



Я. В. Балло¹, Р. С. Яковчук²,
О. І. Кагітін², І. Г. Стилик¹

¹Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9044-1293> – Я. В. Балло
<https://orcid.org/0000-0001-5523-5569> – Р. С. Яковчук
<https://orcid.org/0000-0002-2482-8422> – О. І. Кагітін
<https://orcid.org/0000-0002-8474-2014> – І. Г. Стилик
 balloy.ua@gmail.com

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖІ ПО ФАСАДАХ БУДІВЕЛЬ

Проблема. Поширення пожеж по фасадах будівель є одним із найнебезпечніших типів пожеж. Обмеження поширення пожеж по фасадах будівель та споруд є однією із основних вимог пожежної безпеки, яка передбачена чинними будівельними нормами. Попередній аналіз основних методів оцінювання поширення пожежі по фасадах будівель показав ряд недоліків, які можуть значно впливати на точність оцінювання пожежної безпеки фасадів. Аналіз виявлених недоліків та їх систематизація дасть змогу створити удосконалений стенд для здійснення більш точної оцінки обмеження поширення пожежі по фасадах будівель. Ці дослідження стануть передумовою для підвищення пожежної безпеки будівель та споруд різного функціонального призначення, а також дадуть змогу оцінити ефективність превентивних протипожежних заходів.

Мета. Виявлення недоліків у методах оцінювання поширення пожежі по фасадах будівель, як передумова розроблення удосконаленого обладнання для оцінювання пожежної небезпеки фасадних систем будівель.

Методи. Роботу виконано за допомогою аналітичного методу досліджень шляхом збирання, узагальнення, систематизації та синтезу даних щодо основних методів та стендів, які використовуються під час оцінювання пожежної небезпеки фасадних систем будівель.

Результати. В статті проведено аналіз та систематизовано основні методи оцінювання поширення пожежі по фасадах будівель. Виявлено переваги та недоліки існуючих методик та відповідних стендів Європи та інших країн щодо оцінювання ефективності заходів з обмеження поширення фасадних пожеж. Описано основні технічні параметри дослідних стендів та наведено їх конструктивні характеристики. Визначено потенційні напрями досліджень з удосконалення конструктивного виконання досліджуваного стенду для проведення більш точної оцінки можливості поширення пожежі по фасадах будівель. Запропоновано конструктивні рішення, які дадуть можливість оцінити забезпечення обмеження поширення пожежі по фасадах будівель при застосуванні вогневих перешкоджувачів.

Висновки. Проведеними дослідженнями встановлено, що на сьогодні основні методики та випробувальні стенди не в повній мірі можуть відтворювати реальні геометричні параметри фасадів, що впливає на точність оцінювання обмеження поширення пожежі по фасадах будівель. Систематизовано та узагальнено дані щодо конструктивних параметрів випробувальних стендів з дослідження забезпечення обмеження поширення пожежі по фасадах. На основі виявлених переваг та недоліків існуючих методик, запропоновані нові конструктивні рішення, яким повинен відповідати стенд для обмеження поширення пожежі по фасадах будівель. Визначено, що подальші дослідження мають бути спрямовані на розкриття закономірностей обмеження поширення пожежі по фасадах будівель різного типу та форми, в тому числі, обладнаних зовнішніми вогневими перешкоджувачами.

Ключові слова: обмеження поширення пожежі, оцінювання поширення пожежі фасадами, протипожежні карнизи, протипожежні перешкоди, пожежна безпека, теплоізоляційні фасади.

Y. V. Ballo¹, R. S. Yakovchuk², O. I. Kahitin², I. G. Stylik¹

¹Institute of Public Administration and Research in Civil Protection

²Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ANALYSIS OF THE MAIN METHODS OF ASSESSING THE SPREAD OF FIRE THROUGH BUILDING FACADES

Introduction. The spread of fires on building facades is one of the most dangerous types of fires. Ensuring the limitation of the spread of fires on the facades of buildings and structures is one of the main requirements of fire safety,

which is provided for by current building regulations. A preliminary analysis of the main existing methods for assessing the spread of fire on the facades of buildings showed some shortcomings that can significantly affect the accuracy of assessing the fire safety of facades. The analysis of the identified shortcomings and their systematisation will allow us to create an improved stand for a more accurate assessment of the limitation of the spread of fire along the facades of buildings. These studies will become a prerequisite for improving the fire safety of buildings and structures of various functional purposes, and will also allow assessing the effectiveness of preventive fire-fighting measures

Purpose. identifying the shortcomings of the existing methods of assessing the spread of fire on the facades of buildings, as a prerequisite for the development of improved equipment for assessing the fire hazard of facade systems of buildings.

Methods. The work was performed using an analytical method of research by collecting, summarising, systematising and synthesising data on the main existing methods and stands that are used during the assessment of the fire hazard of facade systems of buildings.

Results. The article analyses and systematises the main existing methods of assessing the spread of fire on building facades. The advantages and disadvantages of existing methods and relevant stands of Europe and other countries regarding the evaluation of the effectiveness of measures to limit the spread of facade fires have been revealed. The main technical parameters of experimental stands are described and their design characteristics are given. Potential directions of research on improving the constructive implementation of the research stand for a more accurate assessment of the possibility of fire spreading along the facades of buildings have been determined. Constructive solutions are proposed that will make it possible to assess the limitation of the spread of fire on the facades of buildings when fire barriers are used.

Conclusions. Studies have shown that to date there are no criteria and dependencies that would predict measures to limit the spread of fire by external vertical structures. For the first time, design features for types of facade systems that may affect the limitation of the spread of fire on vertical structures are systematised and generalised. It is determined that further research should be aimed at revealing the patterns of limiting the spread of fire on the facades of buildings of various types and determining the parameters of additional fire-fighting structural elements as one of the most rational types of passive external fire barriers.

Keywords: restrictions on the spread of fire, types of facade systems, fire eaves, fire barriers, fire safety, thermal insulation facades.

Постановка проблеми. Обмеження поширення пожежі є однією із основних вимог вітчизняних та зарубіжних будівельних норм [1-4]. Окремим актуальним питанням пожежної безпеки є обмеження поширення пожеж по фасадах будівель, а також оцінка ефективності відповідних заходів для її обмеження. На сьогодні в країнах Європи, Азії, США немає єдиних підходів щодо методів та критеріїв, які характеризують досягнення умов обмеження поширення пожежі по поверхні зовнішніх вертикальних будівельних конструкцій. Відомі методики та випробувальні стенди відрізняються як геометричними параметрами, так і конструктивним виконанням, що значно впливає на результати оцінювання пожежної безпеки фасадних систем.

В Україні, згідно з статистичними даними про пожежі та їх наслідки за 2018-2021 роки, кількість фасадних пожеж збільшилася більш ніж в 2 рази, при цьому майже в 40% випадків фасадні системи або їх облицювання було виконано із негорючих матеріалів [5].

Точне визначення закономірностей зміни температур від пожежі на поверхні вертикальних будівельних конструкцій для можливості прогнозування запобігання поширенню фасадної пожежі є важливим підґрунтям для забезпечення вимог пожежної безпеки фасадних систем будівель. Це обумовлює необхідність проведення аналізу відомих методик та випробувальних стендів для виявлення їх окремих переваг та недоліків, що дасть змогу сформулювати вимоги для створення більш досконалого стенду та процедуру проведення

якісного оцінювання можливості поширення пожежі по фасадах будівель.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За результатами проведеного аналізу публікацій, стосовно відомих методів дослідження обмеження поширення пожеж зовнішніми вертикальними конструкціями будівель можна стверджувати, що вони не в повній мірі розкривають проблему оцінювання обмеження поширення пожеж по фасадах, а також не містять комплексних шляхів вирішення такої проблеми. В роботі [6] розкриваються проблеми оцінювання стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до поширення вогню, проте не враховується питання поширення пожеж між вище розташованими поверхами. В роботі [7] приділено увагу поширенню пожеж між вище розташованими поверхами, проте не враховуються кутова форма фасаду, яка згідно з дослідженням [8] впливає на значення теплових розподілів на фасаді до 30%. Окрім цього, залишаються питання щодо типів модельних вогнищ пожежі, які застосовуються у відомих методиках та температурного режиму, який слід забезпечити у вогневій камері.

Таким чином, постає актуальне наукове завдання виявлення та систематизації переваг та недоліків відомих методів оцінки обмеження поширення пожеж по фасадних системах, для обґрунтування конструктивних характеристик досліджуваного стенда щодо проведення більш точної оцінки поширення пожежі по фасадах будівель, в тому числі під час використання протипожежних перешкоджувачів різного типу.

Метою статті є проаналізувати та систематизувати відомі методи проведення оцінювання поширення пожеж по фасадах будівель, як передумова розробки удосконаленого методу оцінки.

Виклад основного матеріалу. Перші оприлюднені натурні випробування із визначення ефективності обмеження поширення пожежі по зовнішніх огорожувальних конструкціях будівлі було проведено у 1958 році за методикою в SP Fire 105 [9]. Окрім оцінювання ефективності обмеження поширення пожежі цей метод передбачав обґрунтування безпечності застосування матеріалів для облицювання фасадів, що можуть піддаватися впливам тепла і полум'я від пожежі в приміщенні. Метод був представлений на міжнародному рівні для різних комітетів стандартизації [10] та ліг в основу багатьох сучасних методик із дослідження пожежної небезпеки фасадних систем та оцінки їх відповідності.

Загальні геометричні параметри стенду передбачали конструкцію висотою 4 м та шириною

1 м з джерелом модельного вогнища пожежі класу А, яке складалося із 20 кг деревини та 4 л палива (гептану) для його розпалювання. В майбутньому цей тип модельного вогнища буде поставлений під сумнів та замінено на клас В, через відсутність сталої тривалості горіння і неоднорідність його температурних параметрів для різних порід дерева та їх віку. На початку 1980-х років джерелом модельного вогнища для стенду, SP Fire 105 остаточно стало модельне вогнище класу В, а саме в якості палива було прийнято 60 л гептану, що відповідало значенню пожежного навантаження 110 МДж/м². Зміна типу модельного вогнища дала змогу отримати більшу щільність теплового потоку починаючи з перших хвилин експерименту, стабільну кількість сажі та сталі значення теплового потоку в 140 кВт/м² на рівні першого поверху та 75 кВт/м² – на рівні другого. На рисунку 1 наведено сучасну схему стенду для оцінювання обмеження поширення пожежі, згідно з методом SP Fire 105.



Рисунок 1 – Схема стенду для оцінки ефективності обмеження поширення фасадної пожежі, згідно з методом SP Fire 105

З 1994 року, згідно з останньою чинною редакцією SP Fire 105, тестовий стенд має геометричний розмір 4000 мм × 6710 мм (ширина і висота), а технологія виконання фасадної системи повинна максимально відтворювати реальний фасад будівлі. Тривалість вогневого впливу становить не менше 20 хвилин. Пожежною навантагою для вогнища пожежі є 60

літрів гептану, що спалюється в металевому деку прямокутної форми розмірами 2000 мм × 500 мм розташованому на рівні землі на відстані 300 мм від площини фасаду. Розміри досліджуваних вікон на двох поверхах над модельним вогнищем становлять 1510 мм × 1200 мм. Температуру у випарах і на конструкції стенду вимірюють за допомогою термомпарі діаметром $\varnothing = 0,25$ мм.

Тривалість тесту становить 18 хвилин, а умовою його успішного проведення є відсутність поширення полум'я та/або пошкодження нижньої частини вікна другого поверху над рівнем камери модельної пожежі, а також фасадна система не може бути хоча б частково пошкоджена шляхом осипання великих шматків облицювання. Разом із тим залишається не визначеним, що саме підпадає під критерій «частково пошкоджена» або «великі шматки облицювання», що в стандарті SP Fire 105 не зазначено і, виходячи і з описів результатів, означає наявність фрагментів фасадної системи, більших за 5 см.

Що стосується температурних критеріїв, то в стандарті визначено, що температура, виміряна на карнизі першого поверху вікна над пожежею, не може перевищувати 500 °C впродовж 2 хвилин або 450 °C – більше 10 хвилин. Окрім цього, для фасадних систем закладів охорони здоров'я є додатковий критерій, який полягає у тому, що тепловий потік у центрі вікна на першому поверсі над рівнем камери модельної пожежі не може перевищувати значення 80 кВт/м².

За результатом багаторічних численних випробувань було встановлено, що конструкція фасадної системи, геометричні параметри віконних отворів та зовнішні протипожежні бар'єри значно більше впливали на обмеження пожежі, ніж властивості окремих будівельних матеріалів з різною реакцією на пожежу [11]. В цілому метод SP Fire 105, сприймається як базовий та досить консервативний метод натурних випробувань через сталу геометрію отвору випробувального стенду та відсутність можливості відтворювати різні конструктивні типи фасадних систем.

Разом із тим, наведений метод SP Fire 105 є фактично єдиним міжнародно визнаним стандартизованим методом оцінки ефективності

запобігання розповсюдженню пожежі по зовнішніх огорожувальних конструкціях будівлі, як імітація пожежі в приміщенні з розбитим вікном. Зокрема через те, що інші методи в більшій мірі спрямовані на дослідження пожежонебезпеки фасадних облицювальних будівельних матеріалів.

Як приклад, в 2002 році в розвиток SP Fire 105 [12] було розроблено стандарт Великої Британії BS 8414 [13], що є методом випробування не несучих зовнішніх облицювальних систем, нанесених на цегляну поверхню будівлі, який був вперше опублікований у 2002 році. Цей стандарт було взято за основу для розробки на Близькому Сході, Австралії (AS 5113:2016) [14], Китаї (GB/T 29416-2012) [15], США (NFPA 285) [16], Німеччині (DIN 4102-20) [17] та Канаді (CAN/ULC S-134) [18] власних національних стандартів, які є подібними за методами, проте включають національні уточнення.

Слід відмітити, що якщо метод [12] в своїй основі включав дослідження оцінки обмеження поширення пожежі по фасаду будівлі, то стандарти [13-18] адаптували свої методики під дослідження пожежної безпеки фасадної теплоізоляції, вогнестійкості систем ізоляції зовнішніх стін та поширення вогню всередині досліджуваного зразка фасадної системи. В таблиці 1 наведено фотофрагментів випробувань за кожним із перелічених методів.

Окремо слід відмітити, що методики стандартів Японії (JIS A 1310) [19] та Польщі (PN-B-02867) [20], які також в більшій частині спрямовані на дослідження пожежної безпеки фасадної теплоізоляції та вогнестійкості систем ізоляції зовнішніх стін, є середньомасштабними за своїми розмірами.



Рисунок 2 – Фото фрагментів випробувань, що застосовуються в [13-18]



NFPA 285



DIN 4102-20



CAN/ULC S-134

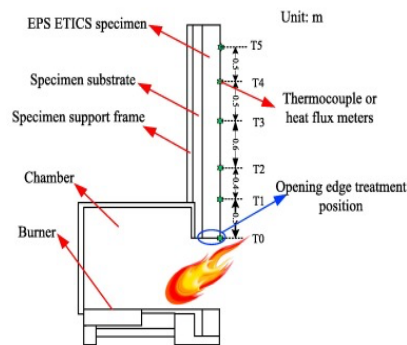
Продовження рисунка 2 – Фото фрагментів випробувань, що застосовуються в [13-18]

Досліджувана висота фрагмента фасаду становить в межах 2,3-2,7 м, що фактично відповідає висоті одного поверху, а ширина становить 1,8 м. Методики [19, 20] є досить консервативними з точки зору виконання самого стенду та досліджуваного фрагмента фасаду, а також і виміральної техніки. Разом із тим,

проведений аналіз та порівняння методик [19,20] із методиками створеними на основі SP Fire 105 показує досить прийнятну збіжність отриманих результатів випробувань матеріалів облицювання фасадних систем. На рисунку 2 наведено фото випробувань за методиками [19, 20].



а)



б)



Рисунок 2 – Фото стендів для оцінки ефективності обмеження поширення фасадної пожежі, де: а) стенд за методикою PN-B-02867; б) стенд за методикою LIS A 1310

Серед методик, призначених для безпосередньої оцінки обмеження поширення пожежі по фасадах будівель, слід відмітити методики Швейцарії та Австрії (ÖNORM B 3800-5) [21], а також методику Франції (LEPIR2) [22]. Ці методи передбачають проведення оцінки поведінки конструктивного виконання фасадних систем будівлі та одночасно спрямовані на дослідження шляхів з обмеження ризиків поширення вогню по фасадах на верхні поверхи. Геометричні параметри стендів для цих методик становлять близько 7 м, що дозволяє фактично відтворити два повноцінні поверхи будівлі.

Переваги цих методів полягають у можливості проводити випробування для багатьох типів «сухих фасадів», «мокрих фасадів», «поліфасадів», а також навіть для дерев'яних типів фасадів. Зокрема, для фасадів, виконаних із горючих матеріалів, ці методики передбачають дослідження ефективності вогневих перешкоджувачів. У якості вогневих перешкоджувачів, як правило, застосовуються пасивні системи перешкоджання поширення вогню, а саме: протипожежні карнизи, протипожежні віконні козирки та протипожежні пояси виготовлені із негорючих матеріалів. На рисунку 3 наведено приклад фасадних систем, обладнаних вогневими перешкоджувачами [22].

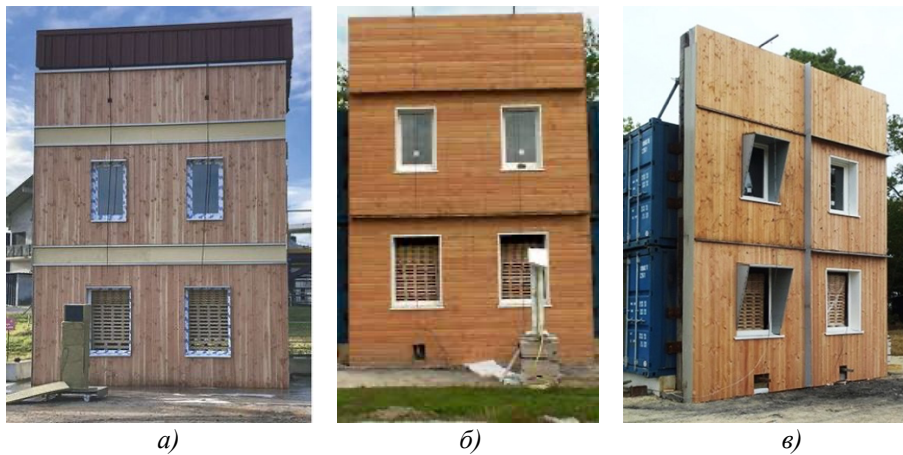


Рисунок 3 – Фото фасадних систем, обладнаних вогневиими перешкоджувачами в рамках проведення випробувань за методикою LEPiR2, де: *а* – приклад фасадної системи, обладнаної протипожежним поясом; *б* – приклад фасадної системи, обладнаної протипожежним карнизом; *в* – приклад фасадної системи обладнаної протипожежними віконними козирками та вертикальним протипожежним відгороджувачем

Проаналізувавши методики [21, 22] можемо стверджувати, що ці тести за своєю метою найбільш наближені до методики [12], проте критерії цих тестів значно відрізняються як за значенням температури, так і за переліком критеріїв. Серед переваг цього методу, викладеного в [22], слід відзначити можливість максимального наближення конструктивного виконання фрагмента фасадної системи до реального відтворення фрагмента будівлі. Значна кількість термопар, а саме 125 одиниць, які фіксують температурний режим упродовж всієї тривалості експерименту, забезпечує високу точність зняття даних та достовірність отриманих результатів. Також важливою перевагою цього методу є наявність апробованої числової FDS моделі, використання якої дозволяє значно знизити економічні та трудові затрати, під час дослідження пожежної небезпеки фасадних систем [7].

Окремо слід відзначити, що ця методика є єдиною, яка передбачає наявність вікон на рівні 2-го поверху, як елементу повноцінного відтворення фасадної системи. Разом із тим, критерії успішного проведення тесту не передбачають врахування цього елементу заповнення світлових прорізів, та не висувають умов щодо можливості його руйнування або деформації. Недоліки методу [22] полягають у відсутності можливості використання різних типів модельних вогнищ пожежі, а також не враховують кут нахилу площини фасаду.

Перевагою методу [21] є можливість дослідження параметрів засобів обмеження поширення пожежі для різних типів фасадних систем, в тому числі, виконаних із потенційно горючих матеріалів. Слід відзначити, що критерії руйнування фасадної системи, згідно з методом [21], на відміну від інших стандартів є чіткими та вичерпними. Зокрема, для успішного проведення

тесту для будь-якої фасадної системи загальна вага частин фасаду або фрагментів, які впали дотолу, не повинна перевищувати 5 кг, а площа вигорання не повинна становити понад 0,4 м² над рівнем вище 1,65 м від відмітки землі. Серед недоліків слід відмітити відсутність віконних прорізів, як основного критерію для можливості прогнозування обмеження поширення пожежі, згідно з [12] та відсутність можливості зміни кута нахилу площини фасадної системи.

Аналіз наведених методик національних стандартів [12-22] дозволяє зробити попередні висновки, що на сьогодні успішно застосовуються стенди як для проведення повномасштабних натурних випробувань висотою 7-9 м, так і середньомасштабні стенди висотою 2,3-2,8 м. Як правило, кількість поверхів стенду, які досліджуються, становить два, а саме, контролюється температурний режим на рівні вогневої камери та досліджується поверх, який розташований безпосередньо над нею.

Як правило, для будинків із сухим та мокрим типом фасаду відстань між краями вікон суміжних вертикальних поверхів не перевищує 1,7 м. Для монолітобетонних будинків із склопрозорими фасадами така відстань може становити лише 0,2-0,3 м. Таким чином обмежувати методику конкретними відстанями між віконними прорізами є недоречним.

Під час проведення середньомасштабних випробувань важливо відтворювати реальні геометричні параметри світлових прорізів у масштабі 1:1, для двох поверхів, проте відтворювати кожен поверх у повному обсязі не має необхідності через те, що більша частина їх площі поверхні не бере участі в обмеженні або поширенні пожежі. Зазначене обґрунтовується тим, що під час досліджень оцінюється можливість поширювати полум'я між світловими

прорізами (вогневої камери та вище розташованого вікна). При цьому поверх вогневої камери повинен бути повністю відкритий для імітації найгірших умов пожежі.

Можливість проводити середньомасштабні випробування, які пройшли верифікацію та підтверджують достовірність отриманих результатів є надзвичайно перспективним напрямом наукових досліджень. Цей тип середньомасштабних випробувань, зокрема в частині обмеження поширення пожежі по фасадах будівель, дасть можливість оптимізувати економічні витрати та значно зменшить трудові ресурси на організацію проведення досліджень.

Важливою економічною та практичною складовою під час організації проведення випробувань є можливість використовувати декілька альтернативних джерел палива для модельного вогнища пожежі, яке створює в більшості випадків описаних методик умови максимально наближені до стандартного температурного режиму. Також слід розуміти, що тривалість проведення випробувань, залежно від методики, знаходиться в межах від 18 хв до 60 хв, що в більшості випадків обґрунтовується значенням нормованої межі вогнестійкості для зовнішніх несучих або ненесучих стін.

Для України, враховуючи вимоги [23], тривалість випробувань має становити не менше 30 хвилин, що відповідатиме значенню межі вогнестійкості як для зовнішніх ненесучих стін для будівель I ступеня вогнестійкості.

Аналіз наведених методик показав, що під час проведення випробувань модельне вогнище пожежі, як правило, розташоване посередині вогневої камери або за зовнішньою площиною досліджуваного фрагмента фасадної системи. Винятком є Методики Польщі [20] та США [16], де модельне вогнище розташовували зовні

площини фасаду або одночасно і зовні і всередині випробувального стенда.

Слід розуміти, що потенційна загроза виникнення фасадної пожежі може бути не лише всередині приміщення, але і безпосередньо на самому фасаді будівлі. Як приклад, таким потенційним джерелом пожежі із значним пожежним навантаженням можуть бути зовнішні кондиціонерні блоки, через які лише в Україні за 2021 рік виникло більше 50 таких фасадних пожеж [24-26]. Таким чином, під час створення методики дослідження ефективності обмеження пожеж по фасадах будівель, слід враховувати потенційні загрози виникнення вогню як в середині будівлі, так і зовні.

Сучасні архітектурні підходи під час проектування будівель та споруд різного функціонального призначення поєднують в собі широкий діапазон нових стилів та форм фасадних систем. На сьогодні проектування сучасних архітектурних комплексів створило ряд нових уявлень, які раніше могли сприйматися як недолік. Зокрема, міцність фасаду будівлі більше не є синонімом масивності. В архітектурі 1970-80-х років масивні несучі стіни були завжди підкреслені глибокими віконними та дверними прорізами. У сучасній архітектурі стіни зазвичай є тонкими, з тонкими площинами, що огорожують внутрішній простір будівлі для створення відчуття, що внутрішній простір перетікає у зовнішній. Ці нові підходи до об'єму впливають не лише на план, але й на цілу форму будівлі. На сьогодні фасадні системи, які є перпендикулярними до площини землі є радше винятком ніж правилом під час проектування нових будівель та споруд. На рисунку 4 наведено Танцюючий дім (побудований у 1991-95), проект якого був удостоєний Прітцкерівської премії – головної архітектурної премії світу, в 1989 році [27].



Рисунок 4 – Танцюючий дім Френка Гері

Цей проект став прикладом переломного періоду між традиційним конструктивізмом та модернізмом. Разом із тим, жодний із виявлених методів дослідження пожежної небезпеки фасадних систем або оцінки заходів для обмеження поширення пожежі не враховує можливість зміни кута площини фасаду. Відсутність нових підходів в методиках випробувань фасадів, які мають враховувати сучасні тенденції в архітектурі, створює передумови для об'єктивної оцінки пожежної небезпеки фасадних систем, що є актуальною науковою задачею.

Таким чином, удосконалений стенд для проведення оцінки пожежної небезпеки фасадних систем та заходів з обмеження поширення пожежі має враховувати можливість змінювати кут нахилу площини фасадної системи від 70° до 110° відносно вертикальної осі. Ці кути є найбільш поширеними нахилами площини фасаду в сучасній архітектурі, тому введення цього параметра дозволить більш точно оцінювати пожежну небезпеку фасадних систем.

Також слід відмітити, що більшість сучасних методик включали в конструкції стенда кутову екрануючу площину, що імітувала прилеглий кут стіни фасаду будівлі. Слід зазначити, що сучасні стенди враховували лише прилеглий кут із значенням 90° , що є досить консервативним та може не відповідати реальним параметрам фасаду. Як приклад, склопрозорі фасади в багатьох випадках мають плавні кути кривизни фасадів. Таким чином, доречно передбачити в конструкції стенда можливість змінювати кут екрануючої панелі для максимального наближення натурних параметрів фасаду будівлі.

Серед перспективних питань досліджень обмеження поширення пожеж по зовнішніх огорожувальних конструкціях (фасадах) будівель є застосування вогневих перешкоджувачів. В якості вогневих перешкоджувачів можуть бути розглянуті протипожежні карнизи, протипожежні пояси, протипожежні віконні штори або інші пасивні конструктивні заходи, що можуть бути включені до конструкції фасадних систем.

В методиках стандартів [21] та [22] передбачена можливість оцінки ефективності обмеження поширення пожежі шляхом встановлення вогневих перешкоджувачів по різних типах фасадів будівель. Проте на сьогодні відсутні дані, щодо залежностей або закономірностей теплових розподілів для різних вогнеперешкоджувачів, в тому числі обґрунтування їх ефективності залежно від їх типу.

Таким чином, під час створення удосконаленої методики оцінки обмеження поширення пожежі по фасадах будівель доцільно

передбачити можливість встановлення вогневих перешкоджувачів, як потенційно ефективного заходу, який потребує вивчення.

Отже, проведемо узагальнення основних параметрів удосконаленого стенду для проведення досліджень обмеження впливу висхідного теплового потоку джерела теплового випромінювання на фасадні будівельні системи різних типів:

- середньомасштабний стенд, з висотою в межах 2700-3000 мм, шириною 1600-2000 мм, глибина вогневої камери 1300-1500 мм;

- можливе використання модельних вогнищ класу А, класу В або газовий пальник, при умові забезпечення значення температури у вогневій камері та зовні над верхнім краєм вікна вогневої камери не менше 600°C у продовж всієї тривалості випробувань, але не менше 20 хв;

- тривалість випробувань має становити не менше 30 хв, що відповідатиме вимогам, які висуваються до межі вогнестійкості ненесучих стін будівель I ступеня вогнестійкості;

- має бути передбачена можливість влаштування термопар на зовнішній поверхні фасаду стенда для можливості контролю температурного режиму на різних висотних рівнях під час проведення випробувань. Також термопари повинні бути влаштовані на нижньому краї вікна, що розташоване над вікном вогневої камери;

- стенд повинен мати можливість змінювати кут нахилу площини фасадної системи від 70° до 110° відносно вертикальної осі;

- стенд повинен мати можливість обладнуватися протипожежними перешкоджувачами різних типів для можливості оцінки ефективності обмеження поширення пожежі;

- стенд повинен включати можливість влаштування віконного прорізу різних розмірів на відстані від верхнього краю вогневої камери від 200 до 500 мм;

- під час оцінки критеріїв для успішного проведення випробувань слід врахувати фізичні властивості основних матеріалів конструкції вікон та визначити температурні значення критеріїв для забезпечення збереження їх цілісності;

- стенд повинен мати прилеглу поворотну кутову площину для імітації кута будівлі, яка повинна змінювати кут від 90° до 180° .

Таким чином, розроблення удосконаленого стенду з оцінки обмеження поширення пожежі по фасадах будівель на основі отриманих даних, визначених пріоритетних шляхів удосконалення та виявлених недоліків в методах випробування стандартів [12-22] є актуальною науковою задачею.

Висновки

Аналіз методик оцінки обмеження поширення пожежі по фасадах будівель [12-22] показав, що на сьогодні не існує єдиних критеріїв та конструктивних вимог щодо випробувальних стендів. При цьому наявні методики та випробувальні стенди не в повній мірі можуть відтворювати реальні геометричні параметри фасадів, що впливає на точність оцінювання обмеження поширення пожежі по фасадах будівель.

Наведені відмінності параметрів описаних методик не можна однозначно сприймати як недоліки, оскільки слід розуміти, що визначені відмінності випробувальних стендів можуть враховувати національні особливості будівництва для різних країн. Разом із тим, головним об'єднувальним параметром для будь-якого типу випробувального стенда можна визначити необхідність максимального наближення відтворення фрагмента випробувальної частини фасадної системи. Цей підхід дасть змогу більш точно оцінювати пожежну небезпеку фасадних систем або оцінювати забезпечення обмеження поширення пожежі по фасадах будівель.

Систематизація та узагальнення даних щодо конструктивних параметрів наявних стендів з дослідження забезпечення обмеження поширення пожежі показав необхідність створення удосконаленого стенду, який би забезпечував максимальне наближення випробувального фрагмента фасаду до реальних параметрів досліджуваної фасадної системи будівлі. Серед ключових характеристик удосконаленого стенду доцільно відмітити можливість відтворення кутів вертикального нахилу та кутів прилягання суміжних площин прилеглих фасадів.

Як перспективу характеристику стенда можна відзначити забезпечення конструктивної можливості обладнати досліджуваний фрагмент фасаду протипожежними карнизами, протипожежними поясами або іншими типами вогнеперешкоджувачів.

Список літератури:

1. «Про будівельні норми»: Закон України від 17.02.2011 р. № 1704-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1704-17#Text>
2. ДБН В.1.2-7-2008. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека. Чинний від 2008-10-01. Вид. офіц. Київ : ДП УкрНДНЦ, 2008. 31 с.
3. The Building Regulations 2020. Volume 2 – Buildings other than dwellinghouses Approved Document B (Fire safety). Ministry of Housing, Communities & Local Government and Department for Levelling Up, Housing and Communities URL:

<https://www.gov.uk/government/publications/fire-safety-approved-document-b>.

4. NFPA 5000: Building Construction and Safety Code, 2018. Edition URL: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=5000>.

5. Климась Р.В., Одинець А.А. Статистика пожеж та їх наслідків в Україні за 2021 рік: Звіт аналітичних матеріалів. К.: ІДУ НДЦЗ, 2021. 60 с.

6. Скоробагатько Т., Добростан О., Новак С. Аналіз європейських методів оцінювання стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до поширення вогню Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, 2020 № 1(9), С 94-106.

7. Dr. Natasa Knez (speaker), "Experimental large scale facade test", EGOLF Workshop on Facades ' Szentendre, Hungary, 29 October, 2015.

8. Zhou, B., Yoshioka, H., Noguchi, T., Wang, K. (2020). Experimental study on vertical temperature profile of EPS external thermal insulation composite systems masonry façade fire according to JIS A 1310 method. Fire and Materials, 2020. URL: <https://doi:10.1002/fam.2880>.

9. Van Hees P., Semi-natural fire test for façades and curtain walling systems, SP AR 2000:39, SP Technical Research Institute of Sweden, 2000.

10. Hermodsson T. & Månsson L., Façades: Fire testing of materials and constructions- a first proposal for a test method, SP AR 1992:64, SP Technical Research Institute of Sweden, 1992.

11. Ondrus, J., Pettersson O. Fire hazards of façades with externally applied additional thermal insulation. LUTVDG/TVBB-3025, 1985, ISSN 0282-3756.

12. SP Fire 105 External wall assemblies and facade claddings. Reaction to fire. - SP Technical Research Institute of Sweden, 1994. 16 p.

13. BS 8414-1:2015 Fire performance of external cladding systems. Test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the masonry face of a building. BSI, 2015. 20 p.

14. AS 5113:2016 Amendment 1 – Classification of external walls of buildings based on reaction to fire performance. NSW (2016). 24 p.

15. Hinese Standards. (2012) "GB/T 29416-2012 Test method for fire-resistant performance of external wall insulation systems applied to building facades". China: Chinese Standards (GB).

16. NFPA. (2012) "NFPA 285: Standard Fire Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components ". Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association.

17. DIN 4102-20-2017 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 20: Ergänzender

Nachweis für die Beurteilung des Brandverhaltens von Außenwandbekleidungen. GIS, 2017. 25 h.

18. Standards Council of Canada. (2013) "CAN/ULC-S134-13: Standard Method of Fire Test of Exterior Wall Assemblies". Ottawa, Ontario, Canada: Standards Council of Canada and Underwriters Laboratories Canada; 2013.

19. JIS A 1310:2015 Test method for fire propagation over building facades. JSA, 2015.18 p.

20. PN-B-02867:2013 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Metoda badania stopnia rozprzestrzeniania ognia przez ściany zewnętrzne od strony zewnętrznej oraz zasady klasyfikacji. PKN, 2013. 20 p.

21. ÖNORM B 3800-5:2013. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 5: Brandverhalten von Fassaden. Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen. Austrian Standards plus, 2013. 14 p.

22. LEPiR 2-2010 Facade fire propagation test. France, 2010. 18 p.

23. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2016. – [Чинні від 2017-06-01]. К.: Мінрегіон України від 31.10.2016 № 287. 2017. 41 с.

24. Ballo Y., Yakovchuk R., Nizhnyk V., Borysova A. (2022). Determining the effect of fire from external air conditioning units on buildings' façades. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (117)), 72–79. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259533>

25. P.C. Яковчук (2021). Дослідження впливу зовнішніх вертикальних огорожувальних конструкцій на поширення вогню поверхнею стін із фасадною теплоізоляцією. *Пожежна безпека*, 38, 38-48. <https://doi.org/10.32447/20786662.38.2021.06>

26. Я.В. Балло, Р.С. Яковчук, В.В. Ніжнік, О.І. Кагітін (2022). Аналіз та систематизація типів фасадних систем будівель як передумова удосконалення протипожежних заходів. *Пожежна безпека*, 40, 5-15. <https://doi.org/10.32447/20786662.40.2022.01>

27. Friedman Mildred S. and Frank O. Gehry. 2009. *Frank Gehry: The Houses*. New York: Rizzoli.

References:

1. About building norms: the Law of Ukraine from 17.02.2011, № 1704-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1704-17#Text>

2. DBN V.1.2-7-2008. The system for ensuring the reliability and safety of construction objects. Basic requirements for buildings and structures. Fire Security. Effective from 2008-10-01. Kyiv: Minrehionbud (in Ukr.)

3. The Building Regulations 2020. Volume 2 – Buildings other than dwellinghouses Approved Document B (Fire safety). Ministry of Housing, Communities & Local Government and Department

for Levelling Up, Housing and Communities URL: <https://www.gov.uk/government/publications/fire-safety-approved-document-b>.

4. NFPA 5000: Building Construction and Safety Code, 2018 Edition URL: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=5000>.

5. Klymas R.V., Odynets A.A. Statistics of fires and their consequences in Ukraine for 2021: Report of analytical materials. Kyiv, 2021. 60 p.

6. Skorobagatko T., Dobrostan O., Novak S. Analysis of European methods for assessing the resistance of prefabricated facade thermal insulation systems to the spread of fire. *Scientific bulletin: Civil protection and fire safety*, 2020 № 1(9), pp. 94-106.

7. Dr. Natasa Knez (speaker), "Experimental large scale facade test", EGOLF Workshop on Facades ' Szentendre, Hungary, 29 October, 2015.

8. Zhou, B., Yoshioka, H., Noguchi, T., Wang, K. (2020). Experimental study on vertical temperature profile of EPS external thermal insulation composite systems masonry façade fire according to JIS A 1310 method. *Fire and Materials*, 2020. URL: <https://doi:10.1002/fam.2880>.

9. Van Hees P., Semi-natural fire test for façades and curtain walling systems, SP AR 2000:39, SP Technical Research Institute of Sweden, 2000.

10. Hermodsson T. & Månsson L., Façades: Fire testing of materials and constructions- a first proposal for a test method, SP AR 1992:64, SP Technical Research Institute of Sweden, 1992.

11. Ondrus, J., Pettersson O. Fire hazards of façades with externally applied additional thermal insulation. LUTVDG/TVBB-3025, 1985, ISSN 0282-3756.

12. SP Fire 105 External wall assemblies and facade claddings. Reaction to fire. - SP Technical Research Institute of Sweden, 1994. 16 p.

13. BS 8414-1:2015 Fire performance of external cladding systems. Test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the masonry face of a building. BSI, 2015. 20 p.

14. AS 5113:2016 Amendment 1 – Classification of external walls of buildings based on reaction to fire performance. NSW (2016). 24 p.

15. Hinese Standards. (2012) "GB/T 29416-2012 Test method for fire-resistant performance of external wall insulation systems applied to building facades". China: Chinese Standards(GB).

16. NFPA. (2012) "NFPA 285: Standard Fire Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components ". Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association.

17. DIN 4102-20-2017 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 20: Ergänzender Nachweis für die Beurteilung des Brandverhaltens von Außenwandbekleidungen. GIS, 2017. 25 h.
18. Standards Council of Canada. (2013) "CAN/ULC-S134-13: Standard Method of Fire Test of Exterior Wall Assemblies". Ottawa, Ontario, Canada: Standards Council of Canada and Underwriters Laboratories Canada; 2013.
19. JIS A 1310:2015 Test method for fire propagation over building facades. JSA, 2015. 18 p.
20. PN-B-02867:2013 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Metoda badania stopnia rozprzestrzeniania ognia przez ściany zewnętrzne od strony zewnętrznej oraz zasady klasyfikacji. PKN, 2013. 20 p.
21. ÖNORM B 3800-5:2013. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 5: Brandverhalten von Fassaden. Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen. Austrian Standards plus, 2013. 14 p.
22. LEPiR 2-2010 Facade fire propagation test. France, 2010. 18 p.
23. 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.)
24. Ballo Y., Yakovchuk R., Nizhnyk V., Borysova A. (2022). Determining the effect of fire from external air conditioning units on buildings' façades. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (117)), 72–79. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259533>
25. Yakovchuk, R. (2021). Study of the effect of external vertical enclosing structures on the spread of fire through the surface of walls with facade thermal insulation. *Fire safety*, 38, 38-48. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.38.2021.06>
26. Ballo, Y. V., Yakovchuk, R. S., Nizhnyk V. V., & Kahitin, O. I. (2022). Analysis and systematization of types of facade systems of buildings as a prerequisite for improvement of fire - fighting measures. *Fire safety*, 40, 5-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.40.2022.01>
27. Friedman Mildred S. and Frank O. Gehry. 2009. *Frank Gehry: The Houses*. New York: Rizzoli.

© Я. В. Балло, Р. С. Яковчук,
О. І. Кагітін, І. Г. Стилик, 2022.

Оглядова.

Надійшла до редакції 21.11.2022.

Прийнято до публікації 12.12.2022.