

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора

СУР'ЯНІНОВА Миколи Георгійовича

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

Актуальність обраної теми.

Одним із пріоритетних аспектів забезпечення пожежної безпеки будівель і споруд є здатність конструктивних елементів протистояти впливу високих температур і запобігати поширенню небезпечних чинників пожежі до завершення нормативного часу вогнестійкості. Особливої уваги в цьому контексті потребують горизонтальні огорожувальні залізобетонні конструкції, до яких належать порожнисті та ребристі плити, які можуть втрачати цілісність ще до втрати несучої здатності через інтенсивне утворення тріщин у зонах максимальних згинів. У практиці оцінювання вогнестійкості цей чинник часто не враховується належним чином, що може призводити до хибних висновків щодо пожежної стійкості конструкцій та створювати додаткові ризики для безпеки людей. Вирішення цієї проблеми потребує науково обґрунтованих методів, здатних передбачити розвиток тріщин і дефектів, які впливають на втрату цілісності. У дисертаційній роботі запропоновано комплексний підхід до моделювання та оцінювання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності, що реалізовано у вигляді ієрархічної системи методів розрахунку. Результати дослідження становлять важливий внесок у розвиток теорії та практики оцінювання вогнестійкості залізобетонних конструкцій і можуть бути використані для вдосконалення нормативної бази у сфері пожежної безпеки.

Актуальність дисертації підтверджено виконанням науково-дослідних робіт, що виконувалися в Національному університеті цивільного захисту України: «Удосконалення експериментально-розрахункового методу оцінювання вогнестійкості 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 положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у докторській дисертації, підтверджується комплексом проведених теоретичних і експериментальних досліджень. Математичне моделювання виконано з урахуванням нелінійної поведінки залізобетонних конструкцій під дією пожежного навантаження, що передбачає використання як неявних, так і явних методів інтегрування рівнянь рівноваги деформованого

твердого тіла. Ураховано складні фізичні процеси, зокрема теплопровідність, напружено-деформований стан, пластичне деформування при змінному навантаженні, а також формування тріщин і їх подальший розвиток. Побудовані математичні моделі дозволили ідентифікувати критерії втрати цілісності, визначити момент появи наскрізних тріщин та прогнозувати поведінку конструкцій під впливом високих температур. Теоретичні розробки базуються на визнаних принципах теплообміну, будівельної механіки та сучасних розрахункових підходах із використанням методу скінченних елементів. Достовірність результатів підтверджено порівнянням з експериментальними даними, у тому числі зарубіжних авторів, із застосуванням статистичної обробки результатів. Відносна похибка не перевищує 15 %, що свідчить про відповідність моделей реальним процесам. Апробація методів та їх практичне впровадження додатково підтверджують наукову і прикладну цінність виконаного 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:

1. 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.

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, що сприяє обґрунтованому прогнозуванню межі вогнестійкості таких конструкцій та підвищує рівень пожежної безпеки об'єктів.

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 та вказує про настання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності для горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій.

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 та вказує про настання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності для таких конструкцій в умовах пожежі.

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 комірках 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 дані про геометричну конфігурацію локальної зони руйнування панелі в комірках 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 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 здійснено науково обґрунтовану розробку ієрархічної системи методів розрахункового оцінювання вогнестійкості горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій, зокрема порожнистих та ребристих плит, за ознакою втрати цілісності. Запропонований підхід забезпечує можливість адаптивного застосування методів різного рівня складності залежно від поставлених завдань, що є важливим для надійного оцінювання протипожежної стійкості конструкцій. Така система має практичну цінність для формування науково-методичної основи у сфері забезпечення пожежної безпеки та може бути використана при розробленні технічної документації і проєктних рішень. Врахування втрати цілісності як окремого критерію вогнестійкості дозволяє суттєво підвищити точність оцінювання ризиків поширення небезпечних чинників пожежі, що безпосередньо впливає на безпеку людей та ефективність заходів захисту в умовах надзвичайних ситуацій.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дисертаційної роботи мають прикладну цінність для галузі протипожежного проєктування, оскільки на їх основі створено науково-методичну основу для оцінювання вогнестійкості горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій, зокрема для порожнистих та ребристих плит за критерієм втрати цілісності. Запропонована ієрархічна система розрахункових методів дозволяє здійснювати аналіз таких конструкцій з різним ступенем деталізації, що дає змогу обґрунтовано оцінювати їхню відповідність вимогам пожежної безпеки.

Практична реалізація результатів підтверджується їх впровадженням у діяльність проєктних, експертних та наукових організацій, серед яких ДП «НДІпроектреконструкція», ДП «Укрдержбудекспертиза» в Одеській області, ТОВ «Незалежний аудит та інспектування сфери безпеки», ТОВ «КОМФОРТМЕД ПРОЕКТ», ПП «ПроектБудСтар».

Крім того розроблені методи оцінювання вогнестійкості горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій впроваджені в освітній процес на кафедрі пожежної профілактики у населених пунктах Національного університету цивільного захисту України в навчальній дисципліні «Пожежна безпека будівель та споруд» при підготовці здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 261 «Пожежна безпека». Впровадження результатів досліджень даної дисертаційної роботи дозволяє підвищити якість проведення лекційних та практичних занять шляхом розширення знань здобувачів за рахунок практичного застосування нових наукових даних.

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

Наукові результати, положення та висновки, представлені в 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.

Представлений обсяг і рівень наукових публікацій повністю відповідають встановленим вимогам до докторських дисертацій.

Дисертація за своєю структурою, змістом і обсягом є завершеною кваліфікаційною науковою працею, що відображає результати самостійного дослідження автора.

Оцінка змісту дисертації.

Робота має наукову новизну та практичну цінність, написана грамотною, літературною українською мовою і вирізняється належним рівнем структурованості та відповідністю вимогам до оформлення докторських дисертацій.

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

Дисертацію виконано державною українською мовою. Текст написано грамотно, науково та логічно структуровано. Робота відзначається академічним стилем викладу, доказовістю подання матеріалу, чіткою структурою та відповідністю формальним вимогам до оформлення дисертаційних досліджень.

У вступі автор обґрунтував вибір теми дослідження, сформулював мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, визначив наукову новизну та практичне значення роботи. Також у вступі окреслено логіку структури роботи та обґрунтовано її послідовність.

У першому розділі виконано аналіз сучасних нормативних вимог щодо вогнестійкості залізобетонних конструкцій, за результатами чого сформовано загальну концепцію та критерії оцінювання цього параметра. Визначено підходи до оцінювання вогнестійкості за граничними станами за ознаками втрати несучої здатності, теплоізолювальної здатності та цілісності, крім цього розглянуто специфіку впливу високих температур на роботу залізобетонних конструкцій. Детально проаналізовано підходи до формалізації теплового впливу пожежі, що дало змогу окреслити реальні умови експлуатації конструкції 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 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 в цих конструкціях. Встановлено особливості механізму їхнього формування, а саме: утворення поперечних тріщин унаслідок формування призми руйнування з кутом при вершині $\sim 61^\circ$. 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 з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності.

У третьому розділі проведено експериментальні дослідження поведінки залізобетонної порожнистої плити в умовах вогневих випробувань для здійснення 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 з вогнестійкості 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 ускладненим 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 підтверджує отримані результати за допомогою 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 розроблений 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 візуального аналізу повністю зруйнованих скінченних елементів у бетоні, що дозволяє перевіряти умову появи наскрізних тріщин та/або дефектів, що є ознаками настання цього граничного стану.

Крім цього в процесі проведених досліджень було розроблено математичні моделі, що визначають критерії, які дозволяють прогнозувати утворення наскрізних поперечних та поздовжніх тріщин і 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, що дозволило розробити уточнений метод оцінювання вогнестійкості для таких конструкцій. Приділена увага випадкам втрати цілісності, зумовленої руйнуванням панелі в комірках між поздовжніми та поперечними ребрами плити.

Також в цьому 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 виявлених закономірностей настання граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності, побудовано регресійні залежності зміни межі вогнестійкості від конструктивних параметрів горизонтальних огорожувальних залізобетонних конструкцій – зокрема, порожнистих та ребристих плит залежно від їхніх геометричних характеристик. Це стало підґрунтям для розроблення табличного методу оцінювання вогнестійкості зазначених плит за втратою цілісності. Отримані результати дозволили сформувати ієрархічну систему методів розрахункового оцінювання вогнестійкості, що ґрунтується на аналізі граничного стану за ознакою втрати цілісності з урахуванням висновків, зроблених 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. Розроблена ієрархічна 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.

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 наведено список наукових праць здобувача за темою дисертації, матеріали з апробації результатів дослідження та документи, що підтверджують їхнє впровадження.

У цілому, зміст дисертації відзначається глибоким опрацюванням теми, достатнім рівнем деталізації, високою науковою обґрунтованістю та практичною цінністю, що відповідає вимогам, установленим до докторських дисертацій.

Зауваження та дискусійні питання стосовно положень докторської дисертації.

1. У дисертації наведено два окремі переліки науковців, які досліджували питання вогнестійкості будівельних конструкцій. Водночас, з огляду на те, що дослідження присвячене переважно оцінюванню цілісності конструкцій як окремого критерію вогнестійкості, доцільність включення обох переліків потребує додаткового пояснення. Доцільно було б зосередити увагу насамперед на працях тих дослідників, які безпосередньо вивчали втрату цілісності або пов'язані з цим механізми.

2. Недостатньо обширно проведено порівняльний аналіз програмних комплексів, придатних для моделювання поведінки досліджуваних конструкцій в умовах пожежі. Це дещо ускладнює оцінку обґрунтованості вибору конкретного програмного забезпечення, використаного у дисертаційному дослідженні.

3. У роботі наведено відомості про вибрані параметри скінченно-елементної моделі, зокрема – розмір елементів, їх кількість та тип. Однак відсутнє обґрунтування такого вибору, що не дозволяє оцінити, чи є модель достатньо точною та адекватною для поставленої задачі. Не вказано, чи проводився сітковий аналіз, перевірка збіжності результатів або порівняння альтернативних конфігурацій сітки, що є необхідними етапами при побудові чисельної моделі складних конструкцій. Для підвищення достовірності результатів доцільно було б доповнити роботу відповідними обґрунтуваннями.

4. У дисертації не розкрито питання щодо можливості поширення запропонованих методів чисельного аналізу на інші типи будівельних конструкцій. Залишається відкритим, чи мають ці методи універсальний характер і можуть бути масштабовані на інші елементи конструктивної системи будівлі, чи їх застосування обмежується геометричними та фізико-механічними параметрами досліджуваних плит.

5. На рисунку 5.4 дисертації, де подано температурні розподіли в залізобетонній ребристій плиті у різні моменти часу дії стандартного

температурного режиму пожежі, не зазначено одиниць вимірювання, у яких наведено градієнт температурного поля. Відсутність цієї інформації ускладнює інтерпретацію результатів та порівняння з іншими дослідженнями.

6. У дисертації не наведено значень коефіцієнтів температурного розширення бетону, які використовувалися під час математичного моделювання напружено-деформованого стану порожнистих та ребристих плит. Незрозуміло, чи враховувався цей параметр у чисельному аналізі, попри його суттєвий вплив на поведінку конструкцій під час дії високих температур. Відсутність такої інформації ускладнює оцінку повноти врахування термосилових ефектів під час моделювання.

7. Доцільно було б розглянути не лише вплив стандартного температурного режиму пожежі на досліджувані конструкції, а й параметричні пожежі, які більш точно відображають реальні умови розвитку пожежі у приміщеннях.

Загальний висновок та оцінка дисертації.

Висловлені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи, а лише підкреслюють її багатогранність, складність узагальнення результатів виконаних теоретичних і експериментальних досліджень.

Докторська дисертація Сіднея Станіслава Олександровича за темою: «Розвиток наукових основ оцінювання вогнестійкості горизонтальних огорожувальних 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 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, безперечно заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри будівельної механіки
Одеської державної академії
будівництва та архітектури
доктор технічних наук, професор



Сур'янінов М. Г.

Підпис Сур'янінова М. Г. засвідчую:

Ноголошнін М. Г. *Заричне М. В.*

