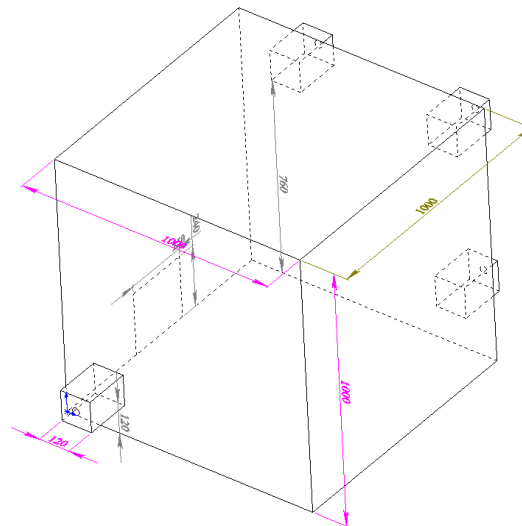
На рис.1 показано геометричні параметри створених конфігурацій вогневих печей для дослідження теплового впливу на обігрівальну поверхню несучих стін.



Конфігурація А - а



Конфігурація Б - б



Конфігурація В - в

Рисунок 1 – Геометричні параметри конфігурацій камер вогневих печей для дослідження умов нагрівання несучих стін за стандартним температурним режимом пожежі: а – конфігурація «А», б – конфігурація «Б», в – конфігурація «В».

В конфігурації «А» (рис. 1-а) створено отвір для відведення продуктів горіння розмірами 125мм×100мм, кількість отворів для встановлення пальників 2, габаритні розміри камери вогневої печі 1200мм×1200 мм.

В конфігурації «Б» (рис. 1-б) габаритні розміри камери вогневої печі та отвір для відведення продуктів горіння залишено без змін, змінено розміри та розташування отворів для пальників.

Конфігурація «В» (рис. 1-в) створена з мінімально можливим розміром камери вогневої печі, яка забезпечує вимоги [6], а саме глибина вогневого простору печі має бути не менше 0,8 м. Збільшено отвір для виходу продуктів горіння, збільшено кількість отворів для встановлення пальників, що дає змогу досліджувати основні види залізобетонних конструкцій, таких як плита, стіна, балка та колона. У даній роботі досліджується тепловий вплив пожежі на обігрівальну поверхню несучої стіни, тому використовується тільки 2 отвори для встановлення пальників.

Таблиця 1 – Габаритні розміри конфігурацій камер вогневих печей для дослідження теплового впливу пожежі на обігрівальну поверхню будівельних конструкцій.

Назва печі	Розміри камери вогневої печі, мм			Кількість пальників у печі	Кількість отворів для виходу продуктів горіння	Кількість отворів для встановлення пальників
	ширина	висота	глибина			
Випробувальна піч Конфігурації А	1200	1200	1200	2	1	2
Випробувальна піч Конфігурації Б	1200	1200	1200	2	1	2
Випробувальна піч Конфігурації В	1000	1000	1000	2	1	4

Загальний вид математичної моделі камери вогневої печі та сіткова модель зображено на рис. 2.

Одним із основних принципів побудови математичної моделі є створення сіткової моделі печі.

Для створення моделей камери вогневих печей за встановленими розмірами, необхідно створити сітку по X, Y, та Z, кількість комірок можна зазначити самостійно.

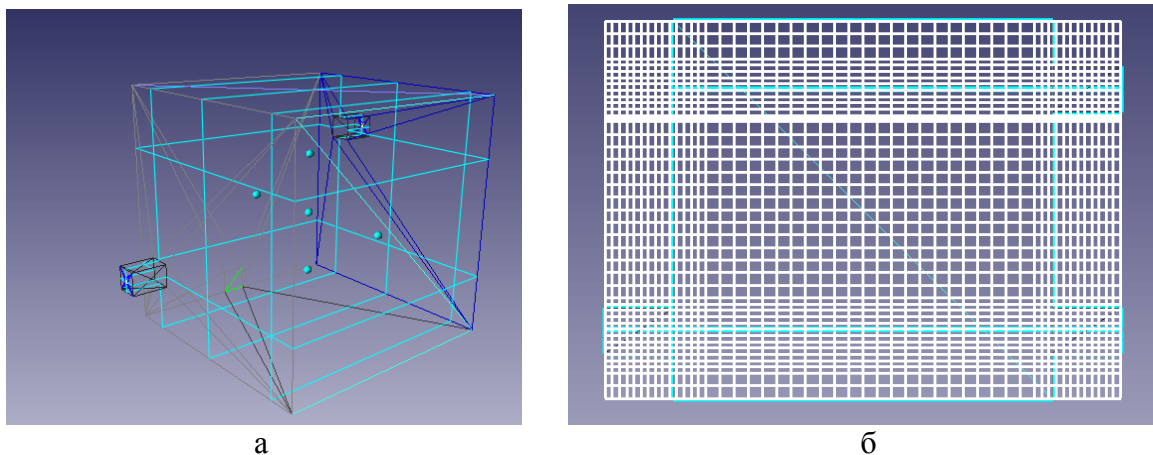


Рисунок 2 – Загальний вид математичної моделі камери вогневої печі – а; сіткова модель розрахункової області конфігурацій вогневих печей – б.

Відповідно до вимог [6] та габаритів камери вогневої печі для вимірювання температури встановлено відповідну кількість датчиків контролю температури на обігрівальній поверхні та у камері вогневої печі, які представлені на рис.3. З урахувань можливостей програмного комплексу забезпечення FlowVision, для наочності, додатково були створені площини, які графічно відображають розподіл температур по площинам відповідно, рис. 4.

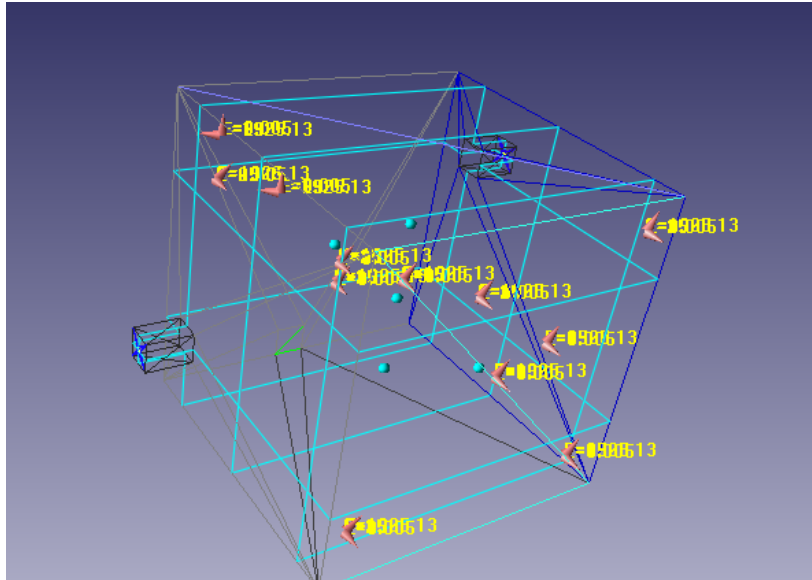


Рисунок 3 – Розташування датчиків контролю температури у камері вогневої печі в конфігурації «Б».

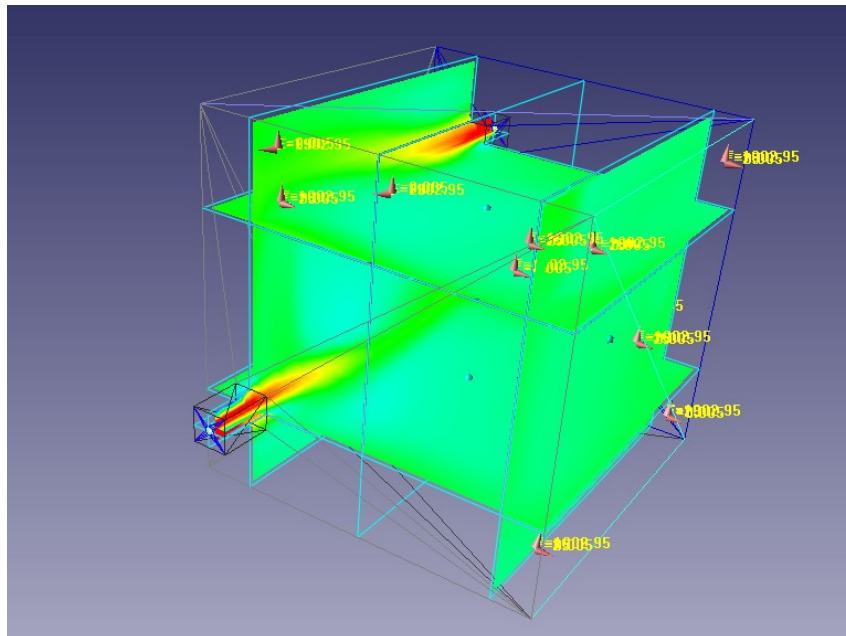


Рисунок 4. Розташування температурних площин у камері вогневої печі конфігурації «Б».

На рис. 5 заливкою кольорів (градієнт температур) відображено розподіл температур по поверхні конструкції у кожній з конфігурацій на 60-й хвилині випробувань.

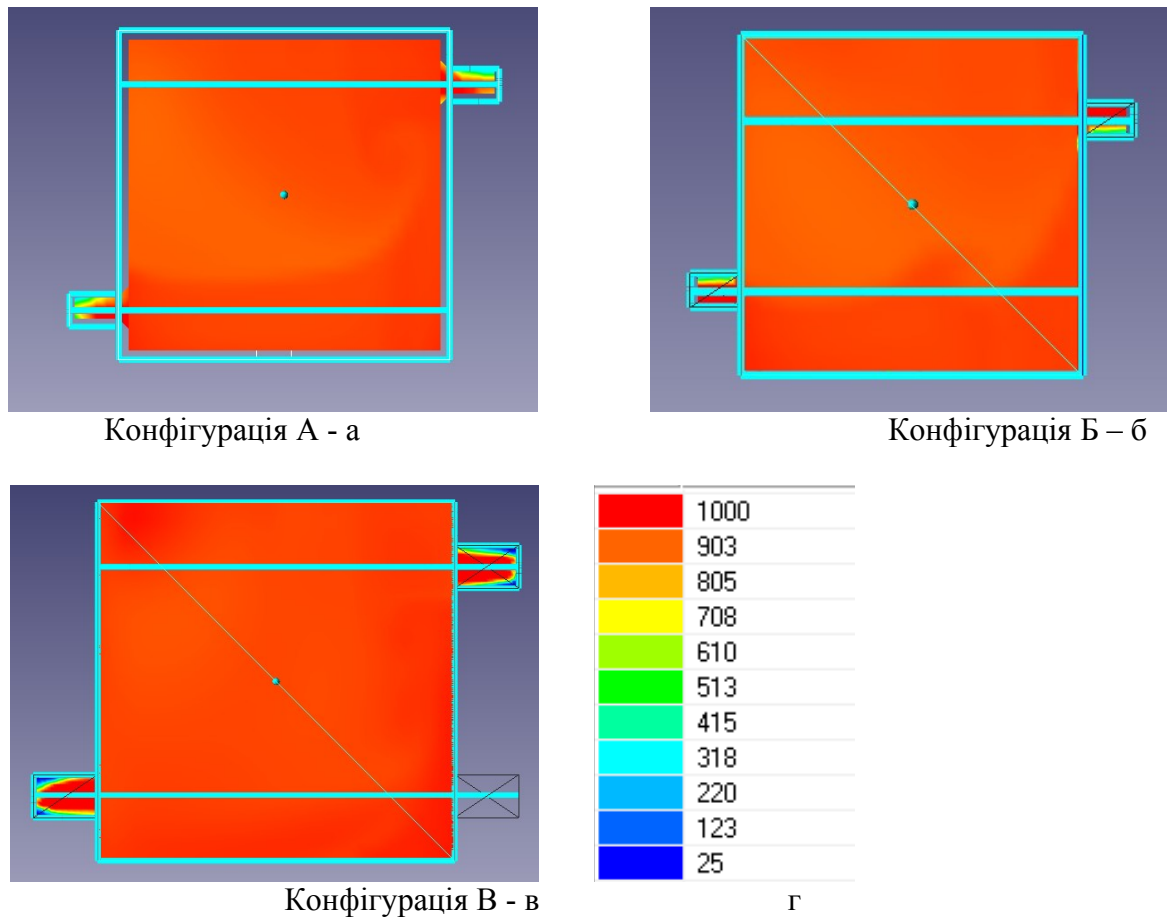


Рисунок 5 – Градієнт температур на обігрівальній поверхні змодельованих конструкцій у кожній з конфігурацій: а – конфігурація «А», б – конфігурація «Б», в – конфігурація «В», г – температурні межі °С у відповідності до кольору.

З проведених досліджень можна зробити висновок, основними недоліками конфігурації «А» (рис. 1-а, рис. 5-а) у порівнянні з іншими конфігураціями печі є недосконалий розмір отвору для відведення продуктів горіння та розташування отворів для пальників, а також габарити камери вогневої печі.

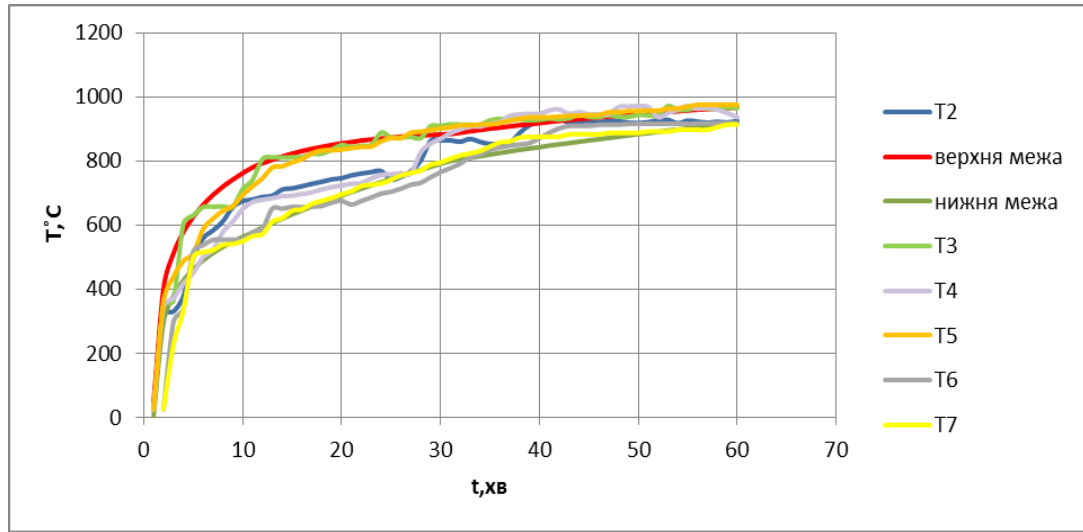
Внісши корективи до попередньої конструкції вогневої камери - конфігурації «А», температура у конфігурації «Б» (рис. 1-б) більш рівномірно розподілилась по обігрівальній поверхні несучої стіни (рис. 5-б), але існують місця, у яких конструкція прогрівається більш сильно.

У конфігурації «В» (рис. 1-в) зменшивши простір камери вогневої печі, а отвір для відведення продуктів горіння збільшено, отримано більш рівномірне розподілення температур (рис. 5-в) у порівнянні з конфігураціями «А» та «Б».

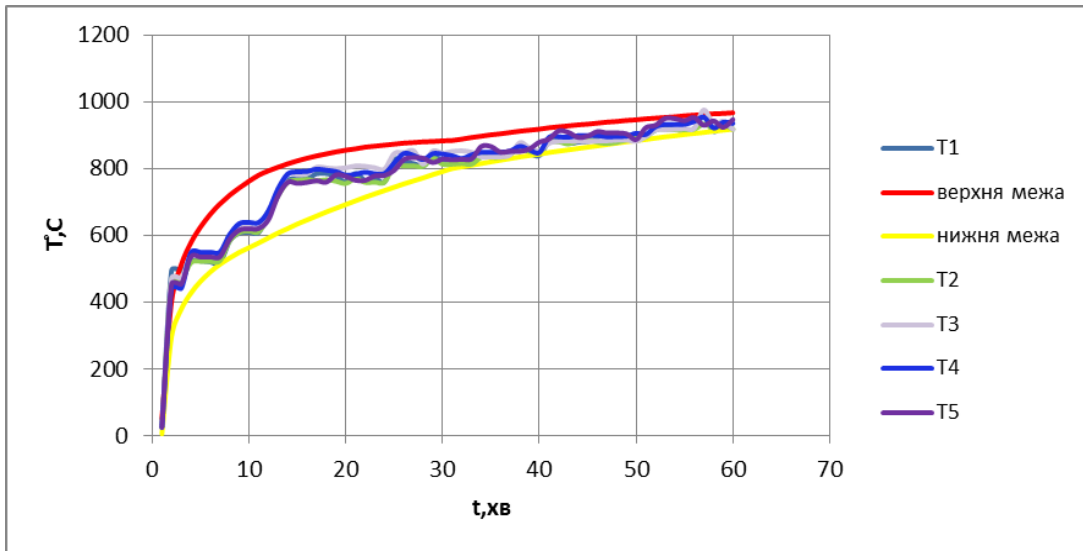
Варто зазначити, що при реальних випробуваннях у камері вогневої печі при даних габаритах затрачається менше палива для прогрівання камери вогневої печі та прогрівається швидше, навколишнє середовище забруднюється менше, зменшуються праце та фінансові трати. Також, те що дана вогнева піч здатна забезпечувати температурний режим пожежі, який відповідає стандартному температурному режиму пожежі.

Як видно з рис. 5 коливання температури спостерігаються у всіх конфігураціях, але вони є незначні. Відповідно до отриманих результатів, можна стверджувати, що всі створені конфігурації камер вогневих печей відповідають вимогам [6], а конфігурація «В» здатна створити відповідний температурний режим.

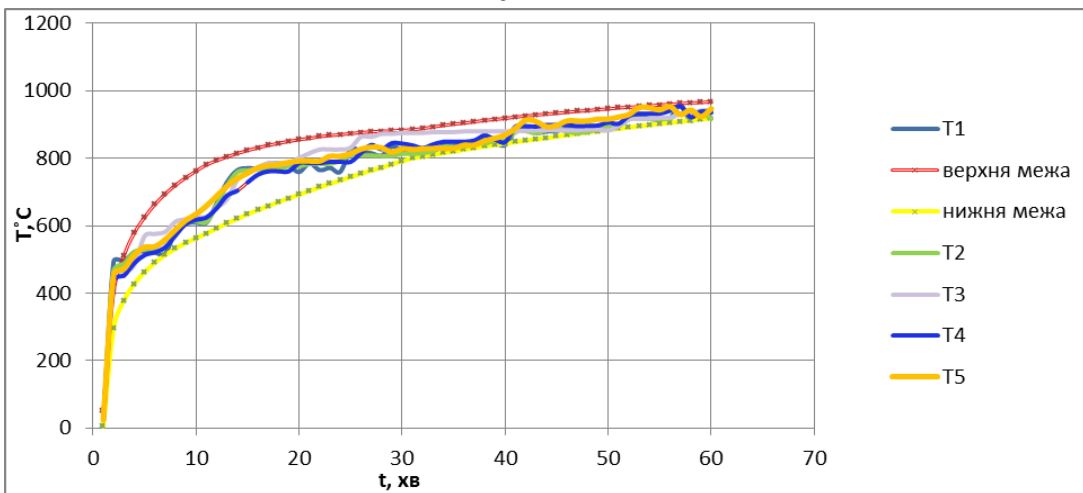
Відповідно до проведеного дослідження було розраховано температуру встановлених датчиків контролю температури у камері вогневої печі та на обігрівальній поверхні несучої стіни, дані кожної досліджуваної конфігурації представлені на рис. 7 у вигляді графіку.



а



б



в

Рисунок 7 – Дані датчиків контролю температури, які встановлені на обігрівальній поверхні несучої стіни : а – Конфігурація А, б – Конфігурація Б, в – Конфігурація В.

Відповідно до отриманих даних датчиків контролю температури, які встановлені на обігрівальній поверхні несучої стіни, можна констатувати наступне:

- максимальна температура на обігрівальній поверхні несучої стіни на 9 хв. досягла 658 °С, а середня температура в цей момент часу складала 620 °С впродовж 15 хвилин була стабільною;

- з 27 хвилини від початку дослідження було збільшено подачу палива внаслідок цього середнє значення температури виросло майже до 935 °С і була стабільною до закінчення обчислювального експерименту;

- змодельоване дослідження температурного впливу пожежі на обігрівальну поверхню несучої стіни, засобами комп'ютерної газогідродинаміки, та зростання температур у камері печі відповідало стандартній температурній кривій пожежі.

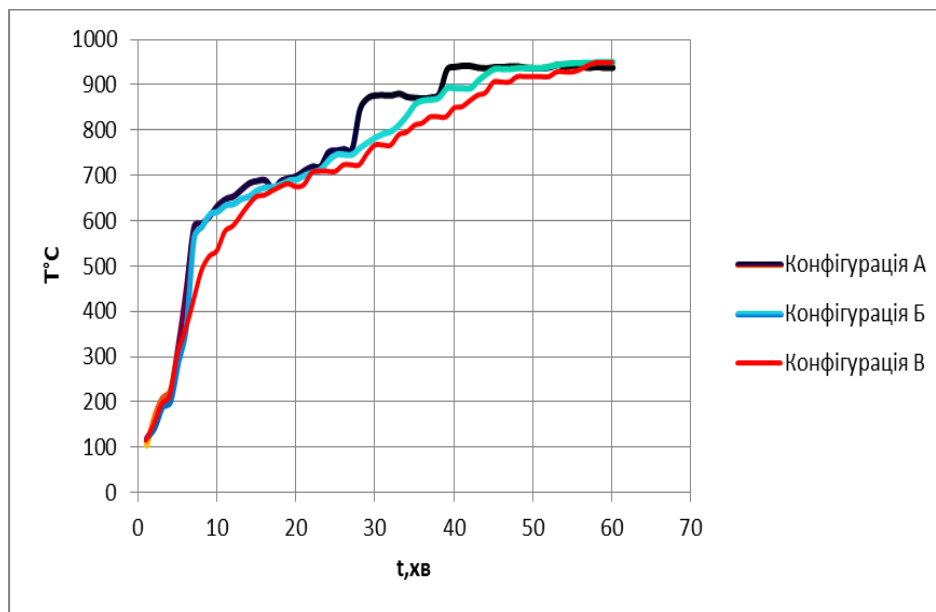


Рисунок 8 – Середня температура в камері вогневої печі по всім місцям контролю температури.

Відповідно до проведеного дослідження, було отримано наступні дані датчиків контролю температури, які представлені на рис. 7-8, що свідчать про рівномірний розподіл температур по всій площі печі та обігрівальній поверхні несучої стіни. Через відповідні габарити камери вогневої печі та можливість змінювати початкові дані подачі газу для нагрівання камери та подачі повітря, температурний режим, що створюється в печі, відповідає стандартному [6].

Висновки. У даній роботі продемонстровано результати чисельного моделювання трьох конфігурацій з різними параметрами камер вогневих печей та здатність забезпечувати рівномірний температурний розподіл у камері вогневої печі та на обігрівальній поверхні несучої стіни за допомогою програмного комплексу FlowVision. За результатами даної роботи встановлено наступне:

1. Математичний апарат програмного комплексу FlowVision [7] забезпечує якість прогрівання внутрішнього простору камери вогневої печі, відтворює необхідний температурний режим пожежі та дозволяє проводити дослідження теплового впливу пожежі на обігрівальній поверхні вертикальних будівельних конструкцій.

2. У роботі було досліджено камери вогневих печей розміром 1м 20см×1м 20см×1м 20см – Конфігурація «А» та «Б», камера вогневої печі 1м×1м×1м - конфігурація «В», здатна забезпечити стандартний температурний режим пожежі [6].

3. Максимальна температура на обігрівальній поверхні несучої стіни конфігурації «В» на 9 хв. досягла 658 °С, а середня температура в цей момент часу складала 620 °С.

4. Відповідно до проведеного дослідження впливу конфігурації на умови нагрівання несучих стін за стандартним температурним режимом пожежі, у камері вогневої печі конфігурації «В» відбувається рівномірний розподіл температур по всій площі, а максимальна температура в печі досягнула 951 °С.

5. Перспективою подальшого дослідження є прорахування та розробка ескізу реальної установки на основі змодельованої камери вогневої печі конфігурації «В», для дослідження теплового впливу пожежі на обігрівальну поверхню несучої стіни.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Перегін А. В., Нуянзін, О. М. (2021). Моделювання комп'ютерної моделі вогневої печі за допомогою системи автоматизованого проектування. Збірник XII Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій», 162.

2. Перегін А. В., Нуянзін, О. М., Кришталь М. А., & Заїка П. І. (2020). Комп'ютерне моделювання процесу тепломасообміну у камерах вогневих печей установок для випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*, 4(1), 72-79.

3. Нуянзін, О. М., Поздєєв, С. В., & Сідней, С. О. (2015). Вплив конструктивних особливостей вогневих печей на достовірність результатів випробувань стін на вогнестійкість. *Науковий вісник УкрНДІПБ*, (1), 4-12.

4. Сідней, С. О. (2015). Чисельне дослідження ефективності випробувань на вогнестійкість несучих стін у вогневих печах різної конфігурації. *Пожезна безпека: теорія і практика*, (19), 106-111.

5. Нуянзін, О. М., Кришталь, М. А., Кришталь, Д. О., & Рога, М. П. (2017). Дослідження рівномірності прогріву несучої стіни в залежності від конструкції та дизайну вогневої печі. *Вісті Донецького гірничого інституту*, (1), 66-72. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. ДБН В.1.1-7-2002. - [Чинний від 2003-05-01]. - К.: Держпожбезпека, 2003. – 87с. – (Державні будівельні норми).

6. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги (ISO 834:1975): ДСТУ Б В.1.1-4-98. – [Чинний від 1998-10-28]. - К.: Укрархбудинформ, 1999. – 21с. – (Державний стандарт України).

7. Система моделювання движения жидкости и газа. FlowVision Версия 2.5.4. Руководство пользователя. – Москва: ТЕСИС. – 2008. – 284 с.

REFERENCES

1. Perehin A. V., Nuianzin, O. M. (2021). Modeliuvannia kompiuternoї modeli vohnevoi pechi za dopomohoiu systemy avtomatyzovanoho proektuvannia. Zbirnyk XII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Teoriia i praktyka hasinnia pozhezh ta likvidatsii nadzvychainykh sytuatsii», 162.

2. Perehin A. V., Nuianzin, O. M., Kryshthal M. A., & Zaika P. I. (2020). Kompiuterne modeliuvannia protsesu teplomasoobminu u kamerakh vohnevykh pechei ustanovok dlia vyprobuvan na vohnestiikist budivelnykh konstruktсии. *Nadzvychaini sytuatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia*, 4(1), 72-79.

3. Nuianzin, O. M., Pozdieiev, S. V., & Sidnei, S. O. (2015). Vplyv konstruktivnykh osoblyvostei vohnevykh pechei na dostovirnist rezultativ vyprobuvan stin na vohnestiikist. *Naukovyi visnyk UkrNDIPB*, (1), 4-12.

4. Sidnei, S. O. (2015). Chyselne doslidzhennia efektyvnosti vyprobuvan na vohnestiikist nesuchykh stin u vohnevykh pechakh riznoi konfihuratsii. *Pozhezhna bezpeka: teoriia i praktyka*, (19), 106-111.

5. Nuianzin, O. M., Kryshtal, M. A., Kryshtal, D. O., & Roha, M. P. (2017). Doslidzhennia rivnomirnosti prohrivu nesuchoi stiny v zalezhnosti vid konstruktsii ta dyzainu vohnevoi pechi. Visti Donetskoho hirnychoho instytutu, (1), 66-72. Zakhyst vid pozhezhi. Pozhezha bezpeka ob'ektiv budivnytstva. DBN V.1.1-7-2002. - [Chynnyi vid 2003-05-01]. - K.: Derzhpozbezpeka, 2003. – 87s. – (Derzhavni budivelni normy).

6. Zakhyst vid pozhezhi. Budivelni konstruktsii. Metody vyprobuvannia na vohnestiikist. Zahalni vymohy (ISO 834:1975): DSTU B V.1.1-4-98. – [Chynnyi vid 1998-10-28]. - K.: Ukrarkhbudynform, 1999. – 21s. – (Derzhavnyi standart Ukrainy).

7. Sistema modelirovaniya dvizheniya zhidkosti i gaza. FlowVision Versiya 2.5.4. Rukovodstvo polzovatelya. – Moskva: TYeSIS. – 2008. – 284 s.

Alina Perehin,

Cherkasy Institute of Fire Safety Named after Chornobyl Heroes of National University of Civil Defence of Ukraine

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE CONFIGURATION AND PARAMETERS OF FIRE FURNACES ON THE HEATING CONDITIONS OF BEARING WALLS UNDER THE STANDARD FIRE TEMPERATURE REGIME

The purpose of this work is to determine the configuration of the furnace chamber and its parameters, which will ensure compliance with the fire temperature regime and the requirements in accordance with the conditions for carrying out fire tests of load-bearing walls.

In the FlowVision software complex, 3 computer configurations of fire furnaces were created to study the thermal effect on a vertical building structure, namely: a load-bearing wall, which differed in the geometric dimensions of the fire furnace chamber structure and the parameters of the holes for installing burners and the hole for the exit of combustion products. The research algorithm and determination of the model of the fire furnace chamber, which will ensure the adequacy and reproducibility of the results of the location of the installation of temperature control sensors, are specified. It is demonstrated how the design features of the furnace chamber affect the uniformity of temperature distribution on the heating surface of the load-bearing wall, the temperature of the installed temperature control sensors in the furnace chamber and on the heating surface of the load-bearing wall is calculated, and a graph of its change over time is plotted. It has been established which of the simulated configurations will provide the opportunity to conduct the most reliable studies of the thermal effect of fire on vertical building structures.

Key words: fire resistance, building structures, load-bearing wall, furnace chamber.