

Я. В. Балло¹, Р. С. Яковчук², В. В. Ніжник¹, О. О. Сізіков¹, А. Д. Кузик²
¹Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту,
²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОТИПОЖЕЖНИХ КАРНИЗІВ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ПОШИРЕННЮ ПОЖЕЖІ ФАСАДНИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ ВИСОТНИХ БУДИНКІВ

Мета. Застосовуючи FDS моделювання, виявити вплив конструктивних параметрів фасадних протипожежних карнизів на межі протипожежних відсіків висотних будинків для запобігання поширенню пожежі.

Методика. Для розрахунку температурних розподілів по фасадних конструкціях моделі висотного будинку використовувалася комп'ютерна система Pyrosim, яка слугує користувацькою оболонкою для програми Fire Dynamics Simulator (FDS). Ця система FDS використовує чисельні алгоритми розв'язку повної системи диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса для визначення температури та інших небезпечних факторів під час пожежі.

Результати. Наведено результати застосування FDS моделювання для обґрунтування конструктивних параметрів протипожежних карнизів, які виступають за межі фасаду та розташовуються на межі протипожежних відсіків по контуру висотних будинків з умовною висотою більше 73,5 м. Проведено порівняльний аналіз ефективності конструктивних параметрів карнизів та їх вплив на розподіл температури по фасаді будинку під час можливої пожежі. Побудовані порівняльні залежності розподілу температур по фасаді будинку, а також визначено їх площі прогріву.

Наукова новизна. За результатами аналітичних досліджень вимог національних, закордонних нормативних документів та джерел інформації щодо проектування висотних будинків науково обґрунтовано вимоги пожежної безпеки до фасадів висотних громадських будинків з умовною висотою понад 73,5 м в частині формування вимог до обмеження поширенню вогню, диму та прогріву зовнішніх конструкцій фасаду будівлі. Проведено аналіз отриманих даних за результатами FDS моделювання за однакових вихідних умов для надання пропозицій щодо ефективності конструктивних параметрів протипожежних фасадних карнизів на межі протипожежних відсіків та шляхів подальшого удосконалення їх конструкції для запобігання поширенню пожежі у висотних будинках.

Практичне значення. Наведені дослідження спрямовані на використання проектними організаціями під час розробки конструктивних параметрів протипожежних карнизів, які виступають за межі фасаду та розташовуються на межі протипожежних відсіків по контуру висотних будинків для запобігання поширенню пожежі у висотних будинках.

Ключові слова: FDS моделювання, Pyrosim, поширенню пожежі по фасаді, висотні будинки, фасадні протипожежні карнизи, конструктивні параметри карнизів.

Ya. V. Ballo¹, R.S. Yakovchuk², V.V. Nizhnyk¹, O.O. Sizikov¹, A.D.Kuzyk²
¹Institute of Public Administration and Research in Civil Protection,
²Lviv State University of Life Safety

INVESTIGATION OF DESIGN PARAMETERS FACADE FIRE-FIGHTING EAVES FOR PREVENT THE SPREAD OF FIRES ON FACADE STRUCTURES OF HIGH-RISE BUILDINGS

Purpose. The research based on FDS modeling aims to identify design parameters influence of the façade firefighting eaves at fire compartment border on the prevention of fire spreading in high-rise buildings.

Methods. To calculate the temperature in high-rise building model Pyrosim computer system is used which serves as the user's shell application Fire Dynamics Simulator (FDS). This FDS system uses numerical algorithms to solve the complete Navier-Stokes differential equation system to determine the temperature and other hazardous factors during a fire.

Results. This article deals with the results of using the FDS modeling to substantiate fire-fighting eaves design parameters, which are extended beyond the facade and are located at fire compartment border along the perimeter of high-rise buildings with a conventional height of more than 73.5 m. A comparative analysis of eaves' design parameters and their effect on the temperature distribution along the building facade during a possible fire was conducted. Comparative dependences of temperature distribution on building facades were constructed, as well as their heating areas were determined.

Scientific novelty. According to national and foreign regulations requirement analytical research and information sources on the of high-rise buildings design, fire safety requirements to the high-rise public buildings facades with a conventional height of more than 73.5 m were scientifically substantiated in terms of the requirements formation for limiting the fire spreading, smoke and building facades exterior constructions heating.

Practical value. Obtained data was analyzed as a result of FDS modeling under the same reference conditions to provide a conclusion on facade fire-fighting eaves design parameters effectiveness at fire compartment border and further improvement ways of their construction and fire spread prevention in high-rise buildings.

Keywords: FDS modeling, Pyrosim, façade fire spread, high-rise buildings, facade fire eaves, eave design parameters.

Постановка проблеми. Відповідно до вимог ДБН В.2.2-24 та чинного ДБН В.2.2-41 [1] будинки з умовною висотою від 73,5 до 100 м необхідно розділяти на протипожежні відсіки, які відокремлюють один від одного протипожежним перекриттям з класом вогнестійкості не менше REI 180 або технічним поверхом із протипожежними перекриттями класом вогнестійкості не менше REI 120. Крім того, умовна висота протипожежного відсіку не повинна перевищувати 50 м, а на межі протипожежних відсіків (на рівні протипожежного перекриття) слід передбачати протипожежні карнизи по контуру будинку, які виступають за межі фасаду не менше ніж на 0,75 м [1].

Зазначена вимога є важливою складовою комплексу протипожежного захисту для висотних будинків для обмеження можливого поширення пожежі по фасаду та її розповсюдження на верхній протипожежний відсік. Проте слід відзначити, що на сьогодні не досліджувався вплив конструктивних параметрів таких карнизів на ефективність протипожежного захисту та обмеження поширенню пожежі по фасаду висотного будинку. Одним із методів дослідження впливу конструктивних параметрів фасадних карнизів на запобігання поширенню пожежі у висотних будинках є метод математичного моделювання за допомогою програмного комплексу Fire Dynamics Simulator (FDS). Результати FDS моделювання щодо просторово-часового розподілу температури по конструкції фасаду будинку під час можливої пожежі, а також її візуалізація, дадуть змогу отримати дані, на основі яких можна зробити висновки про вплив конструктивних параметрів протипожежних карнизів на запобігання поширенню пожежі та оцінити ефективність їх застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з даними Всесвітньої організації статистичного обліку висотних будинків «Skyscraperpage», станом на 2019 рік, Україна є однією з країн з найбільшою кількістю висотних будинків у світі. Загальна кількість висотних будинків (з умовною висотою понад 47 м [2]) становить 2395 одиниць. При цьому, Київ посідає перше місце в Європі за кількістю висотних будинків – 1214 будинки із них 280 – з умовною висотою понад 73,5 м, залишаючи позаду такі відомі міста як Берлін, Москва, Париж, Лондон [3]. Згідно зі статистичним аналізом, наведеним у [4, 5], на кожні 7 пожеж у висотному будинку гине одна людина, що у середньому в 4-5 разів більше ніж для інших будинків.

Особливістю таких будинків є розміщення в них торговельно-розважальних центрів, офісів, житлових приміщень, паркінгів тощо. Низка обмежень, які діяли за радянських часів для будівництва житлових будинків та подальші скасування цих обмежень для висотного будівництва на початку 2000-х років, спричинили відсутність нормативно-правової бази для будівництва таких об'єктів, зокрема в частині забезпечення пожежної безпеки. Нормативно-правова база щодо вимог пожежної безпеки стала вкрай необхідною і створювалася в найкоротші терміни на основі вже існуючого закордонного досвіду та на базі розробленого УкрНДПБ [6]. Таким чином, в 2009 році в розвиток ДБН В.2.2-15 «Житлові будинки. Основні положення» і ДБН В.2.2-9 «Громадські будинки та споруди. Основні положення» було розроблено ДБН В.2.2-24:2009 «Проектування висотних житлових і громадських будинків».

На той час ДБН В.2.2-24:2009 були дуже важливим етапом розвитку нормування висотного будівництва, проте частина норм, які увійшли до нього, не мали достатнього обґрунтування їх ефективності або взагалі, доцільності їх застосування. Зокрема, це стосується вимог [1], які регламентують влаштування протипожежних карнизів по контуру будинку, що виступають за межі фасаду не менше ніж на 0,75 м на межі протипожежних відсіків висотних будинків. На рисунку 1 наведено фото висотного будинку обладнаного протипожежними карнизами, який позначено стрілками.

Аналіз ефективності тієї чи іншої вимоги будівельних норм потребує досить великого об'єму роботи, а також, як правило, передбачає експериментальні дослідження і випробування, зокрема натурні випробування, які є досить вартісними. Сучасні комп'ютерні програмні комплекси дозволяють проводити аналіз певних об'ємно-планувальних та конструктивних рішень за допомогою методу математичного моделювання, при цьому їх перевагою у порівнянні із натурними випробуваннями є забезпечення високої збіжності вихідних умов та забезпечення сталих параметрів їх проведення (умови навколишнього середовища, пожежне навантаження, відсутність похибки через людський фактор, параметри та точність метрологічного обладнання тощо) [7, 8].



Рисунок 1 – Висотний будинок, обладнаний протипожежними карнизами

Дослідженням проблем пожежної безпеки фасадних систем, зокрема і навісних вентильованих, займалися багато дослідників як вітчизняних, так і закордонних. Останнім часом є досить популярним використання спеціального програмного забезпечення Fire Dynamics Simulator (FDS) для комп'ютерного моделювання поширенню вогню поверхнею фасаду та порівняння експериментальних та чисельних даних [9-13].

Мета досліджень – використовуючи FDS моделювання, виявити вплив конструктивних параметрів фасадних протипожежних карнизів на межі протипожежних відсіків для запобігання поширенню пожежі у висотних будинках.

Об'єкт дослідження – процес впливу конструктивних параметрів протипожежних карнизів на ефективність обмеження температурних впливів на фасад висотного будинку під час пожежі.

Для досягнення мети слід було розв'язати такі задачі:

1. Провести аналіз існуючих конструктивних рішень протипожежних фасадних карнизів на межі протипожежних відсіків у висотних будинках.

2. Розробити типову модель висотного будинку та фасадного протипожежного карнизу на межі вертикальних протипожежних відсіків за допомогою програмного комплексу FDS

3. Провести аналіз отриманих чисельних даних за результатами FDS моделювання за однакових вихідних умов для формування висновку щодо ефективності конструктивних параметрів протипожежних фасадних карнизів на межі протипожежних відсіків, а також шляхів подальшого удосконалення їх конструкції для запобігання поширенню пожежі у висотних будинках.

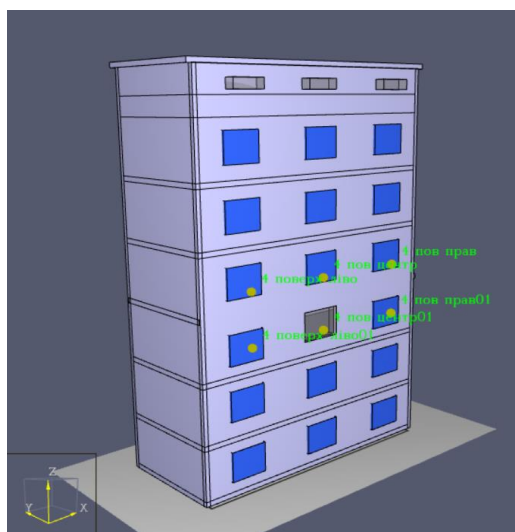
Методи дослідження. Чисельне моделювання динаміки розвитку та поширенню пожежі поверхнею фасаду виконували за допомогою інструмента PyroSim, яка є сучасним програмним забезпеченням для швидкої та точної роботи з Fire Dynamics Simulator (FDS). PyroSim є графічним інтерфейсом для FDS та дає змогу швидко та зручно створювати, редагувати та аналізувати складні моделі розвитку пожежі. Пакет комп'ютерних програм FDS (Fire Dynamic Simulator) розроблений для моделювання процесів займання і поширенню пожеж [7, 8]. Алгоритми, які увійшли в його основу, базуються на фізичних законах гідродинаміки і теплопередачі. Для тривимірної та двовимірної візуалізації результатів моделювання динаміки пожеж застосовували програму Smokeview [14].

FDS (Fire Dynamic Simulation) реалізує обчислювальну гідродинамічну модель (CFD) тепломасопереносу під час горіння. Теплове випромінювання розраховується методом кінцевих елементів у тривимірній сітці (області моделювання). Це програмне забезпечення дає можливість відновити реальні умови пожежі в житлових та промислових приміщеннях. Основною метою FDS є вирішення прикладних задач в області пожежної безпеки та забезпечення необхідним інструментом для вивчення фундаментальних процесів під час процесів горіння.

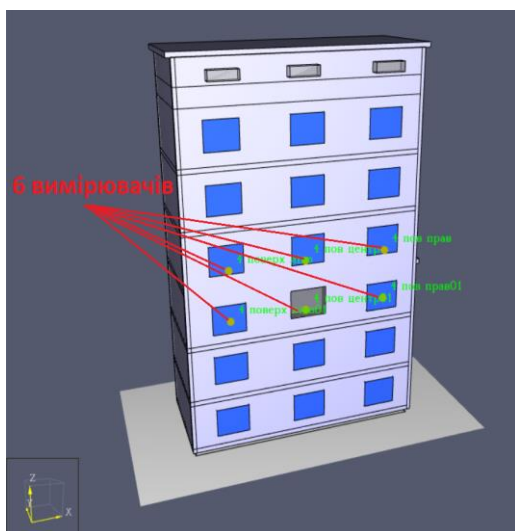
Алгоритми комп'ютерної системи FDS засновані на чисельному розв'язку диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса з огляду на припущення, що потоки при пожежі мають низьку швидкість та залежні від температури, із відповідними закономірностями утворення, або зменшення концентрації компонентів газів за хімічними реакціями горіння. 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 часу [7, 8].

Результати дослідження. *Першим етапом* досліджень було моделювання та дослідження поширенню температури по фасаді висотного будинку за відсутності протипожежного карнизу. Для цього було створено модель 23-поверхового будинку. За основу матеріалу конструкції будинку було обрано монолітний бетон типу «бетон важкий» густиною 2280 кг/м^3 , питомою теплоємністю $2,04 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ та теплопровідністю $1,35 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Світлові прорізи (вікна) будинку заповнені склом, густиною 2500 кг/м^3 , з питомою теплоємністю $0,67 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ та теплопровідністю $0,061 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Характеристики облицювального матеріалу фасаду моделі висотного будинку не враховувалися, умовно приймаючи, що відповідно до вимог [1] вони, згідно з вітчизняною класифікацією будівельних матеріалів, для висотних будинків повинні відповідати класу НГ (негорючі). Крок розрахункової сітки FDS

моделі становить 25 см^2 , що обумовлено геометричними розмірами моделі будівлі та кратності розміру комірки сітки відносно геометричних параметрів самого карнизу. У місці безпосереднього виникнення пожежі вікна відчинені, а утворюваний тепловий потік та полум'я вільно поширюються із вікон. На рівні поверху, на якому виникла пожежа, та поверху вище розміщено вимірювачі температури в газовому середовищі, для отримання порівняльних графіків теплового режиму. Окрім того, поверхню фасадної стіни прийнято як анімовану поверхню з відображенням її температури прогрівання. На рисунку 2 наведено FDS модель будинку без протипожежного карнизу та місця встановлення вимірювачів в газовому середовищі.



а



б

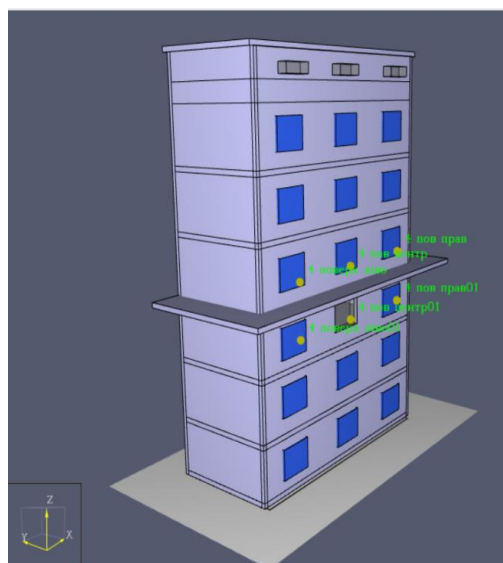
Рисунок 2 – Модель фрагменту висотного будинку без карнизу:
а – зовнішній вигляд моделі,
б – місця встановлення датчиків температури

В якості пожежного навантаження, а саме початкового горючого матеріалу, в квартирі обрано займання пінополіуретанового виробу (зазвичай становить 60-70 % складу для м'яких меблів) та шерсті. Пожежа виникає в центрі кімнати та умовно рівновіддалена від усіх стін приміщення, пожежне навантаження якого становить 365 кВт/м^2 із максимальною температурою горіння $1190 \text{ }^\circ\text{C}$. Поширенню полум'я по поверхні кімнати відбувається із швидкістю $0,22 \text{ м/с}$, згідно з рекомендаціями [8]. Під час проведення розрахунків не враховувалась робота систем пожежогасіння або димовидалення, тобто пожежа вільно розвивалася у продовж всієї тривалості моделювання.

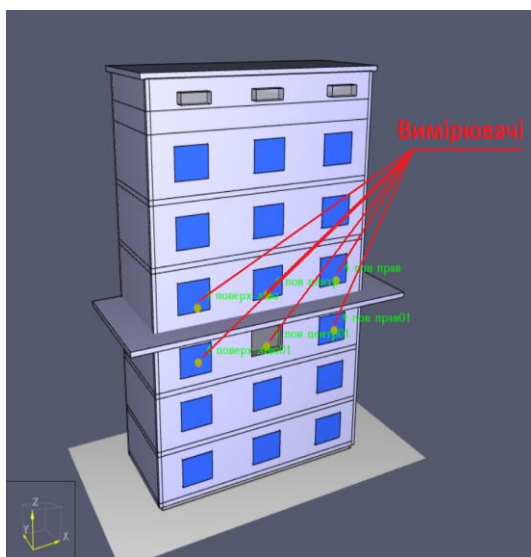
Другим етапом моделювання було створення моделі фрагменту висотного житлового будинку з аналогічними об'ємно-планувальними рішеннями, але обладнаного по всьому контуру на межі протипожежного відсіку прямокутним протипожежним карнизом з виступом за межі фасаду $0,75 \text{ м}$ правильної прямокутної форми товщиною $0,5 \text{ м}$ із негорючих матеріалів, що відповідає встановленим вимогам [1]. В якості негорючого матеріалу протипожежного карнизу прийнято легкий бетон з густиною 450 кг/м^3 та теплопровідністю $0,35 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. На рівні вікон поверху пожежі та вікон поверху вище розміщено вимірювачі температури в газовому середовищі.

На рисунку 3 наведено другу FDS модель фрагменту висотного житлового будинку, обладнаного карнизом по контуру, який виступає за межі фасаду на $0,75 \text{ м}$ прямокутної форми.

Загальна тривалість розрахунків становила 600 с , що обумовлено нормативним часом прибуття пожежно-рятувальних підрозділів для міста (10 хв), згідно з [15].



а



б

Рисунок 3 – Модель фрагменту висотного будинку з прямокутним протипожежним карнизом:
а – зовнішній вигляд моделі будинку;
б – місця встановлення датчиків температури під карнизом та над ним.

За результатами моделювання побудовано усереднені порівняльні графіки температури на рівні поверху пожежі та над ним для обох типів моделей будинків (з протипожежним карнизом та без). На рисунках 4-5 наведено результати розрахунків.



Рисунок 4 – Графік залежності середніх значень температури від часу на рівні вікон поверху пожежі за наявності протипожежного карнизу та без нього

На рисунку 5 наведено графік залежності температури від часу для поверху, розташованого вище пожежі у будинку.

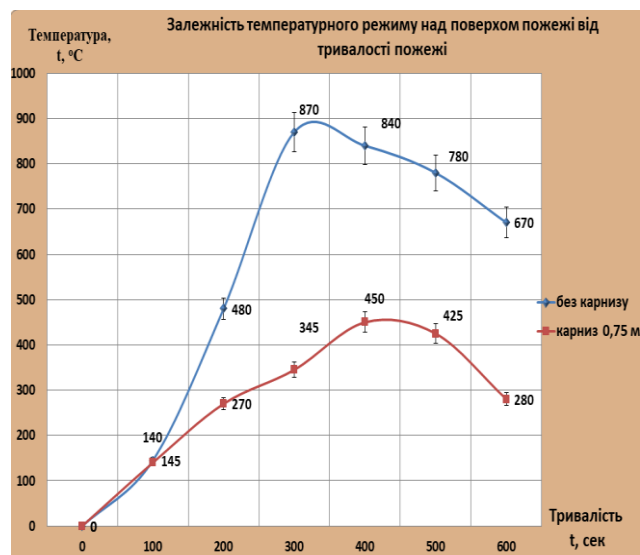
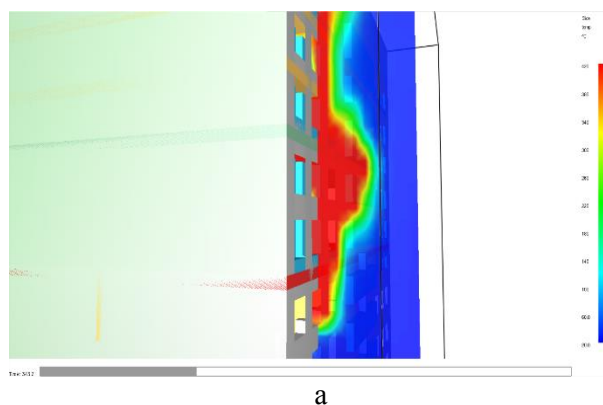


Рисунок 5 – Графік середніх значень температурного режиму на рівні вікон поверху, розташованого вище пожежі у будинку за наявності протипожежного карнизу та без нього

За результатом отриманих даних можна зробити висновки, що дійсно, наявність протипожежного карнизу для цього об'ємно-конструктивного виконання будинку забезпечує зниження температури на рівні вікон поверху, що розташований поверхом вище пожежі, з 870-810°C до 450-350°C в однаковий час моделювання, тобто забезпечує зниження температури на рівні верхнього поверху фактично на 45-47%. Це явище можна обґрунтувати зменшенням безпосереднього контакту полум'я умовної пожежі з фасадом, а також створенням «резервуара» повітряного охолодження простору безпосередньо над карнизом на рівні поверху, який розташований над поверхом пожежі. Проте температура в 350-450°C все одно є небезпечною через високу ймовірність руйнування рам віконних прорізів та поширенню пожежі у вище розташовані квартири через займання штор, віконних жалюзі або інших горючих матеріалів. На рисунку 6 наведено схему поширення полум'я змодельованої пожежі вздовж запропонованих типів фасадів будинку за однакового проміжку часу.



а

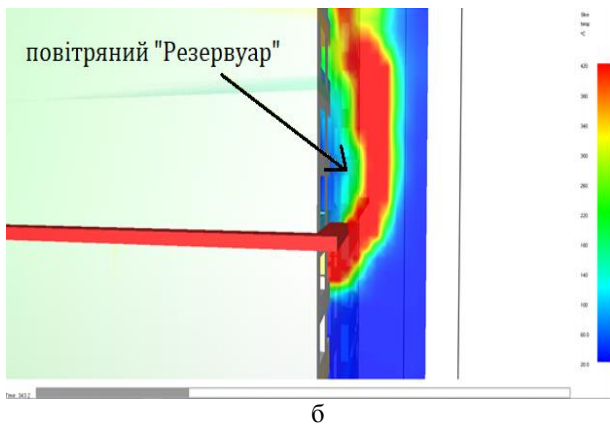


Рисунок 6 – Порівняльна візуалізація поширенню пожежі по фасаді будинку

Разом з тим, під час проведення FDS моделювання було виявлено інше явище, спричинене наявністю протипожежного карнизу, а саме закономірність поширенню теплового розподілення по ширині фасаду будинку внаслідок завихрення по горизонталі турбулентного теплового потоку через прямий контакт з протипожежною перешкодою у вигляді протипожежного карнизу прямокутної форми. Зазначене явище є негативним тому, що збільшує площу прогрівання поверхні фасаду будинку з 242 м² за умови відсутності карнизу до значення 384 м². За критерій граничного значення температури прогрівання поверхні фасаду будинку прийнято значення 250 °С, що відповідає температурі деформації конструкції матеріалу з найменшим температурним опором, а саме конструкції металопластикових вікон згідно з [16]. На рисунку 7-8 наведено температурний розподіл прогріву фасаду за однаковий час залежно від наявності протипожежного карнизу.

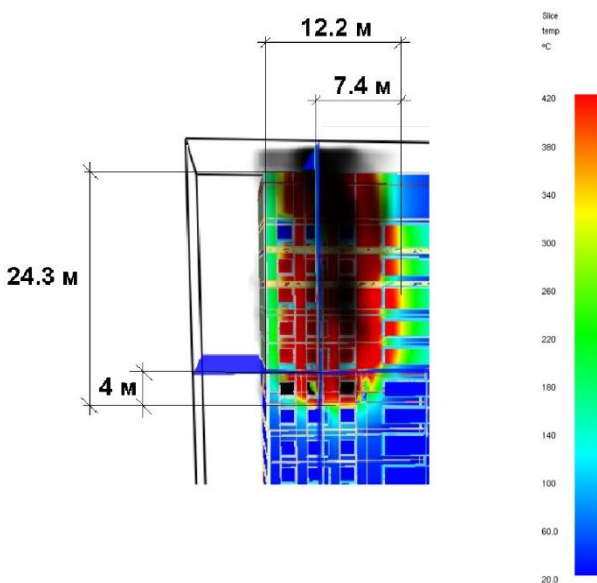


Рисунок 7 – Температурний розподіл прогріву фасаду без протипожежного карнизу

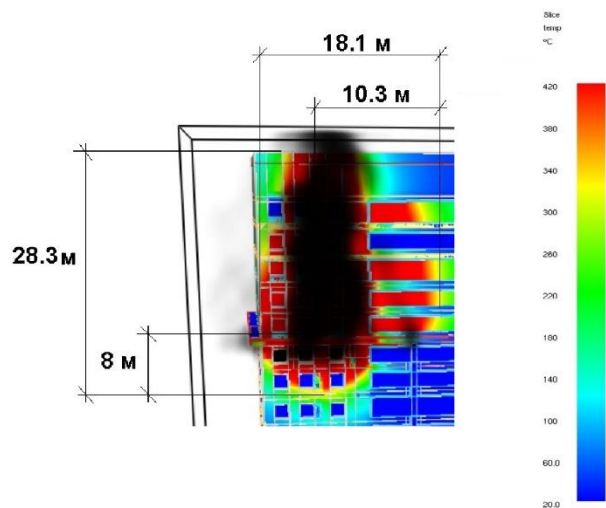


Рисунок 8 – Температурний розподіл прогріву фасаду з протипожежним карнизом

Тобто, сама наявність протипожежного карнизу на фасаді висотного будинку фактично не запобігає повному поширенню теплового впливу під час пожежі як по вертикальному, так і по горизонтальному розподілу температури, а лише зменшує його максимальне значення та час прогрівання поверхні фасаду, при цьому збільшуючи площу критичного прогріву фасаду будинку.

Таким чином, за даних умов моделювання пожежі та об'ємно-конструктивних параметрів будинку, наявність протипожежного карнизу знижує фактичну температуру на рівні верхнього поверху під яким виникла пожежа, проте збільшує площу температурного розподілу прогріву конструкції поверхні фасаду фактично на 30-35 % за даних умов моделі будинку. Враховуючи зазначені причини утворення завихрень, а саме прямий контакт турбулентного теплового потоку від пожежі з перешкодою необтійної форми, створюються передумови дослідження впливу форми протипожежних карнизів на процеси теплового розподілу прогріву по фасаді будинку.

Також залишається актуальним питання дослідження залежності різних форм та типів протипожежних карнизів та різних типів фасадних систем будівель на ефективність протипожежного захисту висотних будинків, в тому числі з різними типами фасадів. Окремим етапом таких досліджень повинно бути не тільки математичне моделювання, але й натурні випробування досліджуваних об'єктів для апробації отриманих результатів.

Висновки. За результатами проведених досліджень побудовано дві порівняльні моделі висотного будинку з протипожежним карнизом по контуру фасаду висотного будинку, який виступає за межі фасаду на 0,75 м правильної прямокутної форми та без нього. За результатами моделювання та порівняльного аналізу отриманих результатів можна зробити такі висновки:

1. Наявність протипожежного карнизу, який відповідає вимогам [1] знижує фактичну температуру на рівні верхнього поверху, під яким виникла пожежа, проте збільшує площу температурного розподілу прогрівання конструкції поверхні фасаду в межах на 30-35 % за даних умов моделювання та для даних об'ємно-планувальних рішень висотного будинку.

2. Виявлено явище утворення турбулентного завихрення теплового потоку безпосередньо під карнизом, спричиненого протипожежною перешкодою, причиною утворення якого може бути низький коефіцієнт обтікання поверхні тепловим потоком для протипожежних карнизів прямої форми.

3. Встановлено залежності температурних режимів поверхом вище від місця пожежі за умов відсутності та наявності протипожежного карнизу та зроблено висновки про можливість удосконалення їх конструктивних параметрів.

4. Значення ефективності відведення теплового потоку від фасаду, виведення коефіцієнтів ефективності та дослідження залежностей їх ефективності від форми або їх типу протипожежного карнизу може бути предметом подальшого дослідження та впливає на забезпечення протипожежного захисту висотних будинків.

Список літератури

1. ДБН В.2.2-41:2019 Висотні будівлі. Основні положення. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2019, 59 с.
2. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2016, 39 с.
3. Kiev Skyscraper Diagram – Open Doar [Electronic resource]: Open Doar: Web-site / Nottingham: <http://skyscraperpage.com/diagrams/?cityID=769>.
4. Климась Р. Статистика пожеж та їх наслідків в Україні у збірниках аналітичних матеріалів / Климась Р., Одинець А., Матвійчук Д., Несенюк Л. / Статистичний збірник аналітичних матеріалів // УкрНДЦЗ, Київ 2018, 100 с.
5. Климась Р. Визначення тенденцій основних показників статистики пожеж за територіальним принципом за 2009-2016 роки автори Климась Р., Одинець А., Матвійчук Д., Несенюк Л. // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій», Черкаси, 2018, 312 с.
6. Наказ Державного комітету України з будівництва та архітектури / Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій від 10.12.2004 № 238/225 «Про запровадження Пропозицій щодо протипожежного захисту та безпечної експлуатації у випадках надзвичайних ситуацій висотних житлових і громадських будинків, торгових та виставкових центрів, на які відсутні норми проектування, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації будинків і споруд у випадках надзвичайних ситуацій».
7. McGrattan, K., et al., Fire Dynamics Simulator User's Guide, FDS Version 6.2.0, SVN Repository Revision: 22352, NIST Special Publication 1019, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD USA, April 2015.
8. Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model. NIST Special Publication 1018. Sixth Edition.
9. 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>
10. Anderson, J., Jansson, R. (2013). Facade fire tests – measurements and modeling, MATEC Web of Conferences 9, 02003. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20130902003>
11. Anderson, J., Boström, L., Jansson, R., Milovanović, B. (2015). Fire dynamics in facade fire tests: Measurement, modeling and repeatability, Applications of Structural Fire Engineering, 15-16 October 2015. <https://doi.org/10.14311/asfe.2015.059>
12. 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>
13. 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: Blikharskyi 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
14. Glenn P. Forney (2013). Smokeview (Version 6) A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data Volume I: User's Guide. National Institute of Standards and Technology Special Publication 1017-1. 179 p.
15. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування і забудова територій. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2019, 185 с.
16. Температура плавления и размягчения пластиков, температура эксплуатации пластмасс / Теплопроводность строительных материалов, их плотность и теплоемкость [Електронний ресурс]: 2019. Режим доступу: <http://thermalinfo.ru/svoystva>

materialov/plastmassa-i-plastik/temperatura-plavleniya-i-razmyagcheniya-plastikov-temperatura-ekspluatatsii-plastmass

References

1. DBN V.2.2-41:2019 High-rise buildings. Substantive provisions. (2019). Kiev: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine (in Ukr.)
2. 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.)
3. Kiev Skyscraper Diagram – Open Doar [Electronic resource]: Open Doar: Web-site / Nottingham: <http://skyscraperpage.com/diagrams/?cityID=769>.
4. Klymas R. Odynets A. Matviichuk D. Nesenjuk L. (2018). Statistics of fires and their consequences in Ukraine in collections of analytical materials. *Statistical collection of analytical materials*. UkrNDICZ, Kyiv 2018, 100 p.
5. Klymas R. Odynets A. Matviichuk D. Nesenjuk L. (2018). Determining trends in the main indicators of fire statistics on a territorial basis for 2009-2016. *Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference "Theory and practice of firefighting and emergency response"*, Cherkasy, 2018, 312 p.
6. Order of the State Committee of Ukraine for Construction and Architecture / Ministry of Emergencies of Ukraine from 10.12.2004 № 238/225 "On introduction of Proposals on fire protection and safe operation in case of emergencies of high-rise residential and public buildings, shopping and exhibition centers, which there are no design standards aimed at ensuring the safe operation of buildings and structures in case of emergencies".
7. McGrattan, K., et al., Fire Dynamics Simulator User's Guide, FDS Version 6.2.0, SVN Repository Revision: 22352, NIST Special Publication 1019, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD USA, April 2015.
8. Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model. NIST Special Publication 1018. Sixth Edition.
9. 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>
10. Anderson, J., Jansson, R. (2013). Facade fire tests – measurements and modeling, MATEC Web of Conferences 9, 02003. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20130902003>
11. Anderson, J., Boström, L., Jansson, R., Milovanović, B. (2015). Fire dynamics in facade fire tests: Measurement, modeling and repeatability, Applications of Structural Fire Engineering, 15-16 October 2015. <https://doi.org/10.14311/asfe.2015.059>
12. 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>
13. 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: Blikharsky 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
14. Glenn P. Forney (2013). Smokeview (Version 6) A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data Volume I: User's Guide. *National Institute of Standards and Technology Special Publication 1017-1*. 179 p.
15. DBN B.2.2-12:2019 Planning and development of territories. (2019). Kiev: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine (in Ukr.)
16. Melting and softening temperature of plastics, operating temperature of plastics. (2019). *Thermal conductivity of building materials, their density and heat capacity [Electronic resource]*. Access mode: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/plastmassa-i-plastik/temperatura-plavleniya-i-razmyagcheniya-plastikov-temperatura-ekspluatatsii-plastmass>

* Науково-методична стаття