

*Р.С. Яковчук, О.І. Казітін, В.Б. Лоїк, О.Д. Синельников, Р.Р. Галанченко, О.О. Возняк
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ПОШИРЕННЯ ВОГНЮ КОНСТРУКЦІЄЮ ФАСАДНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ З ВЕНТИЛЬОВАНИМ ПОВІТРЯНИМ ПРОШАРКОМ

Мета роботи. Метою роботи є аналіз чинників, які впливають на розвиток та поширення вогню поверхнею зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з вентиляльованим повітряним прошарком, а також аналіз причин та наслідків займання НВФС на прикладах резонансних пожеж з метою розробки та впровадження оптимальних інженерно-технічних рішень, які будуть перешкоджати займанню та розповсюдженню вогню поверхнею таких конструкцій.

Методи дослідження. У роботі використано системний підхід та низку загальнонаукових методів досліджень. Аналітичний метод досліджень використовували для аналізу вітчизняної та закордонної нормативної бази, керівних та технічних документів, посібників, довідників, протоколів випробувань та інших літературних джерел, інформації мережі Internet.

Результати. На даний час навісні вентиляльовані фасади широко застосовуються для утеплення під час реконструкції та зведення нових будівель не лише в нашій державі, але й за кордоном. При якісному розрахунку, підборі матеріалів та монтажі таких систем утеплення, проблем з її експлуатацією не виникає. Однак досі основною проблемою таких конструкцій є забезпечення їх пожежної безпеки. У статті розглянуто причини та наслідки займання навісних вентиляльованих фасадів на прикладах резонансних пожеж минулих років, а також проаналізовано ризики, що виникають під час виникнення пожежі в таких системах. Визначено фактори, які впливають на руйнування конструктивних елементів та поширення пожежі поверхнею фасадних систем будівлі.

Для підвищення пожежної безпеки будівель, обладнаних вентиляльованими фасадними системами, необхідна розробка додаткових протипожежних заходів, які включатимуть дослідження умов поширення полум'я по фасадних конструкціях та пожежної небезпеки їхніх елементів; удосконалення методів випробувань фасадних систем; розробку методів зниження пожежної небезпеки та підвищення вогнестійкості як систем загалом, так і їхніх елементів у взаємозв'язку з усім комплексом протипожежних заходів будівлі. В роботі запропоновано оптимальні інженерні заходи, які перешкоджають займанню та розповсюдженню полум'я по поверхні навісної вентиляльованої фасадної системи та забезпечують необхідну межу вогнестійкості таких конструкцій.

Ключові слова: фасадна теплоізоляція, навісна вентиляльована фасадна система, поширення пожежі, облицювання, повітряний прошарок.

R.S. Yakovchuk O.I. Kahitin V.B. Loik, O.D.Synelnikov, R.R. Halanchenko, O.O. Vozniak

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE SPREAD OF FIRE BY THE STRUCTURE OF FACADE THERMAL INSULATION WITH VENTILATED AIR LAYER

Aim. The purpose of this work is to analyse the factors influencing the development and spread of fire on the surface of external walls with facade insulation with a ventilated air layer. As well as analysis of causes and consequences of fires on the examples of resonant fires to develop and implement optimal engineering solutions to prevent the ignition and spread of fire on the surface of such structures.

Research methods. The system approach and several general scientific research methods are used in the work. The analytical research method was used to analyse domestic and foreign regulations, guidelines and technical documents, manuals, reference books, test reports and other literature sources, Internet information.

Results. At present, hinged ventilated facades are widely used for insulation during the reconstruction and construction of new buildings not only in our country but also abroad. At qualitative calculation, selection of materials and installation of such systems of warming, problems with its operation do not arise. However, still, the main problem of such structures is to ensure their fire safety. The article considers the causes and consequences of burning ventilated

facades on the examples of resonant fires of previous years, as well as analyses the risks that arise during a fire in such systems. The factors influencing the destruction of structural elements and the spread of fire on the surface of the facade systems of the building are identified.

To increase the fire safety of buildings equipped with ventilated facade systems, it is necessary to develop additional fire safety measures, which should include a study of the conditions of flame spread on the facade structures and the fire hazard of their elements; improvement of test methods for facade systems; development of methods to reduce fire hazard and increase the fire resistance of both systems in general and their elements in conjunction with the whole set of fire prevention measures of the building. The paper proposes optimal engineering measures that prevent ignition and spread of flame on the surface of the hinged ventilated facade system and provide the necessary limit of fire resistance of such structures.

Keywords: facade thermal insulation, hinged ventilated facade system, fire spread, cladding, air layer.

Постановка проблеми. Конструкцією зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з вентиляваним повітряним прошарком та опорядженням індустріальними елементами називається конструктивне рішення, що передбачає улаштування металевих кріпильного каркаса, теплоізоляційного шару, опорядження індустріальними елементами, повітряного прошарку фіксованої товщини між шаром теплоізоляції та опоряджувальними елементами з обов'язковим забезпеченням його вентиляції [1].

Принцип роботи навісних вентиляваних фасадів полягає в наявності вентиляційного зазору між шаром утеплювача і зовнішнім елементом огороження. Завдяки перепаду тиску між низом фасаду (відмітка цоколя будівлі) та верхом стіни (відмітка карниза), утворюється постійний рух повітря знизу вгору, що дозволяє виводити конденсат з внутрішньої поверхні облицювального матеріалу і дифузійну вологу з шару утеплювача.

Навісна вентилявана фасадна система (далі НВФС) має високі теплотехнічні характеристики та широкий спектр використання облицювальних та оздоблювальних матеріалів. В системах такого типу використовують теплоізоляцію із мінераловатних плит або плит із скляного штапельного волокна. Для опорядження індустріальними елементами найчастіше застосовують алюмінієві композитні панелі (далі АКП).

До переваг НВФС можна віднести [2]:

1. Довговічність. Матеріали, з яких складаються ці системи, не потребують ремонту та заміни комплектуючих, вони мають тривалий термін експлуатації.

2. Навісна вентилявана фасадна система захищає будівлю від негативних впливів навколишнього середовища: дощ, сніг, вітер, град та ін. Завдяки цьому збільшується термін служби будівлі.

3. При правильному виборі теплоізоляційного матеріалу значно покращуються теплоізоляційні характеристики, що дає змогу зменшити товщину основних несучих стін.

4. Підвищена звукоізоляція стін завдяки використанню композитного матеріалу, повітряного прошарку та певних видів утеплювачів.

5. Можливість надання будівлі нового архітектурного вигляду завдяки великому вибору різних облицювальних матеріалів.

6. Монтаж навісних фасадних систем може бути виконаний в будь-яку пору року незалежно від погодних умов.

Переваги навісних вентиляваних фасадних систем зумовлюють їхню популярність та широке застосування. Поряд з цими перевагами, головним і найбільш істотним недоліком вентиляваних фасадів є їх пожежна небезпека, доказом чого є резонансні пожежі останніх років, пов'язані саме з такими конструкціями [3]. Крім цього, до недоліків НВФС можна віднести відносно високу вартість матеріалів та монтажних робіт, а також те, що облаштування таких фасадів вимагає високої кваліфікації робітників.

У зв'язку із цим значна увага до проблеми поширення та розвитку пожеж у будівлях із НВФС дає можливість їх виділити в окремий блок для проведення аналізу, виявлення джерел небезпеки, розроблення і ухвалення необхідних інженерно-технічних заходів під час проектування систем утеплення фасадів будівель та споруд, спрямованих на зниження їх пожежної небезпеки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Всесвітній центр пожежної статистики, що діє в рамках ООН, щорічно публікує звіти порівняльного аналізу про витрати, пов'язані з ліквідацією наслідків НС у різних країнах світу. Дані світової статистики свідчать, про те, що за останні 10 років кількість НС, пов'язаних з пожежами, зростає майже втричі, кількість знищених вогнем будівель – більш ніж у 8 разів, а динаміка загибелі людей на пожежах має загальну тенденцію до зростання [4].

Поряд з низкою питань щодо забезпечення безпеки об'єктів різного функціонального призначення, одним із актуальних серед них є безпечне улаштування фасадних систем будинків та споруд. У 2017 році з метою більш детального вивчення ситуації з пожежами в Україні введено в дію нову картку обліку пожеж та їх наслідків, а також інструкцію по роботі з нею [5]. Зокрема, картку обліку пожежі у позиції "місце виникнення пожежі" доповнено новим кодом "104 – Фасад будівлі" [6].

Аналіз статистичних даних про пожежі та їх наслідки за цим кодом, дозволяє виділити із загальної кількості пожеж різного функціонального призначення саме ті випадки, коли пожежа безпосередньо виникла у фасадній системі, або сприяла поширенню вогню по будівлі.

З одного боку, сьогодні переваги використання фасадної теплоізоляції для забезпечення нормативних значень теплотехнічних показників стінових конструкцій, захисту конструкцій від впливу навколишнього середовища, забезпечення нормативного мікроклімату приміщень і надання фасадам будівель і споруд привабливого зовнішнього вигляду – не викликають сумнівів. З іншого боку, під час проектування та використання фасадних систем існують проблеми, пов'язані із забезпеченням їх безпеки, у тому числі, і пожежної [6].

Поширення вогню по фасадах висотних будинків є одним із найнебезпечніших видів розвитку пожежі, що обумовлюється її швидким розвитком, складністю гасіння, достатньою кількістю кисню, а також додатковим вітровим впливом, що сприяє її швидкому поширенню по фасадних конструкціях. За результатом аналізу статистичних даних про пожежі, їх причини та наслідки, що виникли у висотних будівлях упродовж останніх десяти років в Україні, виявлено, що кількість пожеж у висотних будівлях та кількість жертв із кожним роком збільшується, що обумовлено сталим щорічним збільшенням самої кількості висотних будівель [6-8].

Крім цього, аналіз НС та їх наслідків в Україні та за її кордоном показує, що більшість таких НС, які виникали у висотних будівлях, супроводжуються поширенням вогню по фасадах, що унеможливило їх швидку ліквідацію та значно ускладнювало роботу пожежно-рятувальних підрозділів, а також обумовлювало необхідність залучення спеціальної протипожежної техніки. Поширення вогню зовнішніми вертикальними будівельними конструкціями висотних будівель також унеможливило ліквідацію НС на початковій стадії її виникнення, в тому числі із застосування систем протипожежного захисту, якими обладнуються висотні будівлі. Найгіршим сценарієм за таких НС є пошкодження або руйнування несучих конструкцій будівлі, що може призвести до повного руйнування її [9-13].

В роботах [14-19] розглядаються основні проблеми, що виникають під час експлуатації навісних вентиляційних фасадних систем, однією з яких є забезпечення пожежної безпеки таких систем та використання горючих матеріалів у їхніх конструкціях.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження чинників, які впливають на розвиток та поширення вогню поверхнею зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з вентиляційним повітряним прошарком, а також аналіз причин та наслідків займання

НВФС на прикладах резонансних пожеж з метою розробки оптимальних інженерно-технічних рішень, які будуть перешкоджати займанню та розповсюдженню вогню поверхнею таких конструкцій.

Методи дослідження. У роботі використано системний підхід та низку загальнонаукових методів досліджень. Аналітичний метод досліджень використовували для аналізу вітчизняної та закордонної нормативної бази, керівних та технічних документів, посібників, довідників, протоколів випробувань та інших літературних джерел, інформації мережі Internet.

Результати досліджень. Вентильований фасад являє собою конструкцію, яка складається із каркаса, що кріпиться до стіни, шару теплоізоляції та облицювальних панелей (опоряджувального захисного шару) (рис. 1). При цьому між облицювальними панелями та утеплювачем передбачається повітряний прошарок.

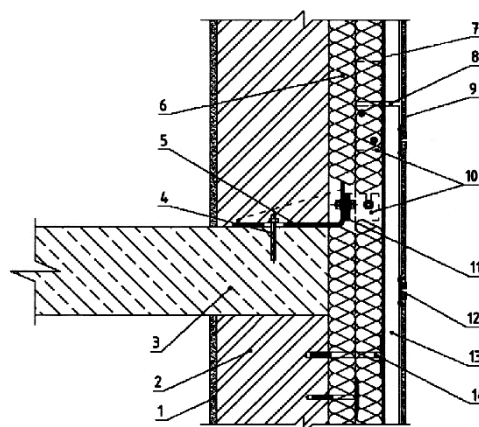


Рисунок 1 – Конструктивна схема збірної системи із стояковим кріпленням зовнішнього опоряджувального захисного шару [1]:

1 – внутрішня штукатурка; 2 – несуча частина стіни; 3 – залізобетонна плита перекриття; 4 – анкер клиновий; 5 – кронштейн; 6 – шар теплової ізоляції; 7 – повітрозахисна мембранна плівка; 8 – повітряний вентиляційний прошарок; 9 – індустриальні личкувальні елементи (керамічні плити); 10 – з'єднувальні елементи; 11 – прокладка; 12 – кляммер; 13 – стояк; 14 – елемент механічного кріплення утеплювача

Забезпечення необхідної міцності та стійкості НВФС досягається елементами несучого каркаса. Надійність конструкцій каркаса визначається типом облицювальних елементів, що застосовуються, їх геометричними розмірами, масою і способом кріплення. Найбільш надійними для цих систем є сталеві каркаси. Використання у фасадних системах алюмінієвих сплавів з вищою температурою плавлення призводить до суттєвого підвищення їх пожежної небезпеки та обмеження сфери їх застосування. Під час пожеж конструктивні елементи у вигляді тонколистових профілів можуть

деформуватися, а цілісність оздоблювально-захисного шару може бути порушена.

На процес розвитку та поширення пожежі конструкцією НВФС впливатимуть такі чинники: потужність теплового випромінювання, вид та кількість горючого облицювального матеріалу, дія зовнішніх умов (сила та напрямок вітру, наявність конвективного потоку тощо). На формування вітрових потоків, які спрямовані вздовж поверхні фасаду будівлі, значно впливає природна конвекція. Це явище виникає через градієнт температур навколишнього середовища і поверхні фасаду, який нагрівається сонячним випромінюванням, внаслідок чого з'являється конвективний тепловий потік, спрямований вгору будівлі. Він сприятиме не лише розповсюдженню вогню на великій площі фасадної системи, але й впливатиме на висоту та температуру факела полум'я [8].

Вентильований прошарок створює додаткову тягу та зумовлює поширення пожежі всередині фасадної конструкції. Наявність такого прошарку шириною до 10-15 см створює потужний повітряний потік і сприяє швидкому поширенню пожежі не лише всередині НВФС, але й може бути причиною для поширення пожежі у внутрішні приміщення будівлі. Під час пожежі під впливом високих температур будуть руйнуватися несучі та кріпильні елементи НВФС, внаслідок чого відбудеться обвалення облицювальних конструкцій [3]. Окремі елементи навісного фасаду після падіння можуть утворювати додаткові осередки займання, що призводить до додаткових матеріальних збитків та можливого травмування людей.

Для успішної ліквідації пожеж у будівлях з навісними вентильованими фасадними системами необхідно залучати велику кількість рятувальної техніки та особового складу, а враховуючи висоту сучасних будівель, дії з гасіння пожежі стають вкрай складним завданням для пожежно-рятувальних підрозділів [10].

Нижче наведено інформацію про деякі резонансні пожежі, що виникали в будівлях протягом останніх декількох років як в Україні, так і за її межами, та супроводжувалися горінням фасадних систем.

Пожежа в житловому будинку комплексу "Атлантис" (м. Владивосток), що виникла 21 липня 2007 року (рис. 2). В якості теплоізоляції у фасадній системі будівлі було застосовано пінополістирол. НС почалася з верхньої балконної плити 19-го поверху (похила частина фасаду). Ймовірна причина – порушення правил проведення вогневих робіт під час ремонту покрівлі, що призвело до потрапляння крапель палаючого бітуму в повітряний прошарок фасаду. Вогонь швидко поширився лавиноподібно вниз по фасаду.



Рисунок 2 – Пожежа у житловому будинку комплексу "Атлантис" (РФ)

Пожежа в житловому будинку по вул. Вадима Гетьмана, 1^б у м. Києві виникла 17 червня 2012 року (рис. 3) внаслідок займання сміття. Вогонь поширився по оздобленню фасаду будинку з 4-го по 25-й поверхи. Пожежа 30 травня 2013 року виникла внаслідок кинутого з верхніх поверхів недопалка, в результаті вогонь поширився по оздобленню фасаду іншої частини будинку з 2-го по 21-й поверхи.



Рисунок 3 – Пожежа у житловому будинку в м. Києві (Україна)

Пожежа в готельному комплексі та бізнес-центрі "Грозний-Сіті" (м. Грозний), що виникла 3 квітня 2013 року (рис. 4). Загальна площа пожежі становила більше 5,0 тис. м². Понад вісім годин пожежні гасили вогонь, що охопив майже 80% фасаду будівлі. Основними причинами її поширення по фасаду стали порушення під час проектування та монтажу навісної фасадної системи. Теплоізоляцію будівлі було виконано з горючого матеріалу «Alucobond», що має групу горючості Г4 (підвищеної горючості).



Рисунок 4 – Пожежа у готельному комплексі та бізнес центрі “Грозний-Сіті” (Чеченська республіка, РФ)

НС в житловому комплексі Gagarin Plaza-1 (м. Одеса), що виникла 29 вересня 2015 року на балконі останнього поверху внаслідок необережного поводження з вогнем під час проведення ремонтних робіт (рис. 5). Горіння розпочалося з мансардного поверху, після чого полум'я швидко поширилося до нижніх поверхів та охопило увесь периметр будівлі. Для локалізації пожежі знадобилося більше п'яти годин. У новобудові не було пожежних гідрантів, а пожежні драбини не дотягувались навіть до п'ятнадцятого поверху.



Рисунок 5 – Пожежа у житловому комплексі Gagarin Plaza-1, м. Одеса (Україна)

Однією з причин розповсюдження пожежі була невідповідність будинку державним архітектурно-будівельним нормам, зокрема використання горючих матеріалів для утеплення зовнішніх стін, відсутність пожежного водопроводу, пожежних гідрантів, систем пожежної сигналізації та пожежогасіння. Протягом трьох годин від її початку, вогонь поширився згори до низу на площу майже 3 тис. м², а палаючі фрагменти оздоблення фасадної системи розліталися на значну відстань. Під час гасіння пожежі троє співробітників пожежно-рятувальних підрозділів отримали травми. Внаслідок пожежі згоріло 80% фасаду.

31 грудня 2015 року за кілька годин до святкування нового року в Дубаї сталася НС в хмарочосі «The Address Downtown» (рис. 6), розташованому поруч з найвищою будівлею в світі «Бурдж Халіфа». Вогонь, що виник на 20-му поверсі будівлі, поширився практично по всій висоті 63-поверхового готелю в центрі міста. Через сильний вітер полум'я швидко охопило всю будівлю. Згори на землю почали падати уламки згорілих конструкцій. Сотні людей були терміново евакуйовані, постраждало 15 людей.



Рисунок 6 – Пожежа готель-хмарочоса «The Address Downtown», м. Дубаї (ОАЕ)

Пожежа у 9-поверховій житловій будівлі у м. Тюмень, (РФ) виникла 8 січня 2018 р. (рис. 7). Під час капітального ремонту будинку підрядники використовували дешеві легкозаймісті облицювальні панелі групи горючості Г4. Полум'я за лічені хвилини охопило близько 1500 м² обшивки будівлі і частину покрівлі. В результаті пожежі будівля майже повністю обгоріла зовні.



Рисунок 7 – Пожежа у 9-поверховій житловій будівлі, м. Тюмень (РФ)

Аналізуючи вищенаведені приклади пожеж у будівлях, можна констатувати наявність проблем у забезпеченні безпеки конструкцій зовнішніх стін будівель та споруд із фасадною теплоізоляцією, як на етапі будівництва, так і під час їх експлуатації [20]. Розвитку пожеж до великих масштабів сприяють порушення вимог пожежної безпеки під час влаштування навісних фасадних систем (застосування будівельних та оздоблювальних матеріалів із підвищеною пожежною небезпекою, відсутність

конструктивних елементів, які перешкоджають поширенню пожежі), відсутність засобів пожежогашіння або проблеми з їх доставкою, несвоєчасне повідомлення про виникнення пожежі.

На сьогодні пожежна безпека фасадних систем зумовлена нехтуванням протипожежних заходів [21]. Однією з причин цього є економія коштів на етапі будівництва об'єктів, застосування дешевих матеріалів оздоблення, які не мають відповідних сертифікатів підтвердження якості, порушення правил пожежної безпеки під час монтажу та облаштування НВФС. Очевидно, що для підвищення пожежної безпеки будівель, обладнаних вентиляційними фасадними системами, необхідна розробка додаткових протипожежних заходів, які повинні бути обґрунтовані: дослідженням умов поширення полум'я по фасадних конструкціях та пожежної небезпеки їхніх елементів; удосконаленням методів випробувань фасадних систем; розробкою методів зниження пожежної небезпеки та підвищення вогнестійкості як систем загалом, так і їх елементів у взаємозв'язку з усім комплексом протипожежних заходів будівлі.

Для обмеження поширення пожежі конструкцією навісних вентиляційних фасадних систем застосовують активні та пасивні заходи протипожежного захисту. До активних заходів відносять влаштування автоматичних систем пожежогашіння або систем водяного зрошення світлопрозорих конструкцій НВФС, до пасивних – конструктивні рішення, які перешкоджають виходу полум'я на поверхню фасаду або здійснюють його локалізацію (вогнестійкий фасад; вертикальний міжповерховий пояс; спеціальний вогнестійкий бар'єр, який перешкоджає поширенню пожежі на суміжні поверхи; пожежні розсічки; горизонтальні протипожежні карнизи [7]). Найбільш надійними та ефективними є пасивні методи, на захисну функцію яких не впливає дія зовнішніх факторів – довговічність, відмова спрацювання, ремонтпридатність тощо.

Найпоширенішою причиною пожеж НВФС є займання вітрозахисної плівки (мембрани), яка розташована під шаром облицювання. За таких умов вогонь швидко охоплює весь фасад. Майже всі мембрани, незалежно від матеріалу, відносяться до класу горючих і є додатковим чинником для пожежної небезпеки будівель. Через цю обставину фахівцями рекомендовано за можливості обмежувати використання вітрозахисної мембрани, оскільки сучасні теплоізоляційні матеріали додаткового вітрозахисту не потребують.

Якщо мембрани все ж використовуються в конструкції фасадних систем, тоді рекомендовано вздовж усього периметра будівлі облаштовувати горизонтальні розсічки. Пожежна розсічка – це

металева пластина, яка виготовлена з тонколистової сталі товщиною не менше 0,6 мм, і довжиною не менше 6 м. Встановлюється вона із заданим кроком по висоті для запобігання потрапляння розплавлених крапель на горючі матеріали під час виникнення пожежі [22].

Наступною причиною поширення вогню може стати облицювання, зокрема алюмінієві композиційні панелі, які найчастіше використовуються у навісних фасадних системах. Недорогі композиційні панелі із середнім шаром на основі поліетилену відносяться до групи горючості Г4 і займаються за температури 120 °С. Продукти горіння такого виду облицювання містять токсичні речовини. Альтернативою можуть стати матеріали зі сталі із полімерним покриттям (фасадні касети, лінійні панелі). Однак вони досить трудомісткі з точки зору монтажу і мають здатність до корозії.

Пожежну безпеку облицювання навісних панелей може забезпечити негорючий керамограніт, але плити з нього мають велику вагу. Під час пожежі можуть виникнути тріщини, що призведуть до порушення цілісності покриття. У разі використання таких панелей частина фасаду може обвалитися. Для того, щоб руйнування не призводило до обвалу плит, вживаються спеціальні заходи, спрямовані на збільшення кількості кріплень [22].

Ще одним інженерним рішенням, що застосовується для захисту фасадів, є влаштування протипожежних штор для захисту віконного отвору. Принцип роботи протипожежної штори заснований на опусканні вогнестійкого полотна по всій площі віконного отвору, тим самим обмежуючи тепловий вплив на світлопрозоре заповнення. Спонукальний сигнал на привод протипожежної штори надходить від системи автоматичної пожежної сигналізації [8].

Таким чином, рекомендованими заходами для підвищення пожежної безпеки, а також забезпечення необхідної межі вогнестійкості конструкцій навісних вентиляційних фасадних систем, будуть:

- водяне зрошення світлопрозорих конструкцій фасадних систем на рівні поверху, на якому виникла пожежа;
- застосування протипожежних екранів, облицювань для вогнезахисту елементів кріплення конструкції фасаду та зниження температури полум'я зовнішньої пожежі;
- облаштування у внутрішніх порожнинах декоративних елементів вогнезахисних поясів та вогнезахист таких порожнин з метою запобігання поширенню полум'я;
- застосування інженерних заходів (вертикальний міжповерховий пояс; спеціальний вогнестійкий бар'єр, пожежні розсічки, горизонтальні протипожежні карнизи), які обмежують поширення пожежі

на вище розташовані поверхи протягом не менше 60 хвилин;

– застосування засобів вогнезахисту кріпильних елементів світлопрозорих конструкцій фасаду, що забезпечують межу вогнестійкості не менше R 60;

– застосування вогнестійкого скла з межею вогнестійкості не менше E 60.

Таким чином, проблема забезпечення пожежної безпеки навісних вентиляованих фасадних систем є складним науково-технічним завданням. Запропоновані інженерні рішення повинні бути обгрунтовані та підтверджені проведенням чисельних розрахунків, із використанням сучасного методу математичного моделювання за допомогою програмного комплексу Fire Dynamics Simulator (FDS), а також проведенням вогневих випробувань елементів конструкцій навісних вентиляованих фасадних систем.

Висновки. Проведений аналіз чинників, які впливають на поширення вогню конструкцією фасадної теплоізоляції з вентиляованим повітряним прошарком, дав змогу встановити характер поведінки конструкцій НВФС в умовах пожежі. Визначено фактори, які впливають на руйнування конструктивних елементів та поширення пожежі поверхнею фасадних систем будівлі. Запропоновано інженерні заходи для підвищення пожежної безпеки, а також забезпечення необхідної межі вогнестійкості конструкцій навісних вентиляованих фасадних систем. При цьому:

1. Встановлено, що забезпечення пожежної безпеки об'єктів різного функціонального призначення, шляхом безпечного улаштування зовнішніх фасадних систем є актуальною науково-технічною задачею, що потребує вирішення. Визначено, що незважаючи на низьку частоту виникнення пожеж фасадних систем як в Україні, так і у світі, пов'язані з ними наслідки, з точки зору масштабів пожежі, травм і загибелі людей, можуть бути значними.

Встановлено, що збірні конструкції фасадів, в яких застосовуються горючі теплоізоляційні матеріали та горючі опоряджувальні матеріали, підвищують ризик виникнення пожеж та поширювання вогню по поверхні будівель і споруд на значну площу.

2. Застосування горючих теплоізоляційних матеріалів як утеплювачів фасадів є економічно вигідним, однак становить підвищену небезпеку для життя та здоров'я людей під час пожежі. Тому проблема забезпечення пожежної безпеки будівель, в яких застосовуються теплоізоляційно-оздоблювальні системи зовнішніх стін, потребує ретельного дослідження. Для визначення пожежної небезпеки таких конструкцій необхідно врахувати увесь комплекс небезпечних властивостей теплоізоляційного матеріалу, а саме: горючість, займистість, здатність до поширення вогню, шви-

дкість тепловиділення, димоутворення та токсичність продуктів горіння. Для цього потрібно вносити зміни у діючі норми та стандарти.

3. Під час пожежі можливе швидке поширення вогню на великі площі. Крім цього, горіння оздоблювальних матеріалів фасадних систем супроводжується виділенням великої кількості диму та токсичних продуктів горіння, це буде ускладнювати евакуацію та рятування людей. Тому необхідно виконувати протипожежні заходи із обмеження розповсюдження пожежі (протипожежні розриви з негорючих матеріалів, протипожежний захист віконних прорізів тощо), а також створення умов для безпечного евакуювання людей з палаючої будівлі.

4. Важливою проблемою теплоізоляції будівель є використання неякісних, дешевих матеріалів, які не відповідають сертифікатам якості на цей вид продукції, а також порушення та недотримання вимог Технічного регламенту при проектуванні та застосуванні конструкцій із фасадною теплоізоляцією, загальних правил улаштування конструкцій та експлуатації будинків із зовнішніми стінами з фасадною теплоізоляцією.

Список літератури:

1. ДБН В.2.6-33:2018 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування. К.: Мінрегіон України, 2018. 19 с.

2. Ломакин И.А. Пожарная опасность систем навесных вентилируемых фасадов. Мирская наука, №4 (4). 2017.

3. Противопожарные мероприятия при проектировании фасадных систем. (Методическое пособие). М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России. 2017. 148 с.

4. Brushlinsky N.N., Ahrens Marty, Sokolov S.V., Wagner Peter. World Fire Statistics. Report No 22. International Association of Fire and Rescue Services (CTIF): Copyright by Center of Fire Statistics of CTIF, 2017. 56 p.

5. Наказ Державної служби України з надзвичайних ситуацій № 445 від 16.08.2017 «Про забезпечення ведення обліку пожеж та їх наслідків».

6. Звіт про науково-дослідну роботу «Обгрунтування умов і процедури натурних вогневих випробувань теплоізоляційно-оздоблювальних систем зовнішніх стін будинків і споруд на поширення вогню («Фасади – натурні випробування»))» (№ держреєстрації 0119U102437). Київ, ІДУ НД ЦЗ. 2020. 229 с.

7. Балло Я.В., Яковчук Р.С., Ніжник В.В., Сізіков О.О., Кузик А.Д. (2021). Дослідження конструктивних параметрів протипожежних карнизів для запобігання поширенню пожежі фасадними конструкціями висотних будинків. *Пожежна безпека*. № 37. С. 16-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.37.2020.03>.

8. Безбородов В. И. Устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций высотных жилых зданий: дис. канд. техн. наук. М.: 2019. 161 с.

9. Дагиль В. Г. Пожарная безопасность термомодернизации зданий за помощью фасадных систем. Сборник научных работ Харьковского национального университета Повітряних Сил. 2014. № 4. С. 118-120.

10. Косачев А.А. Анализ пожарной опасности навесных фасадных систем в реконструируемых зданиях. Пожаровзрывобезопасность. 2012. № 11 (21). С. 77–80.

11. Ламкин О. Б., Гравит М. В., Недрышкин О. В. Экспериментальные и теоретические исследования показателей пожарной опасности фасадной системы «Техноком». СУЗИС. 2015. № 11 (38). С. 49–65.

12. Мешалкин Е. А. Пожарная безопасность навесных вентилируемых фасадов. Пожарная безопасность в строительстве. 2011. № 3. 40–47.

13. Молчадский И.С., Зигерн-Корн В.Н. Фасадные теплоизоляционные системы. Особенности пожарной опасности навесных систем с воздушным зазором // Пожарная безопасность. 2008. № 2. 56–60.

14. Самар А.П., Онохов Е.Ю., Холупова О.В. Исследование пожарной безопасности зданий с навесными фасадами // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2013. №1. С. 353-362.

15. Обухова А.А. Навесные вентилируемые фасады: проблемы состояния нормативов и вопросы применения некоторых материалов // Вестник магистратуры. 2015. №6-1(45). С. 63-64.

16. Воробьев В.Н. Навесные фасадные системы: проблемы безопасности // Монография. 2011. 69 с.

17. María José Suáreza, Cristina Sanjuanb, Antonio José Gutiérreza, Jorge Pistonoa, Eduardo Blancoa .Energy evaluation of an horizontal open joint ventilated façade// Applied Thermal Engineering, Volume 37. 2012. P. 302-313.

18. Хасанов И.Р. Тепловые воздействия на наружные конструкции при пожаре//Пожарная безопасность. 2013. С. 16-26.

19. Koziol S., Zbrowski A. The method for increasing the safety of the buildings by application of heat recuperation in the fighting ventilation systems//Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza. 2012. T. 27. С. 39-45.

20. Яковчук Р., Кузык А., Смельяненко С. і Скоробагатко Т. Механізм поширення пожежі поверхню конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з горючим утеплювачем та опорядженням штукатуркою. *Пожарна безпека*. 2019. №34. С. 96-103. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.34.2019.16>.

21. Яковчук Р., Кузык А., Міллер О. і Лин А. Теплоізоляційно-оздоблювальні системи фасадів будинків як фактор підвищеної пожежної безпеки. *Пожарна безпека*. 2018. №32. С. 80-89. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.32.2018.12>.

22. Меркулов С.И., Полякова Н.В. Навесные вентилируемые фасады: преимущества применения и проблемы пожарной безопасности // Auditorium. 2017. №1 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/navesnye-ventiliruyemye-fasady-preimuschestva-primeneniya-i-problemy-pozharnoy-bezopasnosti>.

References:

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

2. Lomakin I.A. Fire danger of systems of hinged ventilated facades. World Science, №4 (4). 2017. (in Rus.)

3. Fire-prevention measures in the design of facade systems (Toolkit). М.: FSBI VNIPO EMERCOM of Russia. 2017. 148 p. (in Rus.)

4. Brushlinsky N.N., Ahrens Marty, Sokolov S.V., Wagner Peter. World Fire Statistics. Report No 22. – International Association of Fire and Rescue Services (CTIF): Copyright by Center of Fire Statistics of CTIF, 2017. 56 p.

5. Order of the State Service of Ukraine for Emergencies № 445 of 16.08.2017 "On ensuring the accounting of fires and their consequences." (in Ukr.)

6. Report on research work "Substantiation of conditions and procedures of full-scale fire tests of heat-insulating and finishing systems of external walls of buildings and structures for fire propagation" ("Facades - field tests") "(№ state registration 0119U102437). Kyiv, Institute of Public Administration and Research in Civil Protection. 2020. 229 p. (in Ukr.)

7. Ya Ballo, R Yakovchuk, V Nizhnyk, O Sizikov, A Kuzyk (2020). Investigation of design parameters facade fire-preventing eaves for prevent the spread of fires on facade structures of high-rise buildings. *Fire Safety*, №37, pp. 16-23. (in Ukr.) <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.37.2020.03>.

8. Bezborodov V.I. Stability at a fire of front translucent designs of high-rise apartment buildings: dis. Cand. tech. Science. М.: 2019. 161 p. (in Rus.)

9. Dahil V. H. Pozhezhna bezpeka termomodernizatsii budivel za dopomohoiu fasadnykh system [Fire safety of thermo-modernization of buildings with the help of facade systems] / V. H. Dahil, L. V. Khatkova // Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl. 2014. № 4. pp. 118-120. (in Ukr.)

10. Kosachev A. A. Analiz pozharnoy opasnosti navesnykh fasadnykh sistem v rekonstruiruyemykh zdaniyakh [Fire risk in SFS] // Pozharovzryvobezopasnost. 2012. № 11 (21). pp. 77-80. (in Rus.)
11. Lamkin O. B., Gravit M. V., Nedryshkin O. V. Eksperimentalnyye i teoreticheskiye issledovaniya pokazateley pozharnoy opasnosti fasadnoy sistemy «Tekhnokom» // SUZIS. 2015. № 11 (38). pp. 49-65. (in Rus.)
12. Meshalkin, E. Fire safety of hinged ventilated facades. *Fire Safety*. 2011. №3, pp. 40-47 (in Rus.).
13. Molchadskiy I. S., Zigern-Korn V. N. Fasadnyye teploizolyatsionnyye sistemy. Osobennosti pozharnoy opasnosti navesnykh sistem s vozdushnym zazorom // Pozharnaya bezopasnost. 2008. № 2. pp. 56-60. (in Rus.)
14. Samar E. Y., Onokhov O.V., Holupova A.P. Fire safety study of buildings shed-governmental facades // *Far East: Problems Of Architectural Complex*. 2013. № 1. pp. 357-362. (in Rus.)
15. Obukhova A.A. Navesnyye ventiliruyemyye fasady: problemy sostoyaniya normativov i voprosy primeneniya nekotorykh materialov // *Vestnik magistratury*. 2015. №6-1 (45). pp. 63-64. (in Rus.)
16. Vorobyev V.N. Navesnyye fasadnyye sistemy: problemy bezopasnosti // *Monografiya*. 2011. 69 p. (in Rus.)
17. María José Suáreza, Cristina Sanjuanb, Antonio José Gutiérreza, Jorge Pistonoa, Eduardo Blancoa .Energy evaluation of an horizontal open joint ventilated façade// *Applied Thermal Engineering*, Volume 37.2012. pp. 302-313.
18. Khasanov Y.R. Teplovye vozdeistviya na naruzhnye konstruktsyy pry pozhare [Thermal effects on external structures in case of fire] // *Pozharnaia bezopasnost*, 2013. № 4. pp. 16-26. (in Rus.)
19. Kozioł S., Zbrowski A. The method for increasing the safety of the buildings by application of heat recuperation in the fighting ventilation systems//*Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza*. 2012. T. 27. pp. 39-45.
20. Yakovchuk, R., Kuzyk, A., Yemelyanenko, S., & Skorobagatko, T. (2019). Fire spread mechanism on surface of construction fit with façade heat insulation based on combustible insulant and finished with plaster. *Fire Safety*, (34), pp. 96-103. (in Ukr.) <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.34.2019.16>.
21. Yakovchuk, R., Kuzyk, A., Miller, O., & Lyn, A. (2018). Heat insulation-apparatus systems of household facade as a factor of increased fire hazard. *Fire Safety*, (32), pp. 80-89. (in Ukr.) <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.32.2018.12>.
22. Merkulov S.I., Polyakova N.V. Hinged ventilated facades: advantages of application and problems of fire safety // *Auditorium*. 2017. №1 (13). (in Rus.) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/navesnye-ventilirumye-fasady-preimuschestva-primeneniya-i-problemy-pozharnoy-bezopasnosti>.

* **Оглядова стаття**

Стаття надійшла до редакції **24.11.2021**.