

## ВІДГУК ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора **ОТРОША Юрія Анатолійовича**  
на докторську дисертацію **БАЛЛО Ярослава В'ячеславовича**  
**«Розвиток наукових основ запобігання поширення пожежі зовнішніми**  
**огороджувальними конструкціями будівель»**, підготовлену на здобуття  
наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю  
21.06.02 – пожежна безпека (261 – пожежна безпека)

### Ступінь актуальності обраної теми.

Існуючі методи оцінювання обмеження поширення пожежі ззовні огороджувальних конструкцій будівель, що на сьогоднішній день застосовуються в країнах Європи, Азії, США не мають єдиних підходів щодо методології та критеріїв, які визначають досягнення умов обмеження поширення пожежі по фасадам будівель. Впроваджені методики та випробувальні стенди відрізняються, як за геометричними параметрами, так і за конструктивним виконанням. Це значно впливає на якість результатів проведеного оцінювання пожежної безпеки фасадних систем. При цьому, слід відзначити, що на сьогоднішній день не досліджувався вплив конструктивних параметрів зовнішніх огороджувальних конструкцій та протипожежних карнизів на ефективність забезпечення запобігання поширення пожежі по фасадам будинків та споруд.

Разом із тим, запобігання поширення пожежі по зовнішнім огороджувальним конструкціям є однією із основних вимог та показників безпеки будівель і споруд, пов'язаних із їхніми суттєвими експлуатаційними характеристиками. Це в свою чергу впливає на забезпечення вимог по обмеженню поширення вогню на сусідні будівлі і споруди та поширення вогню і диму в середині об'єкту.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується також її виконанням в рамках програми робіт з національної стандартизації на 2021 рік затвердженої наказом ДП «УкрНДНЦ» від 18 березня 2021 року № 91; Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом; Стратегії розвитку системи технічного регулювання на період до 2025 року, затвердженої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17.11.2020 №443; замовленнями Департаменту запобігання надзвичайним ситуаціям ДСНС України на науково-дослідні роботи, які виконано в УкрНДНЦ та ІДУ НД ЦЗ за участю здобувача, а саме: «Провести дослідження та встановити загальні положення системи управління пожежною безпекою об'єкта»

Л Д У Б Ж Д	
Вх. №	112
	08.08. 2024р.
КІЛЬКІСТЬ АРКУШІВ:	
ОСН.ДОК.	10 ДОДАТ.

(ДР №0118U003463), «Обґрунтування вимог щодо оцінки стану пожежної безпеки об'єкта захисту» (ДР № 0119U102482), «Наукове обґрунтування вимог пожежної безпеки для громадських будинків з умовною висотою від 100 до 150 м» (ДР № 0120U101693), «Обґрунтування параметрів прогнозування можливості запобігання поширення пожежі зовнішніми огорожувальними конструкціями будівель» (ДР № 0122U200790).

**Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у докторській дисертації.**

Наукові положення, новизна отриманих результатів та висновки, які наведені в дисертаційній роботі, достовірні та науково обґрунтовані, що підтверджується значним обсягом експериментальних матеріалів, які було отримано з використанням сучасних методів дослідження, стандартизованих методик та національних стандартів. Представлені результати, а також нові експериментальний та розрахунково-табличний методи прогнозування поширення пожежі зовнішніми огорожувальними конструкціями будівель не мають ознак академічного плагіату та узгоджуються з відомими роботами іноземних та вітчизняних вчених.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

У дисертації одержані нові науково обґрунтовані результати, які дозволили вирішити актуальну науково-прикладну задачу у сфері пожежної безпеки, яка полягає у розкритті закономірностей впливу конструктивних параметрів зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель на зміну температур на їх поверхні під час пожежі, як підґрунтя для запобігання поширення пожежі ззовні будівлі, яка виконана із негорючим облицюванням.

При цьому, вперше:

– науково обґрунтовано та розроблено нову методику комплексного оцінювання поширення пожежі зовнішніми огорожувальними конструкціями будівель з негорючим облицюванням, яка дозволяє відтворювати реальні конструктивні параметри фрагменту фасаду та найбільш несприятливі умови поширення пожежі без застосування адаптації фасадних систем та будівельних матеріалів їх облицювання до існуючих стандартизованих випробувальних установок та фрагментів будинків для проведення імітаційних випробувань;

– на основі дослідження наслідків реальних пожеж та аналізу сучасних технологій будівництва фасадних систем обґрунтовано критерії, що характеризують умови поширення пожежі у будівлі з негорючим облицюванням, які відповідають величині тривалості температурного впливу

на них не менше 30 хвилин та руйнуванню заповнення світлових прорізів фасадних конструкцій при досягненні значення температури вище 250°C;

– розрахунковим методом доведено та експериментально підтверджено, що під час 30 хвилинного впливу вогнища пожежі класу В з питомою пожежною навантагою до 2300 МДж/м<sup>2</sup> значення температури на поверхні зовнішньої огорожувальної конструкції від впливу факелу пожежі може змінюватися:

– лінійно з 210 °С до 600 °С для фасаду будівлі, який знаходиться під кутами нахилу відносно вертикалі від -20° до +20° відповідно;

– лінійно з 440 °С до 90 °С при застосуванні протипожежного карнизу шириною від 0,3 м до 1,5 м;

– зменшуватися до 1,6 разів при застосуванні протипожежних карнизів обладнаних дренажною системою із мінімальною інтенсивністю зрошення водою 0,083 л/с·м<sup>2</sup>.

– методами комп'ютерного моделювання виявлено закономірність, яка полягає в тому, що протипожежний карниз влаштований на зовнішній огорожувальній конструкції дозволяє знизити значення площі розподілів критичної температури на поверхні фасаду вище розташованого поверху на 8–15% для кожного кроку збільшення в 0,1 м ширини протипожежного карнизу від 0,3 м до 1,5 м.

*Удосконалено:*

– методи оцінки запобігання поширення пожежі зовнішніми огорожувальними конструкціями, а саме метод натурних випробувань, який дозволяє враховувати реальні конструктивні параметри фасаду будівлі та спрощений метод розрахунку температури полум'я вздовж висоти фасаду, які спільно з обґрунтованими критеріями, що характеризують умови поширення пожежі по фасаді, дозволяють визначити умови запобігання поширення пожежі зовнішніми огорожувальними конструкціями будівель з негорючим облицюванням;

– науково-методичну та експериментальну базу дослідження процесів обмеження поширення пожежі по зовнішніх огорожувальних конструкціях будівель, відмінною рисою якої є врахування реальних конструктивних параметрів фасаду будівлі.

*Набули подальшого розвитку:*

– підходи до підвищення достовірності прогнозування поширення пожежі зовнішніми огорожувальними конструкціями будівель, або її обмеження фасадними протипожежними перешкодами;

– експериментально-розрахункові принципи забезпечення точності оцінювання динаміки зміни температур та характеру температурних розподілів від пожежі на поверхні вище розташованих зовнішніх огорожувальних конструкцій в залежності від кутів нахилу основної фасадної площини та куту прилягання бокової площини фасаду до основної частини фасаду, та забезпечено відтворюваність результатів експериментальних досліджень, при яких значення абсолютних відхилень між усередненими експериментальними дослідженнями не перевищують 10%.

#### **Загальнонаціональне значення одержаних результатів.**

Розроблена науково-методична та експериментальна база стала підґрунтям для створення нормативного забезпечення щодо оцінювання процесів поширення пожежі ззовні огорожувальних конструкцій та впроваджена при розробці державних будівельних норм ДБН В.2.2-41:2019 «*Висотні будівлі. Основні положення*», а також державного національного стандарту ДСТУ 9192:2022 «*Пожежна безпека. Проектування висотних громадських будівель з умовною висотою від 100 м до 150 м*».

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

Практична цінність дисертаційної роботи полягає у розробці науково-методичного апарату, який є системою, що об'єднує створений метод натурних випробувань, спрощений метод розрахунку температури полум'я вздовж висоти фасаду, а також табличний метод визначення температури полум'я вздовж висоти фасаду. Спільно з обґрунтованими критеріями, які характеризують умови поширення пожежі по фасаді, дозволяє визначити умови запобігання поширення пожежі зовнішніми огорожувальними конструкціями будівель з негорючим облицюванням та реалізувати параметричний метод нормування вимог пожежної безпеки до будівель.

Результати досліджень стали теоретичною та практичною основою під час розробки ДБН В.2.2-41:2019 «*Висотні будівлі. Основні положення*» та ДСТУ 9192:2022 «*Пожежна безпека. Проектування висотних громадських будівель з умовною висотою від 100 м до 150 м*». Також результати роботи реалізовані в ДСТУ 9222:2023 «*Пожежна безпека. Протипожежний захист систем зарядки електромобілів. Основні положення*» в частині обґрунтування умов безпеки під час улаштування пристроїв зарядних станцій для електромобілів на фасадах будівель.

**Обґрунтованість і достовірність наукових результатів** підтверджується великим масивом експериментальних даних, отриманих із використанням сучасних обчислювальних комплексів та засобів

вимірювальної техніки; використанням відомих систем диференціальних рівнянь тепломасообміну; методів стаціонарної і нестаціонарної теплопровідності, а також задовільною збіжністю розрахункових та експериментальних даних, отриманих під час дослідження процесів поширення пожежі зовнішніми огорожувальним конструкціями.

### **Оцінка змісту дисертації.**

Робота має наукову новизну та практичну цінність, написана грамотною, літературною українською мовою і добре оформлена. Реферат та дисертація оформлені відповідно до встановлених вимог, зміст реферату відповідає змісту дисертації. Матеріал дисертації представлений послідовно, стиль викладу доказовий, чіткий і лаконічний. Висновки до кожного розділу і дисертації в цілому тісно пов'язані з їхнім змістом і відображають суть виконаних досліджень. Публікації автора повністю висвітлюють наукові положення і результати дисертації.

Дисертація складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел з 332 найменувань, містить 401 сторінку друкованого тексту, 38 таблиць, 143 рисунки, 4 додатки.

У **вступі** висвітлено стан та актуальність проблеми, сформульовано мету і завдання дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведені дані щодо апробації та публікацій результатів дисертації.

У **першому розділі** виконаний ґрунтовний аналіз статистичних даних про фасадні пожежі та наслідки від них на об'єктах з різними типами фасадних систем, в тому числі із складною формою їх архітектурного виконання. Досліджено та узагальнено існуючі конструктивні і інженерні заходи обмеження поширення пожежі зовнішніми вертикальними будівельними конструкціями для різних типів фасадних систем. Обґрунтовано недоліки існуючих підходів щодо питання оцінювання небезпеки поширення пожежі по зовнішнім огорожувальним будівельним конструкціям, з врахуванням їх можливих конструктивних особливостей, в тому числі, в разі їх обладнання фасадними протипожежними перешкодами різних типів.

Виконаний аналіз дозволив сформулювати мету та завдання дослідження.

У **другому розділі** здійснено аналіз найбільш типових сценаріїв виникнення пожежі у будівлі, обґрунтовано та виявлено критерії, що характеризують умови поширення пожежі ззовні будівлі з врахуванням її конструктивних параметрів, а також конструктивних параметрів фасадних

протипожежних перешкод. В тому числі, технічних характеристик протипожежних систем, інтегрованих у фасадні протипожежні перешкоди.

Здійснено оцінювання заходів з обмеження поширення пожежі за допомогою обчислювальних методів комп'ютерної математики. Узагальнено та систематизовано математичні описи початкових граничних умов, пожежного навантаження модельного вогнища пожежі та реакції його горіння, кількості теплоти, що виділяє або сприймає одиниця поверхні в одиницю часу, а також математичні описи просторово-часового розподілу температури і швидкостей газового середовища.

**У третьому розділі** проведено моделювання процесів поширення пожежі по зовнішнім огорожувальним конструкціям при її зовнішньому осередку утворення. Розрахунково підтверджено можливість реалізації дослідження запропонованих сценаріїв фасадних пожеж за допомогою гідродинамічних комп'ютерних моделей, які забезпечують досить якісні прогнози щодо характеру поширення пожежі зовнішніми огорожувальними конструкціями з врахуванням можливості застосування активних та пасивних фасадних протипожежних перешкод.

**У четвертому розділі** на основі аналізу переваг та недоліків існуючих методів оцінювання поширення пожежі по зовнішнім огорожувальним конструкціям, а також систематизації типів фасадних систем будівель та заходів щодо забезпечення обмеження поширення пожежі по ним розроблено програму експериментальних досліджень запобігання поширення пожежі по зовнішнім огорожувальним конструкціям. В основу програми-методики покладено дослідження процесів теплообміну при змінних параметрів полум'я, яке поширюється з отвору у зовнішній огорожувальній конструкції. Одним із результатів даного розділу є удосконалення експериментальної бази дослідження процесів обмеження поширення пожежі по зовнішнім огорожувальним конструкціям будівель відмінною рисою якої є врахування реальних конструктивних параметрів фасаду будівлі.

**У п'ятому розділі** узагальнено та систематизовано отримані результати експериментальних досліджень щодо поширення пожежі зовнішніми огорожувальними конструкціями будівель, зокрема проведено

серію експериментальних досліджень для визначення впливу кутів ухилу фасадної площини та кутів прилягання суміжних площин до основної частини фасаду на процеси поширення пожежі. Також в розділі приведено результати щодо виявлених закономірностей впливу різних типів фасадних протипожежних перешкод на процеси зміни температур на їх поверхні під час пожежі. За результатом аналізу отриманих даних та дослідження статистичних похибок за кожною серією експериментів доведено, що отримані залежності є вибірками з однієї генеральної сукупності, що підтверджує загальну збіжність кожного окремого експерименту, а дисперсії відхилень є прийнятними

**В шостому розділі** приведено результати створення газогідродинамічної моделі установки для прогнозування поширення пожежі зовнішніми огорожувальними конструкціями будівель, що відтворює умови натурних випробувань. Представлено результати верифікації розробленої комп'ютерної моделі установки та порівняння температурних розподілів на поверхні досліджуваного фрагменту фасаду попередньо отриманих в результаті натурних досліджень та температурних розподілів отриманих на основі створеної математичної моделі за аналогічних умов досліджень. На основі проведених досліджень визначено зміни розподілів температури на поверхні фасаду, який розміщено над поверхом пожежі, залежно від кутів прилягання суміжних площин фасадів, значення кута нахилу фасаду та типу фасадних протипожежних перешкод, які можуть застосовуватися для обмеження поширення пожежі. Отримані дані використані під час розробки науково-методичного апарату, який реалізує технологію виявлення закономірностей зміни температур і їх розподілення на поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій для розрахункової оцінки запобігання поширення по ним пожежі.

**У сьомому розділі** описані узагальнені результати розробки методичного забезпечення для розрахункової оцінки запобігання поширення пожежі зовнішніми огорожувальними конструкціями будівель. На основі визначених чинників узагальнено основні показники та умови, що впливають на закономірності зміни температур на поверхні зовнішніх огорожувальних

конструкцій будівлі та відповідно на ефективність оцінювання можливості запобігання поширення пожежі по ним. За результатом проведення серії чисельних експериментів з використанням комп'ютерних моделей обчислювальної газо-гідродинаміки розроблено довідкову таблицю для визначення критичного значення температури для визначених рівнів висоти фасаду в залежності від кутів прилягання суміжних площин фасадів, значення кута його нахилу та типу фасадних протипожежних перешкод, які можуть застосовуватися для обмеження поширення пожежі. Наведено результати оцінювання економічного ефекту, який можливо досягти при використанні розробленого науково-методичного апарату.

Висновки за дисертацією сформульовані логічно, вичерпно, при цьому вони відповідають поставленій меті та завданням дослідження. У докторській дисертації та наукових працях, які розкривають її результати, відсутні академічний плагіат, фабрикації, фальсифікації.

**Повнота викладу наукових положень, висновків та рекомендацій в наукових публікаціях, зарахованих за темою докторської дисертації.**

Основні наукові результати, положення та загальний зміст дисертації викладено в 39 наукових працях: 19 статей у наукових виданнях (з них 3 статті у виданнях, які включені до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, 1 стаття в міжнародному науковому виданні, 15 статей у наукових фахових виданнях України, 1 статті, яка додатково висвітлює наукові результати дисертації), 18 тез доповідей на міжнародних та вітчизняних наукових конференціях, 1 патент на корисну модель.

Кількість та науковий рівень опублікованих наукових праць повністю відповідає вимогам до докторських дисертацій.

**Зауваження та дискусійні питання стосовно положень докторської дисертації.**

1. У першому розділі у зведених даних щодо основних характеристик методик дослідження обмеження поширення пожежі для фасадних систем відзначено, що у значній кількості закордонних методик використовувалося модельне вогнище пожежі класу А. Разом із цим, не в повній мірі зрозуміло



чому автор в подальших експериментах вирішив використовувати модельне вогнище пожежі класу В (горіння рідких речовин), враховуючи, що даний тип пожежної навантаги не притаманний для житлового сектору.

2. В даних, наведених у таблиці 2.1, приведено, що значення коефіцієнту швидкості вигорання модельного вогнища пожежі  $\eta$  значно змінюється в залежності від кута прилягання суміжної площини фасаду. Враховуючі ці дані, не зрозуміло, чому тоді тривалість проведення натурних вогневих досліджень представлених автором у четвертому розділі є не змінною і складала 30 хвилин?

3. В четвертому розділі дисертації, під час опису створення експериментальної установки для прогнозування поширення пожежі по фасадам будівель не приділено суттєву увагу обґрунтуванню параметрів установки, а саме, в чому полягає суть обраного масштабу щодо її габаритних розмірів?

4. В розділі 6.1 зайвим є дублювання формул з визначення середнього абсолютного відхилення та середнього відносного відхилення, оскільки методика визначення статистичних похибок детально описана у розділі 5.1.

5. В роботі відзначено, що під час проведення експериментальних досліджень в якості фасадної протипожежної перешкоди активного типу використано протипожежний карниз шириною 0,3 м та дренчерний зрошувач із направляючою лопаткою та інтенсивністю зрошення 5 мм/хв. Не зрозуміло, чому автор використовував зрошувач саме із даною інтенсивністю?

6. Додаткового пояснення потребує відсутність врахування можливого впливу вітру на виявлені закономірності впливу конструктивних параметрів зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель та фасадних протипожежних перешкод на процеси поширення пожежі по їх поверхні.

7. В розділі 7.4 під час проведення оцінки економічного ефекту щодо забезпечення умов обмеження поширення пожежі по зовнішнім огорожувальним конструкціям на прикладі висотної будівлі автор використовує модель житлового будинку з умовною висотою 120 м. Разом із

цим, чинні вимоги будівельних норм обмежують умовну висоту будинків житлового призначення до 100 м.

Наведені питання та зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, яка має високу практичну цінність та вагомі науково-прикладні досягнення.

### **Загальний висновок та оцінка дисертації.**

За актуальністю теми та науковою новизною результатів дисертаційна робота БАЛЛО Ярослава В'ячеславовича на тему «Розвиток наукових основ запобігання поширення пожежі зовнішніми огорожувальними конструкціями будівель» є завершеною науковою працею. Дисертація за актуальністю, за обсягом виконаних теоретичних та експериментальних досліджень, новизною та практичним значенням, повнотою викладу результатів досліджень, змістом, структурою та оформленням відповідає паспорту спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека та вимогам Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а її автор, БАЛЛО Ярослав В'ячеславович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека.

### **Опонент:**

начальник кафедри пожежної профілактики  
в населених пунктах  
факультету пожежної безпеки  
Національного університету  
цивільного захисту України,  
доктор технічних наук, професор



Ю. А. Отрош