ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора

ДЕМЧИНИ Богдана Григоровича

на докторську дисертацію **СІДНЕЯ Станіслава Олександровича** за темою: «Розвиток наукових основ оцінювання вогнестійкості горизонтальних огороджувальних залізобетонних конструкцій за втратою цілісності», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека

Актуальність теми.

Одним із ключових завдань забезпечення пожежної безпеки є створення умов для своєчасної евакуації людей і ефективної роботи рятувальників шляхом запобігання поширенню небезпечних чинників пожежі, що можливе лише за умови забезпечення вогнестійкості будівельних конструкцій. Залізобетонні конструкції традиційно вважаються вогнестійкими, однак у реальних умовах пожежі горизонтальні огороджувальні залізобетонні конструкції, зокрема порожнисті та ребристі плити, можуть втрачати цілісність раніше, ніж несучу здатність, через інтенсивне утворення тріщин у зонах максимальних згинальних моментів. Ігнорування цієї особливості під час оцінювання вогнестійкості призводить до завищених результатів і підвищує ризики для людей, оскільки конструкція вже не перешкоджає проникненню небезпечних чинників до суміжних приміщень. Урахування цього явища потребує розробки нових методів розрахункової оцінки вогнестійкості, що є актуальним напрямом наукових досліджень для підвищення надійності будівель у надзвичайних ситуаціях.

У докторській дисертації вирішена важлива науково-практична проблема у сфері пожежної безпеки, що полягає у розкритті закономірностей утворення магістральних тріщин під впливом пожежі у горизонтальних огороджувальних конструкціях, що дозволить підвищити рівень пожежної безпеки будівель шляхом недопущення проникнення небезпечних чинників пожежі через втрату цілісності залізобетонних плит під час впливу факторів пожежі протягом нормованого часу дії пожежі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2011–2015 роки (розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.12.2010 р. № 2348-р), згідно з «Угодою про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами», що ратифікована на підставі Закону України від 16.09.2014 р. № 1678-VII; «Стратегією розвитку системи технічного регулювання на період до 2025 року», затвердженою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 22.09.2021 р. № 1145-р., а також у межах науково-дослідних робіт, що виконувались в Національному університеті цивільного захисту України «Удосконалення експериментально-розрахункового методу оцінювання вогнестійкості

Вхід. № 25
"23" 04 2025р.

залізобетонних будівельних конструкцій за результатами випробувань їх малогабаритних фрагментів» (ДР № 0121U109145) та «Удосконалення розрахункових методів прогнозування цілісності залізобетонних конструкцій під час пожежі» (ДР № 0121U109414), в яких здобувач був виконавцем та відповідальним виконавцем відповідно.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у докторській дисертації підтверджено отриманими результатами при застосуванні неявного та явного методів інтегрування рівнянь статичної рівноваги, складених для деформованого твердого тіла, що дозволяє врахувати нелінійність диференціальних рівнянь теплопровідності та напружено-деформованого стану, а також математичним моделюванням процесу деформування тіла із наявними тріщинами та з урахуванням утворення тріщин або їх змикання, що визначає критерій міцності матеріалу та дозволяє ідентифікувати моменти появи тріщин у горизонтальних огороджувальних конструкціях; задовільною кореляцією між теоретичними та експериментальними дослідженнями (відносна похибка не перевищує 15 %) підтверджує адекватність розроблених методів оцінювання вогнестійкості, а також апробацією та практичним впровадженням результатів досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів досліджень полягає у розкритті механізмів та закономірностей утворення наскрізних дефектів у горизонтальних огороджувальних 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:

1. Виявлено особливості механізму утворення наскрізних тріщин та дефектів у горизонтальних огороджувальних 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 ~61°, що було експериментально підтверджено та стало передумовою для розробки відповідної математичної моделі.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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 полці між ребрами, навіть за умови збереження несучої здатності поздовжніх ребер.

6. 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 полці між ребрами залізобетонних ребристих плит при апроксимації контурів зони руйнування за допомогою ліній Безьє.

7. Отримано на основі проведення повнофакторних експериментів регресійні залежності зміни межі вогнестійкості горизонтальних огороджувальних залізобетонних конструкцій за настанням граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності від конструктивних параметрів, що дозволило розробити табличний метод для оцінювання такої вогнестійкості 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 полки між ребрами (h_s) та осьової відстані від арматури до обігрівної поверхні панелі між ребрами (w_s).

***Удосконалено*:**

8. Науково-методичну базу забезпечення вогнестійкості горизонтальних огороджувальних 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:

9. Застосування номограмних розрахункових методів оцінювання вогнестійкості горизонтальних огороджувальних залізобетонних конструкцій, зокрема порожнистих та ребристих плит за настанням граничного стану за ознакою втрати цілісності.

Загальнонаціональне значення отриманих результатів.

Розроблена ієрархічна система методів розрахункового оцінювання дозволяє визначати вогнестійкість за ознакою втрати цілісності горизонтальних

огороджувальних залізобетонних конструкцій, зокрема порожнистих та ребристих плит.

Розроблена методична база може бути підґрунтям для вдосконалення системи норм та стандартів, які застосовуються у проєктуванні вогнестійких залізобетонних конструкцій. Запропонована у дисертаційній роботі ієрархічна система розрахункових методів, органічно інтегрується у чинні норми (нормативні документи).

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні наукових основ для розробки методичної бази розрахункового оцінювання вогнестійкості горизонтальних огороджувальних залізобетонних конструкцій 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.

Запропоновані в роботі підходи можуть слугувати основою для оновлення нормативно-методичних документів, що регламентують проєктування залізобетонних конструкцій на вогнестійкість.

Отримані від закладів, установ та організацій акти впроваджень результатів дослідження засвідчують прикладну актуальність в умовах сьогодення.

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.

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

Характеристика змісту докторської дисертації.

Робота має наукову новизну та практичну значущість, викладена чіткою та коректною українською мовою, оформлена відповідно до чинних вимог до дисертаційних досліджень.

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 докторській дисертації та наукових працях, які розкривають її результати, відсутні академічний плагіат, фабрикації, фальсифікації.

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

У першому розділі проаналізовано сучасні нормативні вимоги та окреслено критерії оцінювання вогнестійкості, зокрема за настанням граничних станів втрати несучої здатності, теплоізолювальної здатності та цілісності. Проаналізовано формалізацію теплового впливу пожежі, що дозволяє визначити реальні умови експлуатації конструкцій під час пожежі. За результатами проведеного аналізу було встановлено, що наявна система критеріїв не дозволяє однозначно зафіксувати утворення наскрізних дефектів і, відповідно, втрату цілісності горизонтальних огороджувальних конструкцій під впливом пожежі, та було визначено, що перспективним вирішенням цієї проблеми є розвиток теоретичних уявлень про формування наскрізних тріщин та створення на їхній основі ефективних розрахункових методів оцінювання вогнестійкості таких конструкцій.

У другому розділі розроблено методику та математичну модель для моделювання поведінки порожнистих залізобетонних плит під дією пожежі за явним методом інтегрування рівнянь напружено-деформованого стану.

За результатами проведених розрахунків отримано дані, що дозволяють прогнозувати утворення та розвиток наскрізних тріщин у таких конструкціях. Виявлено особливості механізму їхнього формування, а саме: утворення поперечних тріщин унаслідок формування призми руйнування з кутом при вершині ~61°. Це стало основою для розробки відповідної математичної моделі, що дозволяє прогнозувати розвиток поперечних тріщин і дефектів наскрізного характеру, а також визначати момент настання граничного стану за ознакою втрати цілісності.

У третьому розділі проведені дослідження поведінки залізобетонної порожнистої плити в умовах вогневих випробувань для верифікації розробленої математичної моделі. Для цього було розроблено відповідну методику проведення експериментальних досліджень поведінки залізобетонної порожнистої плити в умовах вогневих випробувань. Методика містить аналіз температурних показників, параметрів напружено-деформованого стану, а також дослідження передумов утворення та розвитку наскрізних тріщин, що можуть бути пов'язані з настанням граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності в умовах впливу пожежі.

У результаті експериментальних досліджень визначено статистичні характеристики показників вимірювань під час вогневих випробувань зразків залізобетонних порожнистих плит. Вони підтверджують допустиму відтворюваність експериментальних результатів і відповідність умов експерименту основним положенням прийнятих методик.

Аналіз статистичних характеристик показників, отриманих в процесі проведення експерименту, показав достатню їхню достовірність та якість, оскільки середні значення відносного відхилення не перевищують 15 %.

В процесі проведення досліджень було встановлено, що контроль настання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності та контроль появи тріщин і роздроблення у бетоні зразків залізобетонних

порожнистих плит, підданих випробуванням, з використанням розробленої методики, показав неможливість встановити появи граничного стану за ознакою втрати цілісності за критеріями, описаними у стандартах ДСТУ EN 1363-1:2023 та ДСТУ EN 1365-2:2023.

Також встановлено, що утворення наскрізних тріщин відбувається в середній частині прольоту конструкції за механізмом утворення призми руйнування з кутом при вершині ~61°, що підтверджують отримані дані при проведенні математичного моделювання, щодо геометрії призми руйнування.

Оцінювання адекватності математичного моделювання поведінки залізобетонних плит за критерієм Фішера за умови використання методу скінченних елементів показало, що отримані результати є достовірними, оскільки розраховані значення критерію Фішера не перевищують відповідних табличних значень, що доводить ефективність використання вказаного методу для визначення меж вогнестійкості.

У четвертому розділі розроблено уточнений метод оцінювання вогнестійкості залізобетонної порожнистої плити, який на відміну від того , що існує, дозволяє врахувати настання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності шляхом аналізу повністю зруйнованих скінченних елементів у бетоні, що дозволяє перевіряти умову появи наскрізних тріщин та/або дефектів які призводять до настання цього граничного стану.

Також в процесі проведених досліджень було розроблено математичні моделі, що визначають критерії, які дозволяють прогнозувати утворення наскрізних поперечних і поздовжніх тріщин та дефектів у залізобетонних порожнистих плитах, та вказує про настання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності для таких конструкцій в умовах пожежі, що стало передумовою для розробки спрощеного методу оцінювання вогнестійкості залізобетонних порожнистих плит за втратою цілісності.

У п'ятому розділі виконано математичне моделювання поведінки залізобетонних ребристих плит під впливом пожежі. Це дозволило розробити уточнений метод оцінювання вогнестійкості для залізобетонних ребристих плит, зокрема для випадків втрати цілісності внаслідок руйнування панелі у полці між поздовжніми та поперечними ребрами плити.

Крім того, у цьому розділі розроблено спрощений метод розрахункового оцінювання вогнестійкості ребристих плит за ознакою втрати цілісності. Він ґрунтується на розробленій математичній моделі, яка визначає критерій утворення наскрізної тріщини у полці між ребрами. Основою цього критерію є енергетичний підхід, що базується на порівнянні віртуальних робіт внутрішніх і зовнішніх сил у полці між ребрами, визначених за принципом можливих переміщень.

У шостому розділі на основі виявлених закономірностей настання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності було створено для горизонтальних огороджувальних залізобетонних конструкцій регресійну

залежність зміни межі вогнестійкості в залежності від конструктивних параметрів конструкцій, зокрема:

- для порожнистих плит залежно від висоти перерізу (H) та осьової відстані від арматури до обігрівної поверхні плити (w), що описується регресійною залежністю: $U_e = 3.37 + 0.119H + 1.01w + 0.000625 \cdot H \cdot w$;
- для ребристих плит залежно від товщини перерізу полки між ребрами (h_s) та осьової відстані від арматури до обігрівної поверхні полки між ребрами (w_s), що описується регресійною залежністю: $U_e = 1.2 + 0.06h_s + 1.2w_s + 0.01 \cdot h_s \cdot w_s$.

На основі проведених досліджень в цьому розділі розроблено табличний метод оцінювання вогнестійкості для залізобетонних порожнистих та ребристих плит за граничним станом втрати цілісності, залежно від їх конструктивних параметрів, що дало можливість розробити ієрархічна систему методів розрахункового оцінювання залізобетонних порожнистих та ребристих плит за граничним станом за ознакою втрати цілісності з врахуванням отриманих результатів у попередніх розділах роботи.

У сьомому розділі розроблено алгоритми уточнених та спрощених методів оцінювання вогнестійкості таких конструкцій за граничним станом за ознакою втрати цілісності.

Запропонована система дозволяє забезпечити відповідність нормативним вимогам та підвищує точність оцінювання вогнестійкості:

- на 12% для порожнистих плит порівняно з результатами вогневих випробувань;
- на 16,1% для ребристих плит порівняно з результатами математичного моделювання.

Розроблена система сприяє виявленню наскрізних дефектів ще до втрати несучої здатності, що дає змогу точніше оцінювати ризики втрати цілісності конструкцій під час пожежі. Це, своєю чергою, підвищує рівень пожежної безпеки будівель, дозволяючи своєчасно впроваджувати превентивні заходи.

Загальні висновки засвідчують виконання всіх поставлених завдань дослідження та характеризуються єдністю змісту, повністю відображають отримані у роботі результати.

У додатках представлено список публікацій здобувача за темою дисертації, відомості про апробацію результатів дисертації, документи про впровадження.

Зауваження до докторської дисертації:

1. У першому розділі дисертації проаналізовано розрахункові та експериментальні методи оцінювання вогнестійкості горизонтальних огороджувальних залізобетонних конструкцій, проте розгляд розрахунково-експериментального підходу, який також застосовується в сучасних дослідженнях, відсутній.
2. З тексту дисертації незрозуміло, чи можливо застосовувати запропоновані методи оцінювання вогнестійкості за настанням граничного стану за ознакою втрати цілісності для всіх типів будівельних конструкцій, в тому числі вертикальних?

3. В роботі не висвітлено конкретні переваги та недоліки запропонованих методів оцінювання вогнестійкості за настанням граничного стану за ознакою втрати цілісності, що ускладнює об'єктивну оцінку їхньої ефективності. Відсутність такого аналізу обмежує можливість визначення доцільності застосування того чи іншого підходу на практиці, особливо в умовах різних типів конструкцій, матеріалів та режимів навантаження.
4. Чому під час математичного моделювання поведінки порожнистої плити в умовах впливу стандартного температурного режиму пожежі проводилися лише при рівні навантаження, що становить 50% від її розрахункової несучої здатності? Чим обґрунтовано вибір саме такого навантаження?
5. Під час вогневих випробувань здобувач застосував термопари типу ТХА для вимірювання температур у печі та на конструкціях без належного обґрунтування такого вибору, зокрема без порівняльного аналізу з іншими типами термопар чи альтернативним обладнанням.
6. Яким чином, за якою методикою та де саме були проведені дослідження поведінки залізобетонної порожнистої плити в умовах вогневих випробувань?
7. Чому в роботі вживається термін «арматурні стержні», тоді як у нормативно-технічній літературі та будівельній термінології прийнято використовувати форму «арматурні стрижні»?

Загальний висновок та оцінка дисертації.

Зазначені зауваження не знижують наукової цінності результатів, отриманих у дисертації, які є науково обґрунтованими та дозволяють оцінювати вогнестійкість горизонтальних огороджувальних залізобетонних конструкцій за допомогою розробленої ієрархічної системи методів розрахункового оцінювання, з урахуванням граничного стану за ознакою втрати цілісності для порожнистих та ребристих плит.

Викладені у дисертації результати є науково обґрунтованими та в сукупності спрямовані на розв'язання науково-практичної проблеми у сфері пожежної безпеки, яка полягає у відсутності розрахункових методів та недосконалості експериментальних методів оцінювання вогнестійкості горизонтальних огороджувальних залізобетонних конструкцій за граничним станом за ознакою втрати цілісності, зокрема для порожнистих та ребристих плит. Ця проблема вирішена шляхом розробки ієрархічної системи методів розрахункового оцінювання вогнестійкості за настанням граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності для таких конструкцій.

Докторська дисертація Сіднея Станіслава Олександровича за темою: «Розвиток наукових основ оцінювання вогнестійкості горизонтальних огороджувальних залізобетонних конструкцій за втратою цілісності» є кваліфікаційною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно, містить наукові положення та нові науково обґрунтовані результати, одержані здобувачем особисто, які мають практичну та теоретичну цінність, та які

підтверджено документами, що засвідчують виконання здобувачем досліджень. Дисертація за змістом, структурою та оформленням відповідає паспорту спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека та вимогам п. 6, 7, 8, 9 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 будівельних
конструкцій та мостів
Національного університету «Львівська
політехніка»
доктор технічних наук, професор **Демчина Б. Г.**

Підпис Демчини Б. Г. ЗАСВІДЧУЮ:

Вчений секретар Р. Брилинський