

*Р. С. Яковчук**Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ВЕРТИКАЛЬНИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ПОШИРЕННЯ ВОГНЮ ПОВЕРХНЕЮ СТІН ІЗ ФАСАДНОЮ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЄЮ

Мета. Застосовуючи FDS моделювання, дослідити вплив зовнішніх вертикальних огороджувальних конструкцій на поширення вогню поверхнею конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з горючим утеплювачем.

Методика. Чисельне моделювання динаміки розвитку та поширення пожежі поверхнею теплоізоляційно-оздоблювальної системи виконували за допомогою програмного комплексу Pyrosim, яка слугує користувацькою оболонкою для програми Fire Dynamics Simulator (FDS). Для візуалізації результатів розрахунків використовувався програмний модуль системи PyroSim Smokeview, що дає змогу побудувати відповідні графічні відображення розподілів температури. При цьому ця система також дає змогу відслідковувати динаміку температурних полів та відтворити процес нагрівання за допомогою анімації.

Результати. За допомогою комп'ютерного моделювання параметрів вогневого випробування системи фасадної теплоізоляції на поширення вогню у середовищі FDS було одержано числові та графічні показники, які характеризують процес виникнення, поширення і розвитку пожежі поверхнею системи фасадної теплоізоляції будинку, а також встановлено вплив зовнішніх вертикальних огороджувальних конструкцій на поширення вогню поверхнею конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з горючим утеплювачем. Отримані результати чисельного моделювання параметрів вогневого випробування системи фасадної теплоізоляції на поширення вогню у середовищі FDS вказують на те, що загальне стандартне відхилення в теоретичних даних було вищим, ніж за результатами експериментальних досліджень. Так, наявність у конструкції фрагмента будівлі вертикальної стіни (внутрішні кути будівлі) створює «екрануючий ефект», тобто полум'я, яке виходить із віконного прорізу, відбивається і температура на поверхні конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією значно підвищується. Так, для термопар T15-T17 температура підвищується на 140-220°C; для термопар T19-T21 – на 180-350°C; для термопар T27-T29 – на 110-190°C.

Крім цього, наявність зовнішніх вертикальних огороджувальних конструкцій на фасаді будівлі сприяє зростанню температури і всередині конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією, про що свідчать покази термопар T33 і T35 – підвищення на 50-100°C; термопар T36 і T38 – підвищення на 50-180°C.

Практичне значення. Результати чисельного моделювання, отримані автором, спрямовані на використання проектними організаціями під час облаштування протипожежних поясів із застосуванням в якості утеплювача негорючих плит з мінеральної вати у внутрішніх кутах будівлі за наявності віконних та балконних прорізів для запобігання поширенню пожежі поверхнею фасадних систем в житлових будинках.

Ключові слова: система фасадної теплоізоляції, конструкція із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою, зовнішня пожежа, комп'ютерне моделювання, поширення полум'я по фасаду, FDS моделювання, PyroSim.

*R. S. Yakovchuk**Lviv State University of Life Safety*

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF EXTERNAL VERTICAL ENVIRONMENTAL STRUCTURES ON THE SPREAD OF FIRE ON THE SURFACE OF WALLS

Purpose. Using FDS modelling to investigate the influence of external vertical enclosing structures on the spread of fire on the surface of external wall structures with facade insulation with combustible insulation.

Methods. Using the software package Pyrosim performed numerical modelling of the dynamics of development and spread of fire on the surface of the thermal insulation and finishing system, which serves as a user shell for the program Fire Dynamics Simulator (FDS). To visualize the results of calculations, the software module of the PyroSim Smoke view system was used, which allows building appropriate graphical representations of temperature distributions. This system also allows you to monitor the dynamics of temperature fields and reproduce the heating process with animation.

Results. With the help of computer modelling of fire test parameters of facade insulation system for fire propagation in FDS environment, numerical and graphical indicators were obtained by computer simulation of the fire test parameters of the

facade insulation system for fire propagation in the FDS environment. They characterize the process of occurrence, spread and development of fire by the surface of the facade insulation system. Also, we established the influence of external vertical enclosing designs on a fire surface of outside walls with a warming of a facade by a combustible heater. The obtained results of numerical modelling of the parameters of the fire test of the facade insulation system for the propagation of fire in the FDS environment indicate that the overall standard deviation in the theoretical data was higher than the results of experimental studies. Thus, the presence in the structure of a fragment of the building vertical wall (inner corners of the building) creates a “shielding effect”, i.e. the flame emanating from the window is reflected and the temperature on the surface of external walls with facade insulation rises significantly. Thus, for thermocouples T15-T17 the temperature rises by 140-220 °C; for thermocouples T19-T21 – by 180-350 °C; for thermocouples T27-T29 – by 110-190 °C, respectively.

In addition, the presence of external vertical enclosing structures on the facade of the building contributes to the increase in temperature and inside the structures of external walls with facade insulation, as evidenced by the readings of thermocouples T33 and T35 – an increase of 50-100 °C; thermocouples T36 and T38 – increase by 50-180 °C.

Practical value. The results of numerical simulations obtained by the author are aimed at the use of design organizations in the installation of fire belts using non-combustible mineral wool boards in the inner corners of the building as insulation in the presence of window and balcony openings to prevent fire from spreading on facade systems in residential buildings.

Keywords: façade heat-insulating system, construction fit with façade heat insulation and finished with rendering, external fire, computer simulation, fire spread across façade, FDS modelling, Pyrosim.

Постановка проблеми. На сьогодні в Україні загальні вимоги пожежної безпеки до фасадних систем регламентовані Державними будівельними нормами ДБН В.1.1-7 [1]. Згідно з цими будівельними нормами, у будинках I ступеня вогнестійкості забороняється виконувати зовнішню поверхню облицювання зовнішніх стін будинку з використанням горючих матеріалів. У будинках II, III ступенів вогнестійкості допускається виконувати зовнішню поверхню облицювання зовнішніх стін будинку з використанням матеріалів групи горючості Г1, крім випадків, обумовлених у НД.

У будинках з умовною висотою не більше ніж 26,5 м, у внутрішніх шарах системи зовнішнього облицювання стін будинку допускається використовувати матеріали груп горючості Г1, Г2. При цьому група горючості утеплювача і облицювання повинна оцінюватися шляхом проведення лабораторних випробувань за методом, вказаним в національному стандарті України ДСТУ 8829 [2].

У розвиток цих загальних вимог в Державних будівельних нормах ДБН В.2.6-33 [3] встановлені вимоги до групи горючості теплоізоляційного і опоряджувального матеріалу в залежності від конструктивного рішення (класу) фасадної системи. Відповідно до цих норм при застосуванні матеріалів теплової ізоляції та опоряджувального шару групи горючості НГ, згідно з ДБН В.1.1-7 [1], конструкції із фасадною теплоізоляцією можуть застосовуватися для будівель та споруд з умовною висотою понад 47 м без обмежень.

Також в ДБН В.2.6-33 [3] зазначено, що застосування конструкцій з опорядженням штукатуркою з теплоізоляцією групи низької горючості Г1 і групи помірної горючості Г2 для будівель та споруд з умовною висотою понад 9 м можливе за умови, що комплект фасадної теплоізоляції не поширює вогню. Здатність комплекту чи збірної системи поширювати вогонь по фасаду оцінюють за результатами натурних вогневих випробувань, які проводяться до початку будівельно-монтажних робіт.

На підтримку ДБН В.2.6-33 [3] в Україні прийняті національні стандарти ДСТУ Б В.2.6-34 [4], ДСТУ Б В.2.6-35 [5] та ДСТУ Б В.2.6-36 [6], в яких зокрема, зазначена класифікація збірних систем, вимоги пожежної безпеки та періодичність проведення їх випробувань.

В ДСТУ Б В.2.6-35 [5], який поширюється на конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією класів Б та В, зазначено, що теплоізоляційні плити повинні належати до негорючих (НГ) матеріалів згідно з ДБН В.1.1-7 [1]. Внутрішній шар двохшарової теплової ізоляції конструкції теплової ізоляції може виконуватись із мінераловатних плит груп горючості Г1, Г2 з густиною не менше 30 кг/м³. Опоряджувальні матеріали, що використовуються при улаштуванні конструкцій фасадної теплоізоляції для будинків I ступеня вогнестійкості, повинні бути негорючими (НГ). Для будинків II, III, IIIа, IIIб, IV і IVа ступенів вогнестійкості дозволяється використовувати опоряджувальні матеріали, що мають групу горючості Г1 згідно з ДСТУ 8829 [2] та групу займистості В1 згідно з ДСТУ Б В.1.1-2 (ГОСТ 30402) [7] з обов'язковим протипожежним поясом із негорючого матеріалу товщиною, що дорівнює двом товщинам теплоізоляційного шару, через кожні три поверхи.

В ДСТУ Б В.2.6-36 [6], дія якого поширюється на конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією класу А, вказано, що у будинках до п'яти поверхів включно із застосуванням при зведенні конструкцій із фасадною теплоізоляцією класу А пінополістирольних плит груп горючості Г1, Г2, згідно з класифікацією ДБН В.1.1-7 [1], слід передбачати об'ємлення віконних і дверних (ворітних) прорізів стін, а також суцільний пояс на рівні третього поверху, що виконані з негорючих теплоізоляційних матеріалів завширшки не менше як дві товщини плити. У багатоповерхових будинках до дев'яти поверхів включно із застосуванням при зведенні конструкцій із фасадною теплоізоляцією класу А пінополістирольних плит груп горючості Г1, Г2 згідно з

класифікацією ДБН В.1.1-7 [1], слід передбачати об'єднання віконних і дверних (ворітних) прорізів стін, а також суцільні пояси через кожні три поверхи, які виконані з негорючих теплоізоляційних матеріалів завширшки не менше двох товщин плити. У будинках дитячих дошкільних закладів та навчальних закладів слід додатково облаштовувати суцільний пояс із негорючих утеплювачів не менше двох метрів від рівня вимощення.

Для зовнішніх стін з фасадною тепловою ізоляцією для обмеження поширення вогню та диму з одного протипожежного відсіку в інший по пустотах усередині фасадів і по зовнішній поверхні фасадів необхідно визначати характеристики щодо «реакції на вогонь» їх складових, в Україні ця вимога визначена в [3] та в ДСТУ-Н Б ЕТАГ 017:2013 [8], а також «здатності поширювати вогонь» фасадної системи вцілому. Зокрема, оцінювання «здатності поширювати вогонь» фасадних систем може бути здійснено шляхом проведення середньомасштабних і великомасштабних випробувань за стандартами ДСТУ Б.В.1.1-21-2009 [9] та ДСТУ Б.В.1.1-22-2009 [10]. Однак, на сьогодні, в будівельних нормах України відсутні вимоги до показників щодо «реакції на вогонь», в тому числі і до складових фасадної теплової ізоляції.

Виникнення та розвиток пожежі може відбутися в результаті порушень вимог пожежної безпеки під час влаштування фасадних систем із горючим шаром теплової ізоляції та опоряджувальним шаром із горючих матеріалів через недотримання або порушення загальних правил влаштування та експлуатації будинків із системами фасадної теплоізоляції зовнішніх стін.

Отже, значної актуальності набувають проблеми поширення пожеж поверхнею конструкцій зовнішніх стін будинків із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою, а також розробка та дослідження організаційних та технічних заходів, спрямованих на підвищення пожежної безпеки таких об'єктів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Дослідження експериментальним та чисельним шляхом поширення полум'я конструкціями зовнішніх стін будинків із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою залишаються актуальними і на даний час. Особливу увагу науковців привертає здатність чисельної моделі відтворювати кількісні результати температур та теплового потоку для подальшої оцінки характеристик впливу вогню на фасадну ізоляцію. Результати досліджень параметрів вогневого випробування конструкції зовнішньої стіни із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою на поширення вогню за допомогою комп'ютерного моделювання, а також результати математичного моделювання розвитку пожежі у триповерховій житловій будівлі при проведенні в

ній повномасштабних пожежних випробувань описані в роботах [11–13].

В роботах [14, 15] автори порівнюють результати повномасштабних вогневих випробувань фасадних систем за шведською (SP Fire 105) та британською (BS 8414-1) методиками. Представлені результати експериментальних досліджень та комп'ютерного моделювання враховують різні варіації вогневого впливу, пожежного навантаження та виду палива. Моделювання CFD (Computational Fluid Dynamics) у FDS дало змогу відтворювати експериментально визначені значення температури якісно та кількісно.

В [16] проведено випробування фасадної системи згідно з методикою, яку вимагає французька технічна специфікація (IT249) правил техніки безпеки. Вона спрямована на обмеження ризиків поширення пожеж фасадами на верхні рівні. Моделювання динаміки пожежі виконували за допомогою FDS для двох повномасштабних експериментів, проведених лабораторією Efectis France. Основною метою даного дослідження було оцінити здатність чисельної моделі відтворювати кількісні результати температур газу та теплового потоку на випробуваному фасаді для подальшої оцінки характеристик впливу вогню на фасадну ізоляцію. Під час порівняння експериментальних даних з чисельними розрахунками було отримано задовільні результати температури та теплового потоку (HRR).

В роботах [17–19] автори досліджували вплив горизонтальних перешкод на різних висотах між захищеними отворами на фасаді будівлі на поширення зовнішньої пожежі експериментальним шляхом та порівнювали отримані дані за допомогою чисельного інструмента Fire Dynamics Simulator (FDS). Чисельне дослідження було поділено на дослідження валідації та порівняльний аналіз. Дослідження валідації було проведено для оцінки FDS як інструменту розрахунку для моделювання зовнішнього поширення пожежі та виконано з використанням експериментальних результатів великомасштабного випробування на вогонь, проведеного на випробувальному стенді SP FIRE 105 у м. Бурос, Швеція. Випробувальний стенд SP FIRE 105 є методом випробування фасадних систем, що імітують вплив пожежі на фасад першого поверху триповерхового житлового будинку. Було зроблено висновок, що версія 6.2.0 FDS може відтворювати експериментальні результати з високим рівнем деталізації.

В роботі [20] отримано результати моделювання поширення полум'я поверхнею теплоізоляційних матеріалів. Було зафіксовано швидкість тепловиділення для аналізу інтенсивності горіння, де висота полум'я записувалася як функція тепловиділення. Досліджено співвідношення між висотою полум'я та загальним тепловим потоком.

В роботі [19] автори зробили спробу відтворити сценарій зовнішньої пожежі систем теплоізоляції фасаду та запропонували метод кількісної оцінки ризику виникнення пожеж, використовуючи програмне забезпечення FDS.

Мета роботи. Основною метою цієї роботи було застосовуючи FDS-моделювання дослідити вплив зовнішніх вертикальних огорожувальних конструкцій на поширення вогню поверхнею зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з горючим утеплювачем. Для досягнення цієї мети доцільно застосовувати засоби обчислювальної газогідродинаміки, які дають змогу визначити межі застосування такого підходу для прогнозування поведінки будівельних конструкцій в умовах пожежі.

Методи досліджень. Чисельне моделювання динаміки розвитку та поширення пожежі поверхнею теплоізоляційно-оздоблювальної системи виконували за допомогою програмного комплексу Pyrosim, яка слугує користувацькою оболонкою для програми Fire Dynamics Simulator (FDS). Ця система використовує чисельні алгоритми розв'язку повної системи диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса для визначення температури та інших небезпечних факторів під час пожежі [22, 23]. Розробником та реалізатором даних алгоритмів у комп'ютерній системі FDS для проведення розрахунків та візуалізації їх результатів є Національний інститут стандартів і технологій (National Institute of Standards and Technology – NIST). Крім цього, розробник виконав верифікацію та валідацію результатів розрахунків у дуже широкому діапазоні випадків пожеж.

Для візуалізації результатів розрахунків використовується програмний модуль системи PyroSim Smokeview, що дає змогу побудувати відповідні графічні відображення розподілень температури. При цьому дана система також дає змогу відслідковувати динаміку температурних полів та відтворювати процес нагрівання за допомогою анімації. Також ця система дає можливість отримувати картини задимлення, розподілення концентрації продуктів горіння [24].

Алгоритми FDS засновані на чисельному розв'язку диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса з огляду на припущення, що потоки при пожежі мають низьку швидкість та залежні від температури із відповідними закономірностями утворення. При цьому для чисельної апроксимації диференціальних рівнянь тепломасообміну використовується метод кінцевих різниць на регулярних сітках за обчислювальною явною схемою «предиктор-коректор» другого порядку точності по координатах і за часом [22, 23].

При проведенні моделювання пожежі у відповідних моделях будівлі має бути врахований променистий теплообмін. За таких умов використовується спосіб розв'язку рівняння променистого переносу тепла для газу, а також з використанням широкодіапазонної моделі. Для чисельного розв'язку рівняння

променистого теплопереносу використовується метод, аналогічний методу контрольних об'ємів для променистого переносу, який називається методом кінцевих об'ємів (Finite Volume Method (FVM)). Обчислювальний процес потребує великих ресурсів комп'ютерної техніки, оскільки при використанні приблизно 100 дискретних кутів обчислення променистого теплообміну займає приблизно 20 % загального часу завантаження центрального процесора. Врахування поглинання та випромінювання тепла сажею й димом обчислюються за допомогою вузькополосної моделі RADCAL [22, 23].

Результати досліджень. Методика проведення експерименту та результати комп'ютерного моделювання параметрів вогневого випробування системи фасадної теплоізоляції на поширення вогню у середовищі FDS описані в [13]. Фрагмент будинку, який використовували для проведення досліджень, являє собою двоповерхову споруду загальною висотою 5,6 м згідно [25], загальний вигляд якої наведено на рисунку 1.

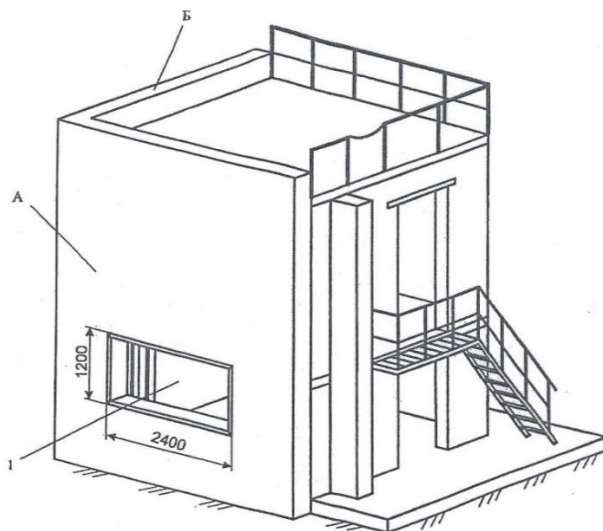


Рисунок 1 – Фрагмент будинку для випробування конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою та утеплювачем на поширення вогню:

А, Б – стіни, які призначені для монтажу системи фасадної теплоізоляції, що підлягає випробуванню;
1 – віконний проріз

Стіни А та Б будинку призначені для монтажу фасадних конструкцій із горючим утеплювачем, що безпосередньо підлягають випробуванню на поширення вогню.

Для дослідження впливу зовнішніх вертикальних огорожувальних конструкцій на поширення вогню поверхнею фасадних конструкцій в будівлі на відстані 50 см від правого краю віконного прорізу змодельовано стіну В з довжиною 1,2 м, на поверхні якої передбачено фасадну теплоізоляцію із горючим утеплювачем. Вигляд розрахункової моделі дослідження

дження впливу зовнішніх вертикальних огорожувальних конструкцій на поширення вогню поверхнею фасадних конструкцій, виконаний в PyroSim, наведено на рис. 2.

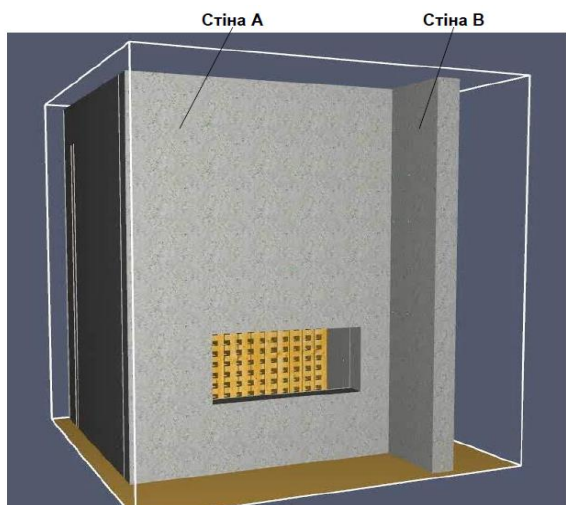


Рисунок 2 – Загальний вигляд розрахункової моделі будівлі для дослідження впливу зовнішніх вертикальних огорожувальних конструкцій на поширення вогню поверхнею фасадних конструкцій

Використовуючи комп'ютерний модуль PyroSim, дані щодо геометрії та основні властивості матеріалів та речовин вводилися інтерактивно і відповідним чином перевірені за коректністю вхідного

формату файлів, які використовуються у FDS. Версія PyroSim, що використана у цій роботі, підтримує актуальну версію FDS [22, 23].

Для вимірювання температури використовували термопари. Температуру у вогневій камері вимірювали термопарами не менше, ніж в дев'яти точках. При цьому не менше п'яти термопар було розташовано в горизонтальній площині, на відстані (200 ± 5) мм від поверхні стелі, і не менше ніж по дві термопари – відповідно в горизонтальних площинах, на відстані (850 ± 5) мм та (1500 ± 10) мм від поверхні стелі.

Температуру полум'я біля віконного отвору вогневої камери вимірювали не менше ніж у трьох точках. Термопари було встановлено на відстані від 140 мм до 160 мм від верху віконного отвору і на відстані від 20 мм до 30 мм від площини стіни А.

Температуру середовища біля зовнішньої поверхні теплоізоляційно-оздоблювальної системи (ТОС) вимірювали на стінах А і В термопарами не менше ніж в двадцяти і десяти точках, відповідно. При цьому термопари було встановлено на відстані 20-30 мм від поверхні ТОС.

Температуру всередині ТОС вимірювали на стінах А і В термопарами не менше ніж в двадцяти і восьми точках відповідно. Для цього термопари було встановлено на відстані не більшій за 25 мм від поверхні шару ізоляції ТОС з боку, протилежного вогневій камері. Схему розташування термопар наведено на рис. 3.

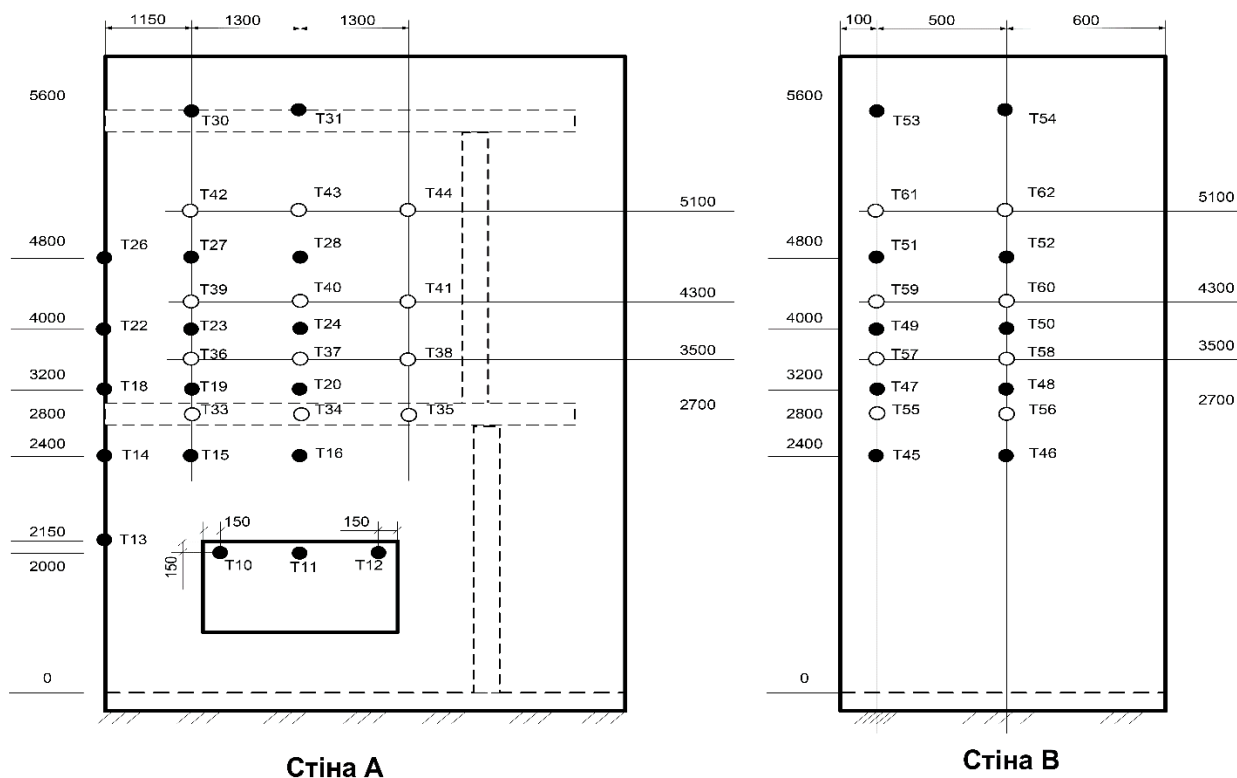


Рисунок 3 – Схема розташування термопар на стінах А та В:

T10 – T12 термопари для вимірювання температури середовища біля віконного отвору;
 T13 – T42 - термопари для вимірювання температури середовища біля зовнішньої поверхні ТОС;
 T_{в33} – T_{в52} - термопари для вимірювання температури всередині ТОС

Тривалість випробування становила 30 хв, виходячи із максимального значення нормованої межі вогнестійкості для зовнішніх не несучих стін, яке наведено в ДБН В.1.1-7 [1].

Залежність потужності пожежі від часу та вигляд фрагмента будинку під час комп'ютерного моделювання на різні моменти часу зображено на рис. 4 та 5.

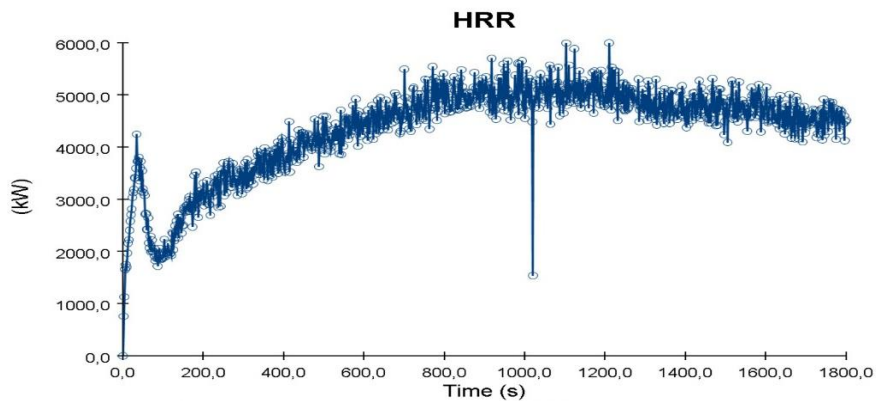


Рисунок 4 – Графік потужності виділення тепла від часу (HRR)

В результаті чисельного моделювання було визначено, що максимальна потужність пожежі досягається приблизно на 1200-й секунді (20-та хвилинка) і становить 5,7 МВт. При максимальному значенні

потужності виділення тепла під час пожежі локальні значення температури досягають 660-960°C. Середнє значення температура в зоні горіння (вогняна камера) на 20-ту хвилину становить 760-780°C.

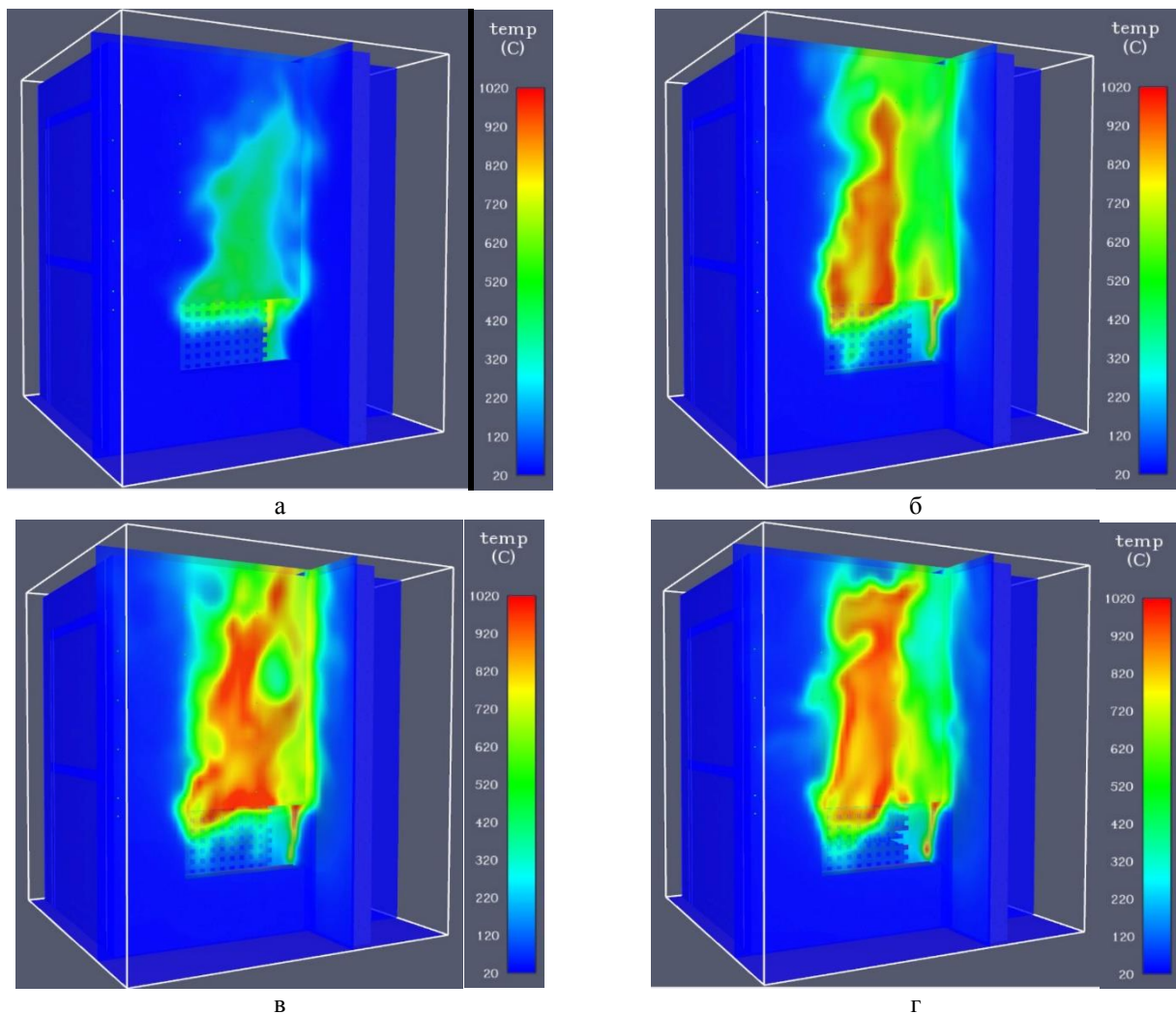


Рисунок 5 – Температурний розподіл на поверхні стіни будинку під час моделювання на моменти часу від початку: а – 1 хв; б – 10 хв; в – 20 хв; г – 30 хв

За допомогою комп'ютерного моделювання було виконано прогнозування динаміки розвитку та поширення небезпечних факторів пожежі (вогню, диму, високої температури, чадного газу тощо), а також одержано чисельні та графічні значення температури продуктів горіння та теплового потоку, температурного розподілу у вогневій камері, всередині та на поверхні системи фасадної теплоізоляції (рис. 5), потужності виділення тепла (HRR) (рис. 4). Отримані

результати чисельного моделювання динаміки розвитку та поширення пожежі поверхнею теплоізоляційно-оздоблювальної системи досить добре узгоджуються з результатами досліджень закордонних авторів [14-21].

Відповідно до температурних датчиків (термопар), що були встановлені згідно схем розташування термопар (рис. 3), було отримано графіки залежності температури від часу. Результати наведені на рис. 6-10.

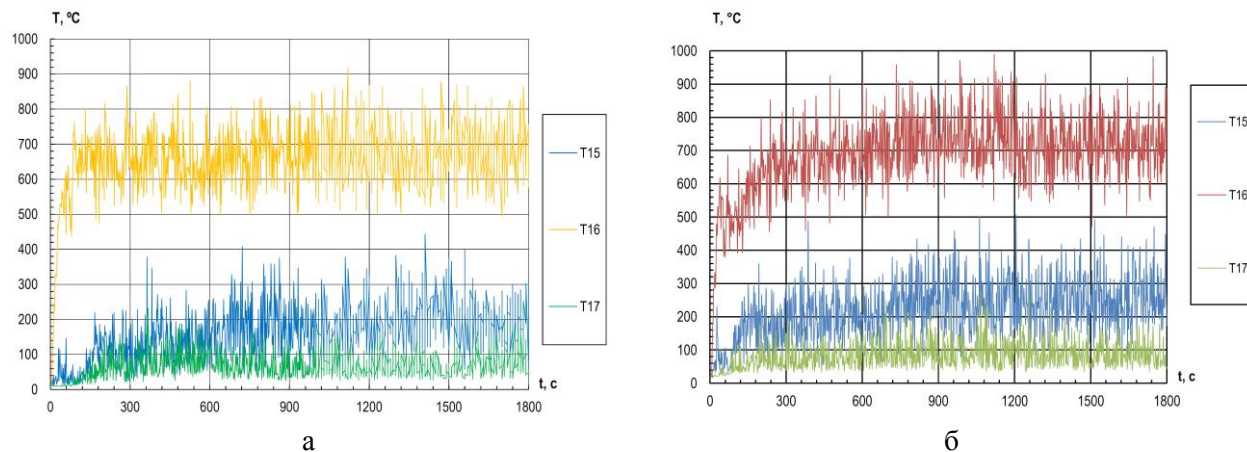


Рисунок 6 – Зміна температури біля поверхні ТОС (термопари T15 - T17) за результатами комп'ютерного моделювання пожежі в будівлі: а – без стіни; б – зі стіною на відстані 50 см

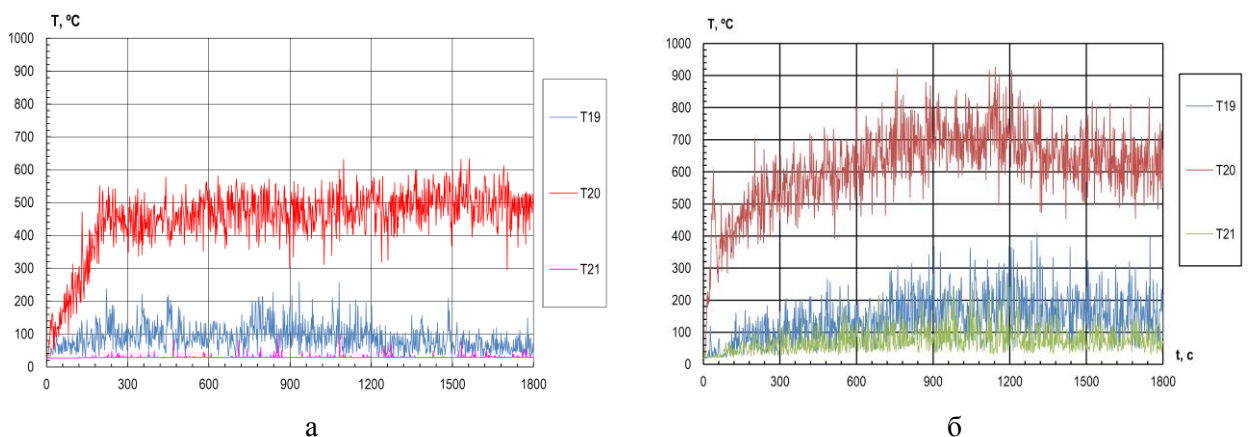


Рисунок 7 – Зміна температури біля поверхні ТОС (термопари T19 - T21) за результатами комп'ютерного моделювання пожежі в будівлі: а – без стіни; б – зі стіною на відстані 50 см

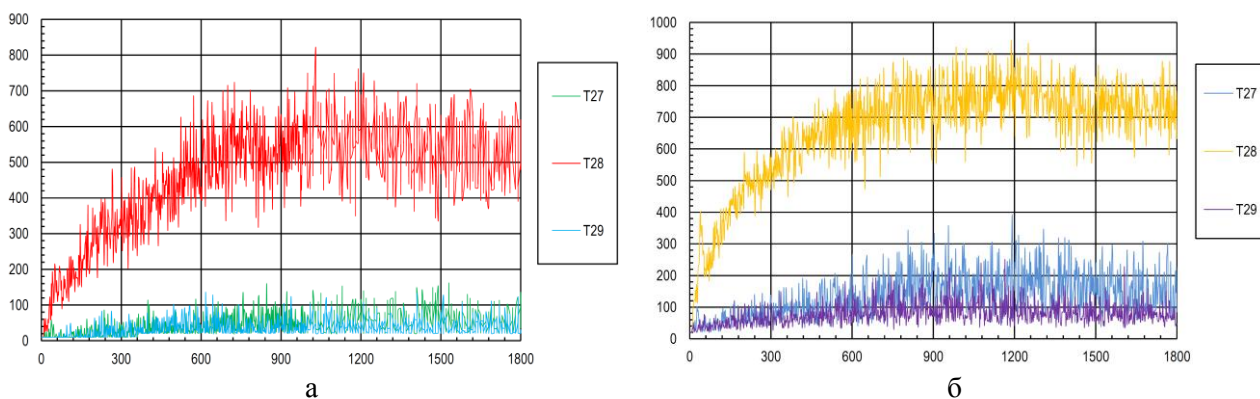
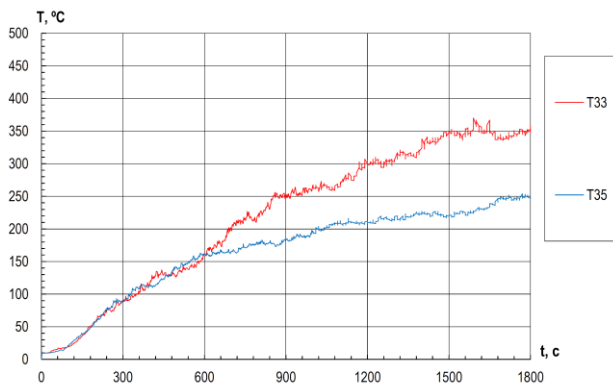
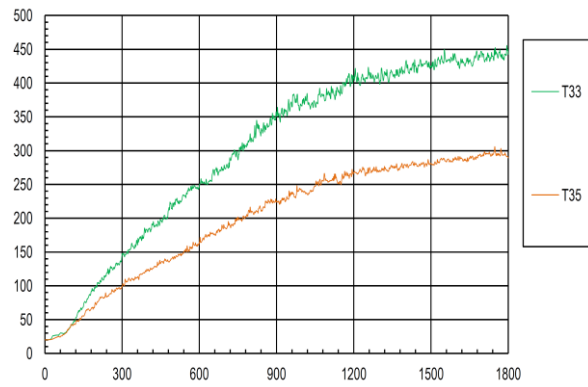


Рисунок 8 – Зміна температури біля поверхні ТОС (термопари T27 - T29) за результатами комп'ютерного моделювання пожежі в будівлі: а – без стіни; б – зі стіною на відстані 50 см

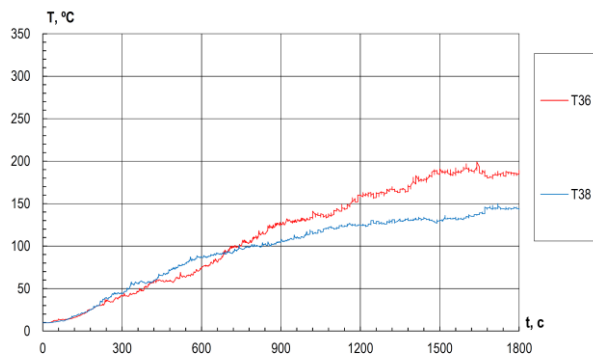


а

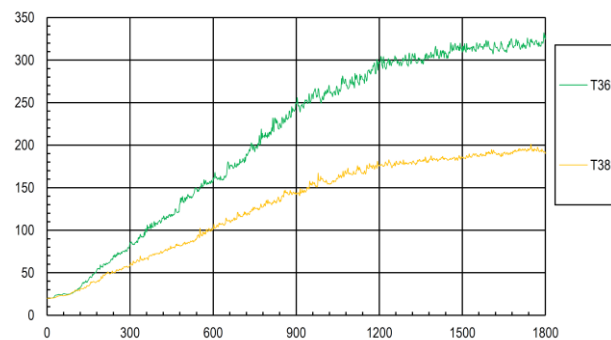


б

Рисунок 9 – Зміна температури всередині ТОС (термопарі Т33 і Т35) за результатами комп'ютерного моделювання пожежі в будівлі: а – без стіни; б – зі стіною на відстані 50 см



а



б

Рисунок 10 – Зміна температури всередині ТОС (термопарі Т36 і Т38) за результатами комп'ютерного моделювання пожежі в будівлі: а – без стіни; б – зі стіною на відстані 50 см

Результати FDS-моделювання дослідження впливу зовнішніх вертикальних огорожувальних конструкцій на поширення вогню поверхнею зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з горючим утеплювачем використовувалися для чисельної оцінки значень температури всередині та біля поверхні конструкції фасадної теплоізоляції для порівняння їх з даними, отриманими в [14], тобто під час моделювання параметрів вогневого випробування конструкції зовнішньої стіни із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою на поширення вогню без вертикальних перешкод.

Висновки

1. За допомогою комп'ютерного моделювання параметрів вогневого випробування системи фасадної теплоізоляції на поширення вогню у середовищі FDS було одержано чисельні та графічні показники, які характеризують процес виникнення, поширення і розвитку пожежі поверхнею системи фасадної теплоізоляції будинку, а також встановлено вплив зовнішніх вертикальних огорожувальних конструкцій на поширення вогню поверхнею зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з горючим утеплювачем. Отримані результати моделю-

вання дали змогу відтворити належним чином реальні умови випробування, а під час порівняння експериментальних даних з чисельними розрахунками було отримано задовільні результати.

2. Отримані результати чисельного моделювання параметрів вогневого випробування системи фасадної теплоізоляції на поширення вогню у середовищі FDS вказують на те, що загальне стандартне відхилення в теоретичних даних було вищим, ніж за результатами експериментальних досліджень. Із отриманих графіків видно, що наявність у конструкції фрагмента будівлі вертикальної стіни створює «екрануючий ефект», тобто полум'я, яке виходить із віконного отвору, відбивається і температура на поверхні конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією значно підвищується. Так, для термопар Т15-Т17 температура підвищується на 140-220°C; для термопар Т19-Т21 – на 180-350°C; для термопар Т27-Т29 – на 110-190°C відповідно.

Крім цього, наявність зовнішніх вертикальних огорожувальних конструкцій на фасаді будівлі сприяє зростанню температури і всередині конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією, про що свідчать покази термопар Т33 і Т35 – підвищення на 50-100°C; термопар Т36 і Т38 – підвищення на 50-180°C.

3. Результати чисельного моделювання, отримані автором, спрямовані на використання проектними організаціями під час облаштування протипожежних поясів із застосуванням в якості утеплювача негорючих плит з мінеральної вати у внутрішніх кутах будівлі за наявності віконних та балконних прорізів для запобігання поширенню пожежі поверхнею фасадних систем в житлових будинках. Якщо ж в конструкції фасадної теплоізоляції з горючим утеплювачем не будуть передбачені елементи з негорючої мінеральної вати, тоді пожежна небезпека таких конструкцій суттєво підвищується.

Список літератури:

1. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. К.: Мінрегіон України, 2017. 35 с.
2. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. [чинний від 2020-01-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 146 с.
3. ДБН В.2.6-33:2018 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування. К.: Мінрегіон України, 2018. 19 с.
4. ДСТУ Б В.2.6-34:2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні технічні вимоги. [чинний від 2009-06-01]. К.: Мінрегіонбуд, 2009. 19 с.
5. ДСТУ Б В.2.6-35:2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентиляльованим повітряним прошарком. Загальні технічні умови. [чинний від 2009-06-01]. К.: Мінрегіонбуд, 2009. 35 с.
6. ДСТУ Б В.2.6-36:2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови. [чинний від 2009-06-01]. К.: Мінрегіонбуд, 2009. 43 с.
7. ДСТУ Б В.1.1-2-97 (ГОСТ 30402-96) Захист від пожежі. Матеріали будівельні. Метод випробування на займистість. [чинний від 1998-01-01]. К.: Держкоммістобудування України, 1997. 34с.
8. ДСТУ-Н Б ЕТАГ 017:2013 Настанова з європейського технічного ухвалення комплектів ізоляції. Збірні системи для зовнішньої ізоляції стін (ЕТАГ 017:2005, ІДТ).
9. ДСТУ Б В.1.1-21-2009 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Метод великомасштабних вогневих випробувань (ISO 13785-2:2002, MOD). [чинний від 2009-08-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 24 с.
10. ДСТУ Б В.1.1-22-2009 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Метод середньомасштабних вогневих випробувань (ISO 13785-1:2002, MOD). [чинний від 2009-08-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 15 с.
11. Roman Yakovchuk, Andriy Kuzyk, Olexander Kagitin, Andriy Ivanusa and Sergiy Yemelyanenko (2021). FDS simulation of fire spreading on façade heat insulating system. 2021 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 635 012009 doi: 10.1088/1755-1315/635/1/012009
12. Shnal T., Pozdieiev S., Yakovchuk R., Nekora O. (2020) Development of a Mathematical Model of Fire Spreading in a Three-Storey Building Under Full-Scale Fire-Response Tests. In: Blikharskyy Z. (eds) Proceedings of EcoComfort 2020. EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 100. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_51
13. Yakovchuk R., Kuzyk A., Skorobagatko T., Yemelyanenko S., Borys O., Dobrostan O. (2020). Computer simulation of fire test parameters façade heat insulating system for fire spread in fire dynamics simulator (FDS). News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences. Volume 4, Number 442 (2020), pp. 35 – 44. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.82>
14. Anderson, J., Jansson, R. (2013). Fire Dynamics in Facade Fire Tests: Measurement and Modeling, Proceedings of Interflam 2013, page 93, Royal Holloway College, University of London UK
15. Anderson, J., Jansson, R. (2013). Facade fire tests – measurements and modeling, MATEC Web of Conferences 9, 02003. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/20130902003>
16. Dréan V., Schillinger R., Auguin G. (2016). Fire exposed facades: Numerical modelling of the LEPiR2 testing facility. MATEC Web of Conferences 46 03001. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20164603001>
17. Nilsson, M., Mossberg, A., Husted, B., & Anderson, J. (2016). Protection against external fire spread - Horizontal projections or spandrels?, 14th International Fire Science & Engineering Conference, Royal Holloway College, University of London, UK, Vol. 2, pp. 1163-1174. https://www.researchgate.net/publication/306078631_Protection_against_external_fire_spread_-_Horizontal_projections_or_spandrels
18. Nilsson, M., Nilsen, J., & Mossberg, A. (2016). Validating FDS against a large-scale fire test for facade systems, 3rd Fire and Evacuation Modelling Technical Conference (FEMTC), Melia Costa del Sol in Torremolinos, Spain. https://www.researchgate.net/publication/311264945_Validating_FDS_against_a_large-scale_fire_test_for_facade_systems
19. Nilsson, M. (2016). The impact of horizontal projections on external fire spread - a numerical comparative study, Report nr. 5510, Lund University, Division of Fire Safety Engineering, Lund, 2016. <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8719885&fileId=8725572>
20. Yanan Hou, Xudong Cheng, Shenyou Liu, Changcheng Liu, Heping Zhang. (2015). Experimental

Study on upward Flame Spread of Exterior Wall Thermal Insulation Materials, *Energy Procedia*, Volume 66, 161-164, ISSN 1876-6102.

21. Zhang, G., Zhu, G., Zhao, G. (2016). Analysis of the Influence of Construction Insulation Systems on Public Safety in China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 13, 861.

22. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model / NIST Special Publication 1018-1. Sixth Edition. - 2015.

23. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Volume 3: Validation / NIST Special Publication 1018-3. Sixth Edition. - 2015

24. Forney G.P. User's Guide for Smokeview Version 5-A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data.: National Institute of Standards. – P. 234.

25. Методика натурних вогневих випробувань теплоізоляційно-оздоблювальних систем зовнішніх стін будинків і споруд на поширення вогню, розроблена УкрНДІПБ МНС України, 2010.

References:

1. DBN V.1.1-7:2016 Fire safety objects of construction. General requirements. (2016). Kiev: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine (in Ukr.)

2. DSTU 8829:2019 Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods of their definition. Classification. (2019). (in Ukr.)

3. DBN V.2.6-33:2018 Constructions of heat insulated external walls. Requirements for the designing. (2018). Kiev: "Ukrarkhbudinform" (in Ukr.)

4. DSTU B V. 2.6-34:2008 Constructions of houses and buildings. Constructions of external walls with front thermal insulation. Classification and general technical requirements. (2009), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.)

5. DSTU B V. 2.6-35:2008 Constructions of houses and buildings. Exterior wall constructions with facade thermal insulation and finishing with industrial elements with ventilated air layer. General technical conditions (2009), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.)

6. DSTU B V. 2.6-36:2008 Construction of buildings and structures. Construction of the external walls with facade insulations and plaster. General technical requirements (2009), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.)

7. DSTU B V.1.1-2-97 Fire protection. Building materials. Flammability test method. (1997). (in Ukr.)

8. DSTU -N B ETAG 017:2013 Guidelines for European technical approval of insulation kits. Prefabricated systems for external wall insulation (ETAG 017: 2005, IDT) (in Ukr.)

9. DSTU B V.1.1-21-2009 Constructions of external walls with front thermal insulation. Large-scale fire test method (ISO 13785-2: 2002, MOD). (2009), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.)

10. DSTU B V.1.1-22-2009 Constructions of

external walls with front thermal insulation. Medium-scale fire test method (ISO 13785-1: 2002, MOD). (2009), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.)

11. Roman Yakovchuk, Andriy Kuzyk, Olexander Kagitin, Andriy Ivanusa and Sergiy Yemelyanenko (2021). FDS simulation of fire spreading on façade heat insulating system. 2021 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 635 012009 doi: 10.1088/1755-1315/635/1/012009

12. Shnal T., Pozdieiev S., Yakovchuk R., Nekora O. (2020) Development of a Mathematical Model of Fire Spreading in a Three-Storey Building Under Full-Scale Fire-Response Tests. In: Blikharskyy Z. (eds) *Proceedings of EcoComfort 2020. EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 100. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_51

13. Yakovchuk R., Kuzyk A., Skorobagatko T., Yemelyanenko S., Borys O., Dobrostan O. (2020). Computer simulation of fire test parameters façade heat insulating system for fire spread in fire dynamics simulator (FDS). *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences*. Volume 4, Number 442 (2020), pp. 35 – 44. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.82>

14. Anderson, J., Jansson, R. (2013). Fire Dynamics in Facade Fire Tests: Measurement and Modeling, *Proceedings of Interflam 2013*, page 93, Royal Holloway College, University of London UK

15. Anderson, J., Jansson, R. (2013). Facade fire tests – measurements and modeling, *MATEC Web of Conferences* 9, 02003. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20130902003>

16. Dréan V., Schillinger R., Auguin G. (2016). Fire exposed facades: Numerical modelling of the LEPiR2 testing facility. *MATEC Web of Conferences* 46 03001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20164603001>

17. Nilsson, M., Mossberg, A., Husted, B., & Anderson, J. (2016). Protection against external fire spread - Horizontal projections or spandrels?, 14th International Fire Science & Engineering Conference, Royal Holloway College, University of London, UK, Vol. 2, pp. 1163-1174. https://www.researchgate.net/publication/306078631_Protection_against_external_fire_spread_-_Horizontal_projections_or_spandrels

18. Nilsson, M., Nilsen, J., & Mossberg, A. (2016). Validating FDS against a large-scale fire test for facade systems, 3rd Fire and Evacuation Modelling Technical Conference (FEMTC), Melia Costa del Sol in Torremolinos, Spain. https://www.researchgate.net/publication/311264945_Validating_FDS_against_a_large-scale_fire_test_for_facade_systems

19. Nilsson, M. (2016). The impact of horizontal projections on external fire spread - a numerical comparative study, Report nr. 5510, Lund University, Division of Fire Safety Engineering, Lund, 2016. <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8719885&fileId=8725572>

20. Yanan Hou, Xudong Cheng, Shenyong Liu, Changcheng Liu, Heping Zhang. (2015). Experimental Study on upward Flame Spread of Exterior Wall Thermal Insulation Materials, Energy Procedia, Volume 66, 161-164, ISSN 1876-6102.

21. Zhang, G., Zhu, G., Zhao, G. (2016). Analysis of the Influence of Construction Insulation Systems on Public Safety in China. Int. J. Environ. Res. Public Health, 13, 861.

22. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model / NIST Special Publication 1018-1. Sixth Edition.- 2015.

23. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Volume 3: Validation / NIST Special Publication 1018-3. Sixth Edition.- 2015

24. Forney G.P. User's Guide for Smokeview Version 5-A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data.: National Institute of Standards. – P. 234.

25. Procedure of fire tests of heat insulating and finishing façade systems for the external walls of buildings and constructions for fire spread, developed by UkrFSRI of the MOE of Ukraine, 2010.

*** Науково-методична стаття**