

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора

КОВАЛИШИНА Василя Васильовича

на докторську дисертацію **Сіднея Станіслава Олександровича**

«Розвиток наукових основ оцінювання вогнестійкості горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій за втратою цілісності»,

підготовлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних

наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека

Ступінь актуальності обраної теми.

Одним із основних завдань забезпечення пожежної безпеки під час пожежі є створення умов для своєчасної евакуації людей та ефективної роботи рятувальних підрозділів шляхом обмеження поширення небезпечних чинників пожежі. Це потребує забезпечення належного рівня вогнестійкості будівельних конструкцій, зокрема огорожувальних, які мають зберігати цілісність упродовж визначеного нормативного часу, навіть за умов тривалого теплового та силового впливу. Залізобетон традиційно вважається матеріалом з високими показниками вогнестійкості завдяки низькій теплопровідності та значній теплоємності бетону. Проте в умовах реальної пожежі можуть утворюватися тріщини та дефекти, які порушують цілісність конструкцій ще до втрати їхньої несучої здатності. Особливо вразливими в цьому контексті є горизонтальні огорожувальні залізобетонні конструкції до яких належать порожнисті та ребристі плити, які через статичну визначеність і обмежену здатність до перерозподілу внутрішніх зусиль є чутливими до дії високих температур і згинальних моментів. Унаслідок цього в них спостерігається прискорене формування наскрізних тріщин, що значно знижує їхню цілісність. При цьому в низці сучасних досліджень не приділяється належної уваги окремому оцінюванню граничного стану за ознакою втрати цілісності, оскільки зазвичай він вважається таким, що збігається з втратою несучої здатності. Разом з тим експериментальні

дослідження, зокрема результати, наведені в дисертації, свідчать про можливість настання втрати цілісності раніше, що є суттєвим фактором під час пожеж. За таких умов традиційна оцінка вогнестійкості без урахування цього чинника може призводити до суттєвого завищення її рівня та помилкової класифікації конструкції як такої, що здатна тривалий час протистояти поширенню небезпечних чинників пожежі. Це, своєю чергою, створює реальну загрозу для життя та здоров'я людей у разі виникнення пожежі, ускладнює евакуацію та дії рятувальних служб. У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу, пов'язану з розробкою ієрархічної системи розрахункових методів оцінювання вогнестійкості горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій за ознакою втрати цілісності, що є вагомим внеском у розвиток сучасної теорії та практики забезпечення пожежної безпеки будівель і споруд.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у докторській дисертації підтверджено результатами, отриманими в процесі теоретичних та експериментальних досліджень. Зокрема, це стосується застосування неявного та явного методів інтегрування рівнянь статичної рівноваги, складених для деформованого твердого тіла, що дозволяє врахувати нелінійність диференціальних рівнянь теплопровідності та напружено-деформованого стану, врахування пластичного деформування при розвантаженні та повторному навантаженні, а також поведінки конструкції з наявними тріщинами. Математичне моделювання процесу деформування бетону з урахуванням утворення або змикання тріщин дозволило визначити критерій міцності та встановити моменти появи тріщин у горизонтальних огорожувальних конструкціях, що є визначальним для оцінки втрати їхньої цілісності. При цьому було забезпечено коректну математичну постановку задач, обґрунтованість теоретичних припущень і строгість математичних викладок. Достовірність результатів підтверджено надійністю та правильністю використання методів розв'язання задач, вирішенням поставлених завдань із використанням необхідного обсягу

експериментального матеріалу, отриманого за допомогою метрологічно атестованого обладнання та повірених засобів вимірювання. Під час теоретичних досліджень використано загальновизнані припущення і принципи теорії теплообміну, фундаментальні закономірності будівельної механіки, методи розрахунку будівельних конструкцій із залученням сучасних розрахункових комплексів на основі методу скінченних елементів. Отримані результати співставлялись як з власними експериментальними даними, так і з результатами інших дослідників, зокрема зарубіжних, а також із даними чисельного моделювання роботи конструкцій. Проведено статистичну обробку одержаних результатів, яка підтверджує їхню надійність, а також забезпечено задовільний збіг розрахункових і експериментальних даних (відносна похибка не перевищує 15 %) під час випробувань залізобетонних конструкцій на вогнестійкість. Обґрунтованість сформульованих положень остаточно підтверджується верифікацією та валідацією побудованих комп'ютерних моделей, а також апробацією та практичним впровадженням результатів дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів досліджень полягає у розкритті механізмів та закономірностей утворення наскрізних дефектів у горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкціях на основі проведених досліджень поведінки залізобетонних порожнистих та ребристих плит залежно від їхніх конструктивних характеристик як наукового підґрунтя для створення ієрархічної системи розрахункових методів оцінювання вогнестійкості таких конструкцій за настанням граничного стану за ознакою втрати цілісності.

При цьому вперше отримано наступні наукові результати:

– виявлено особливості механізму утворення наскрізних тріщин та дефектів у горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкціях на основі моделювання поведінки порожнистої плити в умовах пожежі, які полягають у виникненні поперечних тріщин внаслідок формування призми руйнування в конструкції з кутом при її вершині $\sim 61^\circ$, що було

експериментально підтверджено та стало передумовою для розробки відповідної математичної моделі, яка дозволяє прогнозувати розвиток утворення поперечних тріщин та/або дефектів наскрізного характеру та вказує про настання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності для горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій;

- розроблено метод оцінювання вогнестійкості для залізобетонних порожнистих плит за настанням граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності, що ґрунтується на застосуванні неявного методу інтегрування рівнянь динаміки та рівнянь напружено-деформованого стану таких конструкцій при їх апроксимації методом скінченних елементів, що сприяє обґрунтованому прогнозуванню межі вогнестійкості таких конструкцій та підвищує рівень пожежної безпеки об'єктів.

- розроблено математичну модель утворення поздовжніх тріщин та дефектів у порожнистих залізобетонних плитах, що було експериментально підтверджено, яка визначає критерій, за яким порівнюється напруження в розтягнутій зоні стінки між порожниною та верхньою поверхнею плити, з межею міцності бетону на розтяг з урахуванням її зниження через нагрівання, що дозволяють прогнозувати розвиток утворення поздовжніх тріщин та/або дефектів наскрізного характеру та вказує про настання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності для горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій;

- розроблено спрощений метод оцінювання вогнестійкості залізобетонних порожнистих плит за втратою цілісності на основі математичних моделей, що визначають критерії, які дозволяють прогнозувати утворення наскрізних поперечних і поздовжніх тріщин та дефектів та вказує про настання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності для таких конструкцій в умовах пожежі;

- розроблено метод оцінювання вогнестійкості залізобетонних ребристих плит за критерієм втрати цілісності, який базується на математичному моделюванні, що підтверджено експериментальними

дослідженнями, та враховує особливості механізму утворення наскрізних тріщин і дефектів, з уточненням геометричної конфігурації руйнування панелі в комірках між ребрами, навіть за умови збереження несучої здатності поздовжніх ребер;

– розроблено спрощений метод оцінювання вогнестійкості ребристих залізобетонних плит за ознакою втрати цілісності на основі розробленої математичної моделі для обчислення віртуальних робіт внутрішніх та зовнішніх сил у панелі плити в умовах пожежі, яка включає уточнені данні про геометричну конфігурацію локальної зони руйнування панелі в комірках між ребрами залізобетонних ребристих плит при апроксимації контурів зони руйнування за допомогою ліній Безьє;

– отримано на основі проведення повнофакторних експериментів регресійні залежності зміни межі вогнестійкості горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій за настанням граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності від конструктивних параметрів, що дозволило розробити табличний метод для оцінювання вогнестійкості за настанням граничного стану за ознакою втрати цілісності для порожнистих плит залежно від висоти перерізу (H) та осьової відстані від арматури до обігрівної поверхні плити (w) та для ребристих плит залежно від товщини перерізу панелі між ребрами (h_s) та осьової відстані від арматури до обігрівної поверхні панелі між ребрами (w_s).

удосконалено:

– науково-методичну базу забезпечення вогнестійкості горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій, зокрема порожнистих та ребристих плит за настанням граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності шляхом удосконалення таблиць, які рекомендовані EN 1992-1-2.

набуло подальшого розвитку:

– застосування номограмних розрахункових методів оцінювання вогнестійкості горизонтальних огорожувальних залізобетонних

конструкцій, зокрема порожнистих та ребристих плит за настанням граничного стану за ознакою втрати цілісності.

Загальнонаціональне значення отриманих результатів.

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу, пов'язану з розробкою ієрархічної системи методів розрахункового оцінювання вогнестійкості горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій, зокрема порожнистих та ребристих плит, за ознакою втрати цілісності. Запропонований підхід дозволяє застосовувати методи різної складності та точності, що забезпечує гнучкість і адаптивність у практиці проєктування. Отримані результати можуть слугувати основою для вдосконалення чинної нормативної бази у сфері пожежної безпеки. Врахування втрати цілісності при оцінюванні вогнестійкості є принципово важливим, оскільки ігнорування цього чинника може призводити до завищеної оцінки пожежної стійкості конструкцій, створюючи загрозу життю людей та ускладнюючи проведення евакуаційних і рятувальних заходів у разі пожежі.

Практичне значення отриманих результатів. Практична цінність дисертаційних досліджень полягає у створенні наукових основ для розробки методичної бази розрахункового оцінювання вогнестійкості горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій, зокрема залізобетонних порожнистих та ребристих плит за настанням граничного стану за ознакою втрати цілісності. Це відповідно дає можливість підвищити рівень пожежної безпеки об'єктів шляхом точного визначення відповідності будівельних конструкцій вимогам щодо їхньої вогнестійкості за настанням граничного стану за ознакою втрати цілісності.

Розроблена методична база може бути підґрунтям для удосконалення системи норм і стандартів для проєктування вогнестійких залізобетонних конструкцій за ієрархічною системою розрахункових методів, запропонованою у цій роботі, яка може бути органічно інтегрована у дані норми.

Розроблені методи апробовані та впроваджені у діяльність ДП «Державний науково-дослідний та проектно-вишукувальний інститут «НДІпроектреконструкція» (акт впровадження від 06.01.2025 р.), ДП «Укрдержбудекспертиза» в Одеській області (акт впровадження від 25.12.2024 р.), а також у проектні компанії: ТОВ «Незалежний аудит та інспектування сфери безпеки» (акт впровадження від 25.12.2024 р.) та ТОВ «КОМФОРТМЕД ПРОЕКТ» (акт впровадження від 25.12.2024 р.), ПП «ПроектБудСтар» (акт впровадження від 18.01.2025 р.), та в навчальний процес Національного університету цивільного захисту України (акт впровадження від 08.01.2025 р.).

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

Основні положення та наукові результати дисертації опубліковано в 65 наукових працях, серед яких: 2 монографії, 27 статей у наукових виданнях, з них 7 статей у виданнях, включених до міжнародної наукометричної бази Scopus, 13 статей у наукових фахових виданнях України, 7 статей, які додатково висвітлюють наукові результати дисертації, 36 тез доповідей у збірниках матеріалів міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій.

У тексті докторської дисертації та у наукових публікаціях, що її розкривають, відсутні ознаки академічного плагіату, фабрикацій і фальсифікацій.

Докторська дисертація є завершеною кваліфікаційною науковою працею. Кількість і науковий рівень опублікованих праць повністю відповідають вимогам, встановленим до докторських дисертацій.

Оцінка змісту дисертації.

Робота має наукову новизну та практичну цінність, написана грамотно, 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 з анотації, змісту, вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 303 найменувань та 7 додатків. Загальний обсяг роботи становить 361 сторінка друкованого тексту, з них обсяг основного тексту – 272 сторінки, 128 рисунків, 43 таблиці.

У **вступі** обґрунтовано вибір теми дослідження, сформульовано мету та завдання дослідження, наукову новизну та практичне значення роботи, представлено її загальну характеристику.

У **першому розділі** здійснено аналіз сучасних нормативних вимог щодо вогнестійкості залізобетонних конструкцій, на основі чого сформовано загальну концепцію та критерії оцінювання цього параметра. Визначено підходи до оцінювання вогнестійкості за граничними станами втрати несучої здатності, теплоізолювальної здатності та цілісності, а також розглянуто специфіку впливу високих температур на роботу залізобетонних конструкцій. Детально проаналізовано підходи до формалізації теплового впливу пожежі, що дало змогу окреслити реальні умови експлуатації конструкцій під час дії вогню. За результатами проведеного аналізу встановлено, що чинна система критеріїв не забезпечує можливості однозначної фіксації моменту утворення наскрізних дефектів і, відповідно, втрати цілісності горизонтальних огорожувальних конструкцій у пожежних умовах. У зв'язку з цим перспективним напрямом визначено подальший розвиток теоретичних уявлень про процеси формування наскрізних тріщин та створення на їх основі ефективних розрахункових методів оцінювання вогнестійкості таких конструкцій.

У **другому розділі** представлено методику та математичну модель, розроблену для моделювання поведінки порожнистих залізобетонних плит під дією пожежі із застосуванням явного методу інтегрування рівнянь

напружено-деформованого стану. За результатами проведених розрахунків отримано дані, що дають змогу прогнозувати утворення й розвиток наскрізних тріщин у таких конструкціях. Встановлено особливості механізму їх формування, зокрема виникнення поперечних тріщин унаслідок формування призми руйнування з кутом при вершині приблизно 61° . Це стало підґрунтям для побудови відповідної математичної моделі, яка дає змогу не лише передбачити розвиток тріщин наскрізного типу, але й визначити момент настання граничного стану за ознакою втрати цілісності.

У третьому розділі проведено експериментальні дослідження поведінки залізобетонної порожнистої плити в умовах вогневих випробувань з метою верифікації розробленої математичної моделі. Розроблено відповідну методику, яка включає аналіз температурних характеристик, параметрів напружено-деформованого стану та дослідження передумов утворення наскрізних тріщин, пов'язаних із настанням граничного стану за ознакою втрати цілісності.

У ході випробувань отримано статистичні характеристики вимірювань, які підтверджують відтворюваність результатів і відповідність умов експерименту чинним методикам. Середні значення відносного відхилення не перевищують 15 %, що свідчить про достовірність даних.

Установлено, що контроль настання граничного стану за ознакою втрати цілісності згідно з вимогами ДСТУ EN 1363-1:2023 та ДСТУ EN 1365-2:2023 є утрудненим через складність фіксації появи відповідних тріщин і дефектів. Експериментально підтверджено, що утворення наскрізних тріщин відбувається в середній частині прольоту за механізмом формування призми руйнування з кутом при вершині $\sim 61^\circ$, що узгоджується з результатами математичного моделювання.

Оцінювання адекватності моделі за критерієм Фішера підтвердило достовірність результатів: розраховані значення не перевищують табличні, що свідчить про ефективність застосованого підходу для визначення меж

вогнестійкості за граничними станами втрати теплоізолювальної, несучої здатності та цілісності.

У четвертому розділі розроблено уточнений метод оцінювання вогнестійкості залізобетонної порожнистої плити, який, на відміну від існуючих підходів, дозволяє враховувати настання граничного стану за ознакою втрати цілісності. Це досягається шляхом візуального аналізу повністю зруйнованих скінченних елементів у бетоні, що дає змогу перевіряти умову появи наскрізних тріщин та/або дефектів, які призводять до втрати цілісності конструкції.

У ході досліджень також розроблено математичні моделі, які визначають критерії для прогнозування утворення наскрізних поперечних і поздовжніх тріщин та дефектів у залізобетонних порожнистих плитах. Це, у свою чергу, дозволяє встановити момент настання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності в умовах пожежі та стало основою для створення спрощеного методу оцінювання вогнестійкості залізобетонних порожнистих плит за критерієм втрати цілісності.

У п'ятому розділі виконано математичне моделювання поведінки залізобетонних ребристих плит під впливом пожежі, що дозволило розробити уточнений метод оцінювання їх вогнестійкості. Особливу увагу приділено випадкам втрати цілісності, зумовленої руйнуванням панелі в комірках між поздовжніми та поперечними ребрами плити.

Окрім цього, у розділі розроблено спрощений метод розрахункового оцінювання вогнестійкості ребристих плит за ознакою втрати цілісності. Метод базується на математичній моделі, яка визначає критерій утворення наскрізної тріщини в межах комірок між ребрами. Основою такого критерію є енергетичний підхід, що ґрунтується на порівнянні віртуальних робіт внутрішніх і зовнішніх сил у полиці плити між ребрами, обчислених за принципом можливих переміщень.

У шостому розділі на основі встановлених закономірностей настання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності розроблено

регресійні моделі для горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій, зокрема для порожнистих та ребристих плит. Вони дозволяють визначати межу вогнестійкості залежно від конструктивних параметрів плит – таких як висота перерізу порожнистої плити, товщини панелі між ребрами для ребристої плити, а також осьова відстань від арматури до обігрівної поверхні конструкцій.

На підставі отриманих моделей розроблено табличний метод оцінювання вогнестійкості порожнистих та ребристих плит за граничним станом втрати цілісності. Це, у свою чергу, стало основою для формування ієрархічної системи методів розрахункового оцінювання вогнестійкості цих залізобетонних плит із урахуванням результатів, одержаних у попередніх розділах дисертації.

У сьомому розділі сформульовано алгоритми як уточнених, так і спрощених методів оцінювання вогнестійкості горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій за граничним станом за ознакою втрати цілісності. Запропонована система забезпечує відповідність чинним нормативним вимогам та підвищує точність оцінювання вогнестійкості: для порожнистих плит – на 12 % порівняно з результатами вогневих випробувань, а для ребристих – на 16,1 % у порівнянні з результатами математичного моделювання.

Розроблені методи дозволяють виявляти утворення наскрізних дефектів до настання втрати несучої здатності, що підвищує точність визначення ризику втрати цілісності конструкцій у пожежних умовах. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню рівня пожежної безпеки будівель та дає змогу своєчасно впроваджувати ефективні превентивні заходи.

У загальних висновках дисертації підтверджено виконання всіх поставлених завдань дослідження, підкреслено узгодженість результатів і повноту їх відображення. У додатках наведено список наукових праць здобувача за темою дисертації, матеріали з апробації результатів дослідження та документи, що підтверджують їх впровадження.

Зауваження та дискусійні питання стосовно положень докторської дисертації.

1. У дисертації не висвітлено можливість застосування розрахунково-експериментального підходу для оцінювання вогнестійкості досліджуваних конструкцій, що обмежує цілісність аналізу існуючих методів.

2. Верифікацію математичної моделі на основі методу скінченних елементів для визначення межі вогнестійкості за критерієм втрати цілісності порожнистої плити проведено за результатами вогневих випробувань. Чому таким самим методом здобувачем не проведено верифікацію математичної моделі для оцінювання залізобетонної ребристої плити?

3. У змісті дисертації всі додатки від додатку Б до додатку Е мають однакову назву.

4. У роботі здобувачем не наведено обґрунтування вибору методу скінченних елементів для чисельного моделювання процесів вогневого впливу на конструкцію, хоча це є важливою частиною методології. Альтернативним підходом доцільно було б розглянути метод скінченних різниць, який також використовується для задач теплообміну.

5. На рисунку 2.21 дисертації температурний розподіл у порожнистій плиті наведено без використання одиниць вимірювання $^{\circ}\text{C}$, що не відповідає загальноприйнятим науковим стандартам оформлення графічного матеріалу. Доцільно було б дотримуватись вимог єдиної системи одиниць.

6. У дисертації досліджено залежність межі вогнестійкості за ознакою втрати цілісності від рівня навантаження лише для ребристих плит, тоді як для порожнистих плит аналогічний аналіз не проведено без пояснення причин.

7. Доцільним продовженням дослідження могло б стати поширення запропонованого підходу на вертикальні огорожувальні типи залізобетонних конструкцій, зокрема стіни. Це дозволило б розширити сферу застосування розроблених методів і підвищити їх практичну значущість.

Загальний висновок та оцінка дисертації.

Зазначені зауваження не знижують практичну і наукову цінність даної роботи. За актуальністю теми, науковою новизною результатів, їх практичною цінністю і повнотою опублікування результатів докторська дисертація Сіднея Станіслава Олександровича за темою: «Розвиток наукових основ оцінювання вогнестійкості горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій за втратою цілісності» 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, Сідней Станіслав Олександрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека.

Офіційний опонент:

Професор кафедри цивільного захисту
Львівського державного університету
безпеки життєдіяльності,

доктор технічних наук, професор



(підпис)

Ковалишин В. В.

(прізвище, ініціали)

«28» 04 2025 року

Підпис Ковалишина В. В. ЗАСВІДЧУЮ:

