

*Р. С. Яковчук<sup>1</sup>, А. Д. Кузик<sup>1</sup>, О. С. Ємельяненко<sup>1</sup>, Т. М. Скоробагатько<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

*<sup>2</sup>Український науково-дослідний інститут цивільного захисту*

## МЕХАНІЗМ ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖІ ПОВЕРХНЕЮ КОНСТРУКЦІЙ ЗОВНІШНІХ СТІН ІЗ ФАСАДНОЮ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЄЮ З ГОРЮЧИМ УТЕПЛЮВАЧЕМ ТА ОПОРЯДЖЕННЯМ ШТУКАТУРКОЮ

Обґрунтовано застосування конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою, яке є поширеним та популярним у нашій державі та за кордоном, а також проблеми, пов'язані з їх пожежною небезпекою. Проаналізовано роботи вітчизняних та закордонних дослідників, які займалися проблемами пожежної безпеки фасадних систем.

Виконано класифікацію збірних систем фасадної теплоізоляції залежно від конструктивного рішення, а також за основними ознаками відповідно до: виду застосовуваного теплоізоляційного матеріалу; способу кріплення теплоізоляційного шару; складу базового штукатурного шару; виду оздоблювально-захисного шару. Представлено будову збірних систем з комплектами ізоляції із опорядженням легкою, товстошаровою штукатуркою або дрібноштучними виробами.

Проаналізовано та розкрито особливості процесів, які відбуваються під час горіння теплоізоляційно-оздоблювальної системи зовнішніх стін житлових будинків. Наведено типові сценарії розповсюдження вогню поверхнею конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з горючим утеплювачем та опорядженням штукатуркою. Описано механізм поширення вогню через віконний отвір поверхнею фасадної теплоізоляції на основі пінополістиролу.

Зроблено висновки про те, що застосування конструкцій зовнішніх стін житлових будинків із фасадною теплоізоляцією з горючим утеплювачем та опорядженням штукатуркою значно підвищує їх рівень пожежної небезпеки. Ця небезпека буде залежати як від властивостей окремих матеріалів (зокрема утеплювача), так і від конструктивних особливостей всієї теплоізоляційної системи та будівлі в цілому. Для штукатурних систем теплоізоляції фасадів велику загрозу становить швидке поширення пожежі на вище та нижче розташовані поверхні будівлі. Найчастішими причинами пожежі систем теплоізоляції зовнішніх стін є перекидання вогню з віконного отвору будівлі в результаті інтенсивної пожежі всередині приміщення.

**Ключові слова:** пінополістирол, теплоізоляція, система фасадної теплоізоляції, конструкція із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою, зовнішня пожежа, поширення полум'я по фасаді.

**Вступ.** Сучасні вимоги до показників енергоефективності будівель та теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій передбачають застосування інноваційних технологій під час їх проектування та будівництва, а також використання ефективних теплоізоляційних матеріалів. Держава на законодавчому рівні регулює питання щодо підвищення енергетичної ефективності будівель та стимулює збільшення попиту населення на термомодернізацію будівель – комплексу робіт, які спрямовані на підвищення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будівель, показників споживання енергетичних ресурсів інженерними системами та забезпечення енергетичної ефективності будівель на рівні, не нижчому ніж встановлено мінімальними вимогами, та здійснюються під час реконструкції, капітального чи поточного ремонту будівель [1].

18 грудня 2018 року Кабінетом Міністрів України було затверджено оновлений Перелік будівельних робіт, що не потребують документів на їх виконання, та після закінчення яких об'єкт не підлягає прийняттю в експлуатацію. Зокрема, тепер для виконання будівельних робіт з комплексної теплоізоляції введених в експлуатацію житлових будинків не потрібно отримувати дозвільні документи в Державній архітектурно-будівельній інспекції України. Ці зміни будуть стосуватися індивідуальних житлових, які належать до об'єктів із незначними (СС1) наслідками та багатоквартирного житла висотою до 100 м – об'єктів із середніми (СС2) наслідками. Крім цього, 1 грудня 2018 року вступили в дію оновлені державні будівельні норми щодо теплоізоляції фасадів [2], які передбачають впровадження європейських вимог до енергомодернізації фасадів.

**Постановка проблеми.** Застосування конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою є досить поширеним та популярним не лише в нашій державі, роботи з утеплення можна виконувати як під час нового будівництва, так і під час реконструкції або капітального ремонту вже існуючих будівель. Для влаштування зовнішніх теплоізоляційно-оздоблювальних систем фасадів використовують дві основні технології: 1 – фасадна теплоізоляційна композиційна система зовнішніх стін із теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою (штукатурна система теплоізоляції); 2 – навісна система теплоізоляції із повітряним прошарком (вентильовані фасади). Під час виконання робіт із утеплення зовнішніх стін необхідно забезпечити виконання вимог [2] при проектуванні та застосуванні конструкцій із фасадною теплоізоляцією, а також дотримуватися загальних правил влаштування конструкцій та експлуатації будинків із системами фасадної теплоізоляції зовнішніх стін.

Як показує практика, досить часто виконавці робіт не дотримуються або нехтують вище зазначеними правилами та вимогами, можуть використовувати теплоізоляційні матеріали, які не мають необхідної технічної документації або не сертифіковані в Україні [3]. Тому нерідко трапляються випадки займання конструкцій фасадних систем теплоізоляції через недотримання правил пожежної безпеки під час їх монтажу, а також в процесі експлуатації готової фасадної системи. Приклади пожеж з поширенням вогню по фасадних системах будівель вказують на їх особливу небезпеку [4].

Отже, значної актуальності набувають проблеми забезпечення пожежної безпеки конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою, а також аналіз та розкриття особливостей процесів, які відбуваються під час пожежі конструкцій зовнішніх стін житлових будинків із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Застосування фасадних систем теплоізоляції покращує теплотехнічні показники огорожувальних конструкцій будівель, забезпечує їх енергетичну ефективність, сприяє вдосконаленню архітектурного вигляду будівель і споруд, проте підвищує пожежну небезпеку таких об'єктів. Дослідженням проблем пожежної безпеки фасадних систем, зокрема і навісних вентильованих, займалися багато дослідників як вітчизняних, так і закордонних. В Україні проблемами пожежної безпеки систем фасадної теплоізоляції, а також горючості полімерних матеріалів, які використовують для утеплення фасадів житлових будинків, займалися С. В. Новак, А. В. Довбиш, Т. М. Скоробогатько, Р. В. Климась, Я. І. Хом'як, В. Г. Дагіль, Л. М. Нефедченко,

О. П. Якименко, В. І. Згуря, І. С. Пресняк, І. О. Харченко, О. В. Третьякова та інші.

У роботі [5] Новак С. В., Нефедченко Л. Н. та Коваленко В. В. виконали дослідження пожежної небезпеки зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Автори вважають, що нормативні вимоги до систем фасадної теплоізоляції та методи визначення пожежонебезпечних властивостей таких систем, які діють в Україні, не повністю забезпечують пожежну безпеку будівель в процесі експлуатації. Наголошується на необхідності удосконалення вимог та методів випробувань згідно з вимогами Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд.

В публікаціях [6-17] аргументовано підкреслюється невирішеність проблем забезпечення пожежної безпеки таких будівель, відставання протипожежних норм від сучасних архітектурних і конструктивних рішень.

У роботі [6] Лобаев І. А., Базилевич А. Я. та Андреев А. О. обґрунтовують необхідність влаштування протипожежних розривів для додержання вимог пожежної безпеки, а також для запобігання поширенню продуктів горіння під час пожежі утепленого горючими теплоізоляційними матеріалами фасаду будинку.

В роботі [7] G. Jensen розглядає європейські та американські стандарти випробувань навісних вентильованих фасадів на поширення вогню, а також порівнює перфоровані та суцільні протипожежні перешкоди на основі європейського стандарту випробування ASTM E2912-17 [8].

В роботах [9-11] автори розглядають основні проблеми, які виникають під час влаштування систем навісних вентильованих фасадів, однією з яких є проблема пожежної безпеки таких систем та використання горючих оздоблювальних матеріалів в їх конструкціях.

У роботі [12] Мешалкін Е. А. проаналізував публікації, пов'язані з пожежною небезпекою фасадних систем. Було розглянуто основні елементи сучасних навісних фасадних систем та наведено основні заходи із забезпечення пожежної безпеки цих систем.

У роботах [13, 14] обґрунтовуються не вирішені проблеми забезпечення пожежної безпеки фасадних систем, а також невідповідність протипожежних норм сучасним архітектурним та конструктивним рішенням.

В роботі [15] отримано результати моделювання поширення полум'я поверхнею теплоізоляційних матеріалів, таких як екструдований пінополістирол (XPS) та поліуретан. Було зафіксовано швидкість тепловиділення для аналізу інтенсивності горіння, де висота полум'я записувалася як функція тепловиділення. Досліджено

співвідношення між висотою полум'я та загальним тепловим потоком.

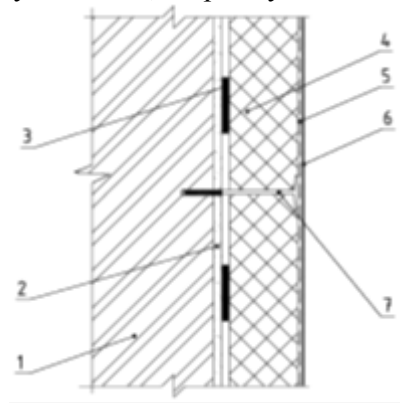
В роботі [16] Kumm M., Söderström J. та A. Löpnermark аналізують проблеми, які можуть виникати у пожежно-рятувальних служб під час гасіння пожеж фасадів будинків, утеплення яких виконано зі спіненого пінополістиролу (EPS). Автори досліджують характеристики EPS та результати вогневих випробувань, які були проведені на полігоні пожежно-рятувальних служб. Представлено загрози, які можуть вплинути або повністю обмежити безпечну евакуацію людей під час пожежі фасаду будинку.

В роботі [17] Zhang G., Zhu G. та Zhao G. зробили спробу відтворити сценарій зовнішньої пожежі систем теплоізоляції фасаду та запропонували метод кількісної оцінки ризику виникнення пожеж в теплоізоляційно-оздоблювальній системі, використовуючи програмне забезпечення Fire Dynamics Simulator (FDS). Також експериментально дослідили характеристики піролізу та горіння зразків екструдованого полістиролу (XPS), такі як температура займання, теплота згоряння, граничний кисневий індекс, термогравіметричний аналіз та аналіз теплового випромінювання.

**Виклад основного матеріалу.** Конструкцією зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією є система, яка включає в себе несучу частину стіни та комплект теплової ізоляції, призначеної для забезпечення нормативних значень теплотехнічних показників стінових конструкцій, захисту будівель і споруд від впливу зовнішнього середовища, забезпечення нормативного мікроклімату будівель і споруд та надання фасадам будівель і споруд привабливого естетичного вигляду [2]. Фасадна теплоізоляційна система працює як єдиний комплекс, в якому кожен шар виконує свої специфічні функції.

Залежно від конструктивного рішення використовують такі збірні системи з опорядженням (рис. 1):

Збірні системи з комплектами ізоляції із опорядженням легкою або товстошаровою штукатуркою, або дрібноштучними виробами виконуються з тепловою ізоляцією, що закріплюється на несучій частині стіни, з нанесенням опоряджувального шару на поверхню шару теплової ізоляції. Комплект складається з клейових матеріалів, теплоізоляційного матеріалу, механічних засобів кріплення теплової ізоляції, армуючої сітки, опоряджувального покриття.



**Рисунок 2** – Конструктивна схема збірної системи з опорядженням легкими тонкошаровими штукатурками [2]:

- 1 – несуча частина стіни; 2 – вирівнювальний штукатурний шар; 3 – клейовий шар; 4 – шар теплової ізоляції; 5 – захисний шар, армований склосіткою; 6 – опоряджувальне покриття; 7 – елемент механічного кріплення утеплювача

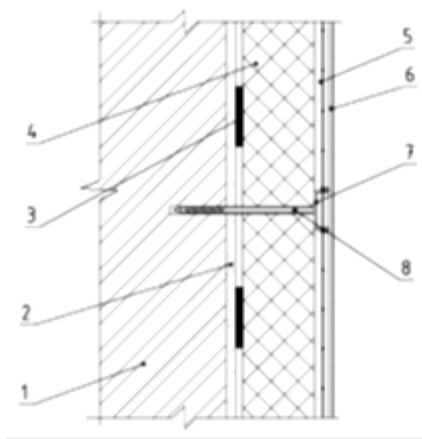
Збірні системи з комплектами ізоляції із опорядженням індустріальними елементами виконуються з тепловою ізоляцією, що кріпиться на несучу частину стіни з улаштуванням вентиляційного повітряного прошарку між її зовнішньою поверхнею та опоряджувальним шаром. Комплект складається з теплової ізоляції, повітрязахисного шару, опоряджувальних індустріальних елементів; кріпильного каркаса, до складу якого входять несучі та з'єднуючі елементи, кронштейни, напрямні вироби; елементів кріплення тепло- і повітро-



**Рисунок 1** – Класифікація збірних систем фасадної теплоізоляції залежно від конструктивного рішення

Конструктивні схеми збірних систем фасадної теплоізоляції відповідно до конструктивних рішень (підкласів) наведено на рис. 2-3.

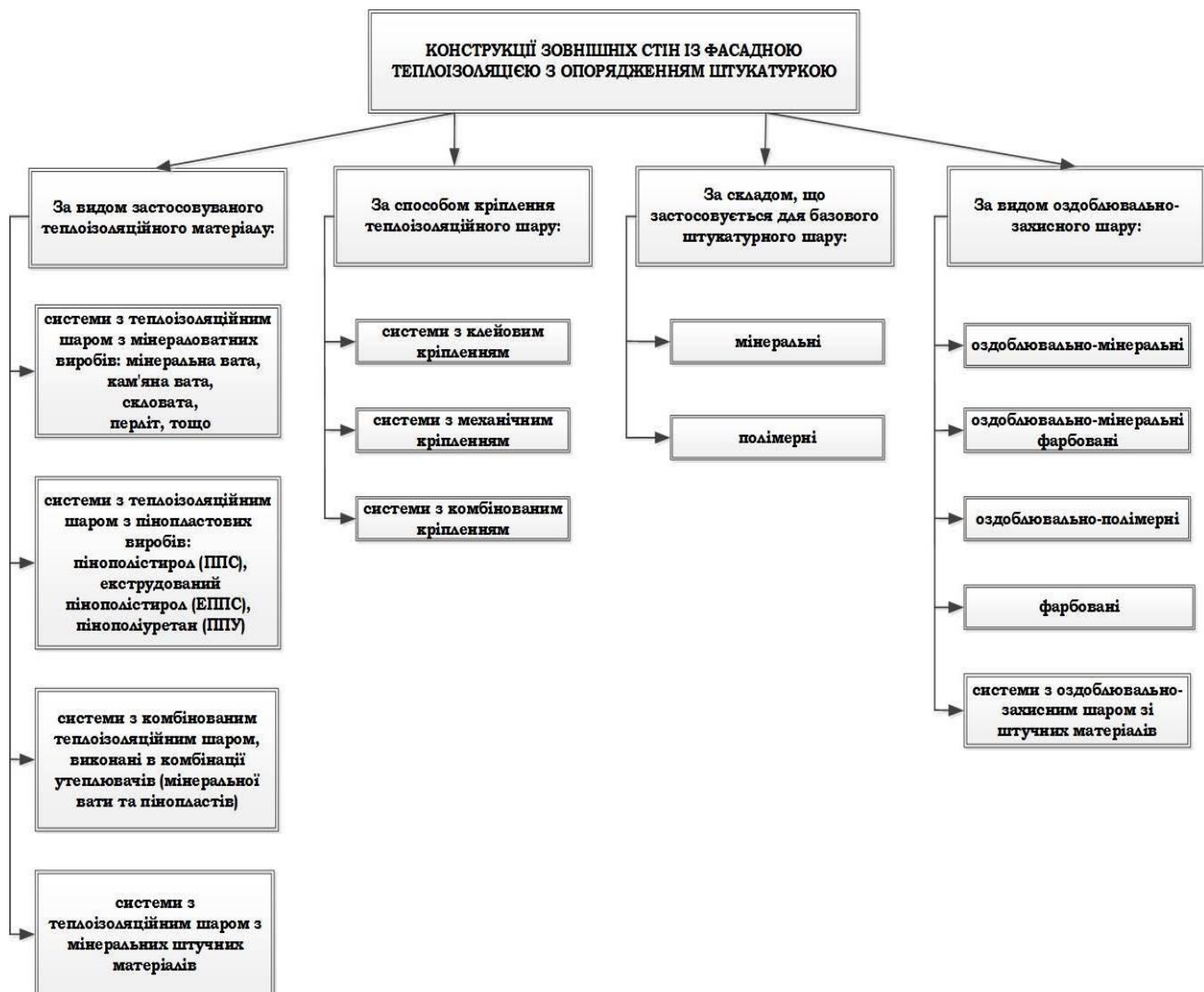
захисних шарів; елементів примикання до будівельних конструкцій будівлі або споруди.



**Рисунок 3** – Конструктивна схема збірної системи з опорядженням товстшаровими штукатурками [2]: 1 – несуча частина стіни; 2 – вирівнювальний штукатурний шар; 3 – клейовий шар; 4 – шар теплової ізоляції; 5 – захисний шар, армований металевою сіткою; 6 – опоряджувальне покриття; 7 – фіксатор металевої сітки; 8 – елемент механічного кріплення утеплювача

Збірні системи з комплектами ізоляції із опорядженням світлопрозорими елементами виконуються з тепловою ізоляцією, що може бути прикріпленою або самонесучою в межах поверху (ярусу), яка встановлюється з повітряним прошарком між її зовнішньою поверхнею та захисним світлопрозорим шаром. Комплект складається із світлопрозорих елементів; несучого каркаса, до складу якого входять стояки, ригелі, елементи кріплення; непрозорих з боку прищеплення елементів із тепловою ізоляцією.

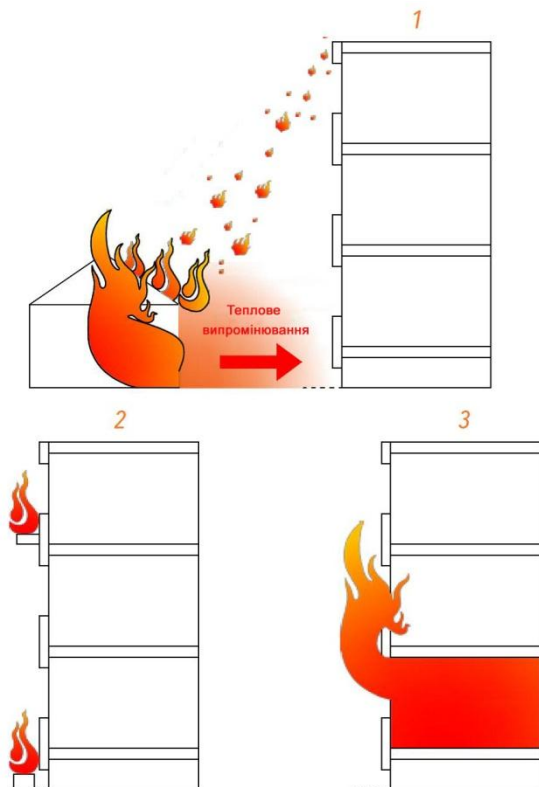
Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою класифікуються за основними ознаками відповідно до: виду застосовуваного теплоізоляційного матеріалу; способу кріплення теплоізоляційного шару; складу базового штукатурного шару; виду оздоблювально-захисного шару (рис. 4).



**Рисунок 4** – Класифікація конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою

Для оцінювання пожежної небезпеки конкретної штукатурної фасадної теплоізоляційної системи необхідно знати пожежно-технічні характеристики горючого матеріалу утеплювача (температура термічного розкладу, температура займання, швидкість поширення вогню по поверхні, температура самозаймання, температура плавлення тощо), що застосовується в цій конструкції. Ці параметри, головним чином, визначають теплотворну здатність одиниці маси застосованого матеріалу утеплювача, інтенсивність його тепловідділення, а отже пожежну небезпеку цього виду теплоізоляційного матеріалу. Крім цього, важливе значення має аналіз та розкриття особливостей процесів, які відбуваються під час горіння теплоізоляційно-оздоблювальної системи зовнішніх стін житлових будинків.

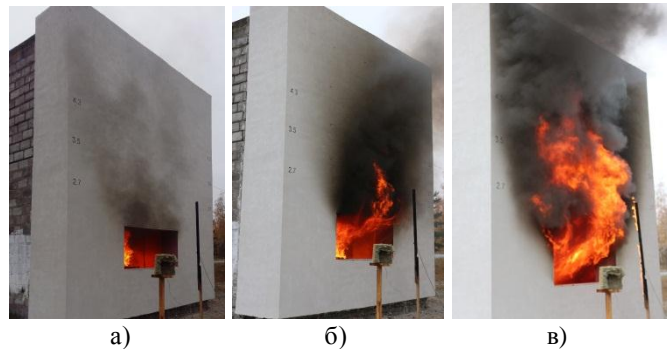
Існують три типові сценарії (рис. 5) розповсюдження вогню поверхню конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою:



**Рисунок 5** – Типові сценарії розповсюдження пожежі поверхню теплоізоляційно-оздоблювальної системи [18]:

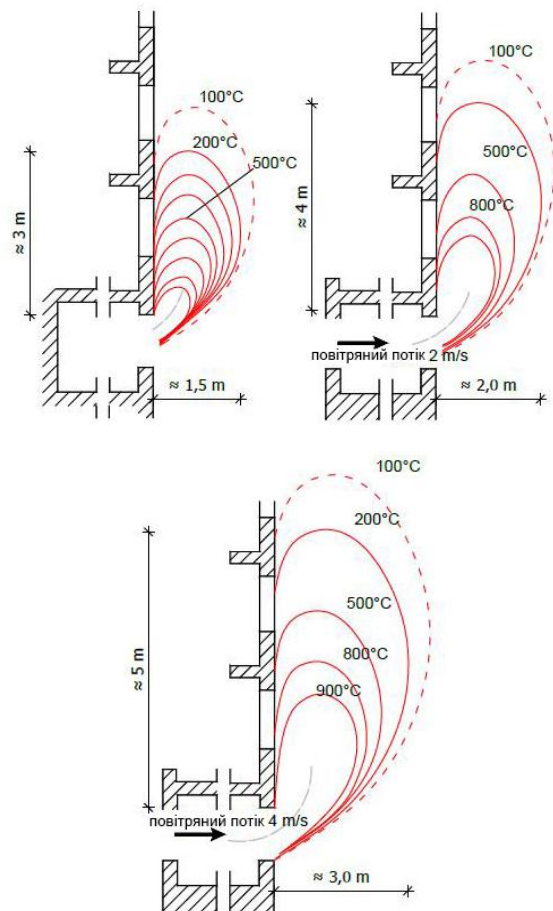
1 – в результаті теплового випромінювання на суміжну будівлю (буде залежати від декількох факторів: розміри і форма джерела випромінювання, потужність джерела випромінювання та властивості поверхні, яка сприймає випромінювання, відстань між будівлями тощо); 2 – перекиданням вогню з джерела пожежі, що знаходиться поблизу фасаду через пряму дію полум'я (пожежа сміття на балконі, пожежа припаркованих автомобілів в безпосередній близькості до будинку та ін.); 3 – перекиданням вогню з віконного отвору будівлі на верхні поверхи в результаті інтенсивної пожежі в приміщенні.

Найчастішими причинами займання систем теплоізоляції зовнішніх стін є перекидання вогню з віконного прорізу будівлі в результаті інтенсивної пожежі всередині приміщення. В таких умовах конвективні потоки тепла здатні запалити горюче облицювання зовнішніх стін. Після руйнування скла полум'я, яке буде виходити з віконного отвору, може сягати висоти до 5 м (рис. 6).



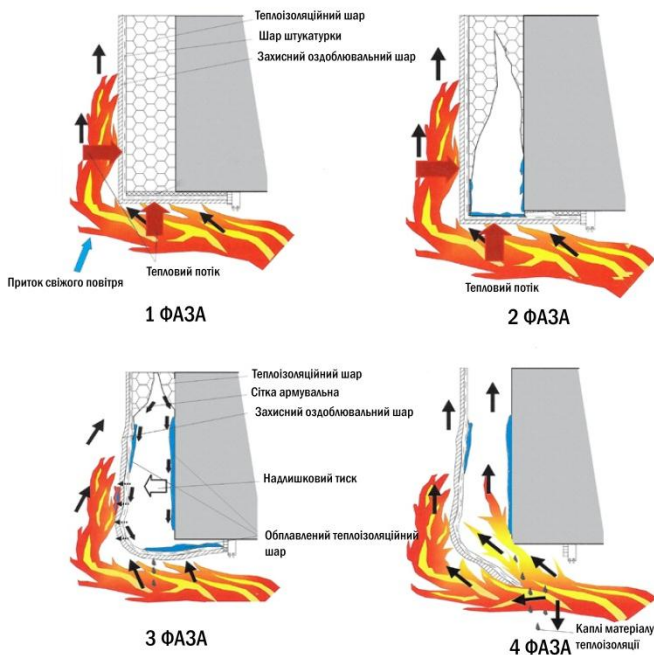
**Рисунок 6** – Висота полум'я, яке виходить з віконного отвору під час внутрішньої пожежі, на моменти часу від початку пожежі: а – 1 хв; б – 10 хв; в – 25 хв

На висоту полум'я буде впливати швидкість повітряного потоку (протягу), який може утворитися в результаті руйнування віконного скла (рис. 7).



**Рисунок 7** – Залежність висоти та температури полум'я від швидкості повітряного потоку [19]

Подальше розповсюдження пожежі поверхнею теплоізоляційно-оздоблювальної системи буде залежати від конструктивних особливостей самої фасадної системи та виду горючого теплоізоляційного матеріалу. Крім цього, важливий вплив на поширення вогню будуть мати наявні порожнини на поверхні фасадної системи (можуть виникати в результаті руйнування оздоблювально-захисного шару під час пожежі).



**Рисунок 8** – Механізм поширення вогню через віконний отвір поверхню фасадної теплоізоляції на основі пінополістиролу [20]

При потраплянні полум'я у таку порожнину можливе швидке вертикальне поширення пожежі «приховано» під оздоблювально-захисним шаром фасадної системи (рис. 8). Наявність на фасаді будівлі отворів (вікна, двері) створить умови для збільшення площі пожежі шляхом додаткового поширення вогню всередину будівлі відповідно до описаного вище механізму (рис. 5).

У *першій фазі* в результаті поширення вогню через віконний отвір висока температура буде діяти на поверхню теплоізоляційно-оздоблювальної системи фасаду. Після досягнення критичної температури горючий утеплювач (пінополістирол) почне плавитися, а всередині збірної системи теплоізоляції утвориться порожнина. Також можливе часткове руйнування оздоблювально-захисного шару (*друга фаза*). У *третьій фазі* в утвореній порожнині почне створюватися надлишковий тиск газами від піролізу утеплювача. Гази частково почнуть виходити назовні проникаючи в шар штукатурки, продовжиться руйнування оздоблювально-захисного шару з утворенням та поширенням тріщин його поверхнею. Під вагою розплавленого утеплювача відбудеться розкриття та руйнування

теплоізоляційно-оздоблювальної системи, а розплавлений теплоізоляційний матеріал почне стікати. Через це можуть утворюватися нові осередки пожежі на нижче розташованих поверхнях. У *четвертій фазі* відбудеться повний термічний розклад горючого утеплювача, полум'я продовжить поширюватися зовні поверхнею фасаду, а також всередині теплоізоляційної системи, що призведе до її повного руйнування.

Проведений аналіз наводить на такі **висновки**:

1. Застосування конструкцій зовнішніх стін житлових будинків із фасадною теплоізоляцією з горючим утеплювачем та опорядженням штукатуркою значно підвищує їх рівень пожежної небезпеки. Ця небезпека буде залежати як від властивостей окремих матеріалів (утеплювача, опоряджувального шару), так і від конструктивних особливостей всієї теплоізоляційної системи та будівлі вцілому.

2. Для штукатурних систем теплоізоляції фасадів велику загрозу становить швидке поширення пожежі на вище та нижче розташовані поверхні будівлі, тому протипожежні заходи повинні бути спрямовані на обмеження розповсюдження вогню, запобігання обвалення горючих уламків конструкцій фасаду та створення умов для швидкої та безпечної евакуації людей з палаючої будівлі до прибуття пожежно-рятувальних підрозділів. Запозважені на сьогодні вимоги пожежної безпеки не дають змогу в повному обсязі забезпечити безпеку фасадних систем.

3. Найчастішими причинами займання систем теплоізоляції зовнішніх стін є перекидання вогню з віконного отвору будівлі в результаті інтенсивної пожежі всередині приміщення. В таких умовах конвективні потоки тепла здатні зайняти горюче облицювання зовнішніх стін. Після руйнування скла полум'я, яке буде виходити з віконного отвору, може сягати висоти понад 5 м.

4. Здатність системи поширювати вогонь по фасаду оцінюють за результатами натурних вогневих випробувань. Такі випробування проводять згідно з Методикою [21], розробленою УкрНДІЦЗ у 1999 році на основі стандарту США U.B.S. Standards №17-6 [22]. Враховуючи те, що підходи до випробувань та оцінювання результатів за цією методикою мають певні недоліки, актуальним є питання розроблення національного стандарту, в якому буде наведено оновлений науково-обґрунтований метод натурних вогневих випробувань на поширення вогню збірних систем фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками і наявністю в їх складі горючих матеріалів.

### Список літератури:

1. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. *Відомості Верховної Ради (ВВР)*. 2017. № 33. Ст. 359.

2. ДБН В.2.6-33:2018. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування. Вид. офіц. Київ: Державне підприємство «Укрархбудінформ». 2018. 22 с.

3. Кузиляк В.Й., Яковчук Р.С., Веселівський Р.Б. Пожежна небезпека використання пінопоістиролу як теплоізоляційного матеріалу у будівництві. Пожежна безпека: Зб. наук. праць. 2016. (№27). С. 81-87.

4. Теплоізоляційно-оздоблювальні системи фасадів будинків як фактор підвищеної пожежної небезпеки/ Р.С. Яковчук, А.Д. Кузик, О.В. Міллер, А.С. Лин. Пожежна безпека: Зб. наук. праць. 2018. (№ 32). С. 80-89.

5. Новак С.В., Нефедченко Л.Н., Коваленко В.В. Нормативное обеспечение определения пожарной опасности внешних стен с фасадной теплоизоляцией. *Науковий вісник УкрНДІПБ*. 2013. № 2 (28). С. 39-45.

6. Лобаев И.А., Базилевич А.Я., Андреев А.О. Выполнение противопожарных мероприятий в соответствии с законодательством о техническом регулировании. Материалы двенадцатой научно-технической конференции «Системы безопасности» СБ. 2003. С. 247 - 249.

7. Jensen, G. Fire spread modes and performance of fire stops in vented façade constructions – overview and standardization of test methods, MATEC Web of Conferences, 9, 02002, 1st International Seminar for Fire Safety of Facades. Paris, France, November 14–15, 2013.

8. ASTM E2912-17 Standard Test Method for Fire Test of Non-Mechanical Fire Dampers Used in Vented Construction, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, doi: 10.1520/E2912-17.

9. Suárez, M., Sanjuanb, C., Gutiérrez, A., Pistonoa, J., Blancoa, E. (2012). Energy evaluation of an horizontal open joint ventilated façade. *Applied Thermal Engineering*, Volume 37, 302-313.

10. Хасанов И.Р. Тепловые воздействия на наружные конструкция при пожаре. Пожарная безопасность. 2013. С. 16-26.

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

12. Мешалкин Е.А. Пожарная безопасность навесных вентилируемых фасадов. Пожарная безопасность в строительстве. 2011. (№3). С. 40-47.

13. Пожарная опасность навесных фасадных систем / И.Р. Хасанов, И.С. Молчадский, К.Н. Гольцов, А.В. Пестрицкий. Пожарная безопасность. 2006. (№ 5). С. 36-47.

14. Мешалкин Е.А., Барапейчук В.Г. Пожарная безопасность фасадных систем. 2006. № 5(51). С. 90-93.

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

16. Kumm, M., Söderström, J. and A. Lönnemark. (2013). EPS insulated façade fires from a fire and rescue perspective, 1st International Seminar for Fire Safety of Facades, Paris (France).

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

18. M. J. Rukavina, M. Carević, I. Banjad. (2017). Pečur aštita pročelja zgrada od požara

19. K. Kordina, C. Meyer-Ottens, *Holz Brandschutz Handbuch*. (1995). Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. (Hrsg.): Ernst & Sohn Verlag.

20. J. Mayr, L. Battran. (2014). *Handbuch Brandschutzatlas Grundlagen – Planung – Ausführung FeuerTrutz*.

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

22. Method of test for the evaluation of flammability characteristics of exterior, nonload-bearing wall panel assemblies using foam plastic insulation.

### References:

1. Pro enerhetychnu efektyvnist budivel: Zakon Ukrainy vid 22.06.2017 № 2118-VIII. *Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR)*. 2017. № 33. st. 359.

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

3. Kuzyljak, V., Yakovchuk, R., & Veselivskyi, R. (2016). Fire risk of thermal insulation materials using in building industry. *Fire Safety*, 28, 81-87 (in Ukr.)

4. 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), 80-89 (in Ukr.)

5. Novak, S. (2013). Regulatory support for determining the fire hazard of external walls with facade insulation. *Scientific bulletin: Civil protection and fire safety* № 2 (28), 39-45 (in Rus.)

6. Lobaev, I., Bazilevich, A., Andreev, A. (2003). Execution of fire prevention measures in accordance with the legislation on technical regulation. *Materials of the twelfth scientific and technical conference "Security Systems"*, 247 - 249.

7. Jensen, G. Fire spread modes and performance of fire stops in vented façade constructions – overview and standardization of test methods, MATEC Web of Conferences, 9, 02002, 1st International Seminar for Fire Safety of Facades. Paris, France, November 14–15, 2013.
8. ASTM E2912-17 Standard Test Method for Fire Test of Non-Mechanical Fire Dampers Used in Vented Construction, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, doi: 10.1520/E2912-17.
9. Suáreza, M., Sanjuanb, C., Gutiérreza, A., Pistonoa, J., Blancoa, E. (2012). Energy evaluation of an horizontal open joint ventilated façade// Applied Thermal Engineering, Volume 37, 302-313.
10. Khasanov, Y. (2013). Thermal effects on external structures in case of fire. Fire Safety, № 4, 16-26 (in Rus.).
11. Koziół, S., Zbrowski, A. (2012). The method for increasing the safety of the buildings by application of heat recuperation in the fighting ventilation systems. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, T. 27, 39-45.
12. Meshalkin, E. (2011). Fire safety of hinged ventilated facades, Fire Safety, №3, 40-47 (in Rus.).
13. Khasanov I., Molchadsky I., Goltsov K. and Pestriksky A. (2006). Fire hazard of mounted facade systems. Fire Safety, № 5, 36-47 (in Rus.).
14. Meshalkin, E., Barapebychuk, V. (2006). Fire safety of facade systems. Stroyprofil, № 5(51), 90-93 (in Rus.).
15. Yanan Hou, Xudong Cheng, Shenyong Liu, Changcheng Liu, Heping Zhang. (2015). Experimental Study on upward Flame Spread of Exterior Wall Thermal Insulation Materials, Energy Procedia, Volume 66, 161-164, ISSN 1876-6102.
16. Kumm, M., Söderström, J. and A. Lönnemark. (2013). EPS insulated façade fires from a fire and rescue perspective, 1st International Seminar for Fire Safety of Facades, Paris (France).
17. Zhang, G., Zhu, G., Zhao, G. (2016). Analysis of the Influence of Construction Insulation Systems on Public Safety in China. Int. J. Environ. Res. Public Health, 13, 861.
18. M. J. Rukavina, M. Carević, I. Banjad. (2017). Pečur aštita pročelja zgrada od požara
19. K. Kordina, C. Meyer-Ottens, Holz Brandschutz Handbuch. (1995). Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. (Hrsg.): Ernst & Sohn Verlag.
20. J. Mayr, L. Battran. (2014). Handbuch Brandschutzatlas Grundlagen – Planung – Ausführung FeuerTrutz.
21. Procedure of fire tests of heat insulating and finishing facade systems for the external walls of buildings and constructions for fire spread, developed by UkrFSRI of the MOE of Ukraine, 2010.
22. Method of test for the evaluation of flammability characteristics of exterior, nonload-bearing wall panel assemblies using foam plastic insulation.

*R. Yakovchuk, A. Kuzyk, S. Yemelyanenko, T. Skorobagatko*

## **FIRE SPREAD MECHANISM ON SURFACE OF CONSTRUCTION FIT WITH FAÇADE HEAT INSULATION BASED ON COMBUSTIBLE INSULANT AND FINISHED WITH PLASTER**

The article is dedicated to the use of structures of external walls with facade insulation with plaster, which is widespread and popular in our country and abroad, as well as the problems associated with their fire hazard. The work of domestic and foreign researchers dealing with fire safety issues of facade systems has been analyzed.

Classification of prefabricated systems of facade insulation is performed depending on the design decision, as well as on the main features in accordance with: the type of applied insulation material; a method of fastening a heat-insulating layer; composition of the base plaster layer; kind of decorative protective layer. The structure of prefabricated systems with complete sets of insulation with prefabrication of light, thick-layer plaster or fine-ware products is represented.

The peculiarities of the processes that occur during combustion of the thermal insulation and finishing system of the outer walls of residential buildings are analyzed and revealed. Typical scenarios of fire spreading are presented with a surface of the design of external walls with a facade heat insulation with a fuel heater and a stucco coating. The mechanism of propagation of fire through a window opening by a surface of a facade heat insulation on the basis of foam polystyrene is described.

The conclusion is made that the use of structures of exterior walls of residential buildings with facade insulation with combustible insulant and stucco coating significantly increases their level of fire hazard. This danger will depend on both the properties of individual materials (including insulant), as well as on the design features of the entire thermal insulation system and the building as a whole. For plaster systems, the thermal insulation of facades is a major threat to the rapid spread of fires on the floors above and below the building. The most common causes of thermal insulation fires is the transfer of fire from the windows during intense fire inside the rooms.

**Key words:** expanded polystyrene, heat insulation, façade heat insulating system, construction fit with façade heat insulation and finished with plaster, external fire, fire spread across façade.

\*Науково-методична стаття