

ВІДГУК

опонента доктора технічних наук, професора

СУР'ЯНІНОВА Миколи Георгійовича

на докторську дисертацію **Ковальова Андрія Івановича**

«Розвиток наукових основ оцінювання вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних будівельних конструкцій»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека

Актуальність обраної теми.

Вимоги стійкості будівель та споруд забезпечуються комплексом заходів, що передбачаються як технологією виконання будівельних конструкцій, так і застосуванням вогнезахисних покриттів. Одним із шляхів підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій є застосування ефективних вогнезахисних покриттів із обґрунтованими параметрами для забезпечення необхідного рівня вогнестійкості, що сприятиме підвищенню пожежної безпеки будівель та споруд.

Дослідженнями щодо експериментального та розрахункового оцінювання вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних будівельних конструкцій шляхом застосування вогнезахисних покриттів займалися такі вчені: А.С. Беліков, М.М. Гивлюд, О.І. Голоднов, В.М. Жартовський, С.В. Жартовський, О.О. Кіреєв, П.Г. Круковський, С.В. Поздєєв, В.М. Ройтман, М.М. Семерак, М.Г. Сур'янінов, С.Л. Фомін, Т.М. Шналь, Çırpıcı, В. К., Lucherini, A., De Silva D., Imran, M., J. Jiang, Li G.-Q., O. Pettersson, Q. Xu, L.J. Segerlind, Y.C. Wang. Водночас поза увагою дослідників залишилися питання обґрунтування найбільш значущих чинників впливу вогнезахисних властивостей покриттів як підґрунтя для розвитку наукових основ підвищення рівня забезпечення пожежної безпеки об'єктів (в частині забезпечення достатнього рівня вогнестійкості конструкцій) шляхом застосування вогнезахисних покриттів з обґрунтованими параметрами та умовами експлуатації при проєктуванні та будівництві нових об'єктів.

Пошукам шляхів забезпечення ефективності вогнезахисних покриттів для залізобетонних конструкцій при впливі найбільш значущих параметрів та умов експлуатації вогнезахисних покриттів були присвячені дослідження, які висвітлені в роботах: В.А. Андрінова, Л.М. Вахітової, Ю.М. Данченко, В.М. Жартовського, В.В. Коваленка, П.Г. Круковського, Т.А. Кузнецова, С.В. Новака, Ю.А. Отроша, С.В. Поздєєва, М.М. Семерака, О.П. Якименко, J. K. Paik, G. Richard, L. Zárate, Q.Q. Zhang. У згаданих роботах основна увага приділялась в основному питанням підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій, у той час, як питання щодо обґрунтування параметрів вогнезахисних покриттів вогнезахисних будівельних конструкцій після впливу на них найбільш значущих чинників задля забезпечення вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних будівельних конструкцій, досліджувались в меншій мірі або взагалі не розглядались.

У докторській дисертації вирішена важлива науково-практична проблема у сфері пожежної безпеки, що полягає у недосконалості методів оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій, шляхом розробки і реалізації розрахунково-експериментального методу оцінювання вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних будівельних конструкцій з обґрунтованими параметрами та умовами експлуатації вогнезахисних покриттів.

Актуальність дисертації підтверджено виконанням науково-дослідних робіт, що виконувалися в Черкаському інституті пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України: «Розрахунково-експериментальний метод визначення характеристик вогнестійкості будівельних конструкцій, обладнання і вогнезахисних покриттів» (ДР № 0113U001473 від 15.02.2013), в якій здобувач був виконавцем (термін виконання 2013-2014 роки), «Визначення довговічності вогнезахисних покриттів металевих конструкцій, що спучуються» (ДР № 0115U000978), в якій здобувач був відповідальним виконавцем (термін виконання 2015–2016 роки), науково-дослідної роботи, що виконувалася в Національному університеті цивільного захисту України: «Прогнозування залишкового ресурсу будівельних конструкцій після силових, деформаційних і високотемпературних впливів» (ДР № 0119U001003), в якій здобувач був виконавцем (термін виконання 2019–2023 роки).

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у докторській дисертації підтверджено вирішенням поставлених завдань з використанням результатів експериментальних досліджень та необхідним об'ємом експериментального матеріалу, отриманого з використанням метрологічно атестованого обладнання та повірених засобів вимірювання; використанням під час теоретичних досліджень загальновизнаних принципів та припущень теорії теплообміну, фундаментальних закономірностей будівельної механіки, методів розрахунку будівельних конструкцій з використанням сучасних розрахункових комплексів методу скінченних елементів; використанням апробованих чисельних методів інтегрування математичних моделей теплообміну і розв'язання обернених задач теплопровідності; співставленням отриманих даних з експериментальними результатами як власними, так і інших дослідників, зокрема закордонних, даними чисельного моделювання роботи конструкцій, а також статистичною обробкою отриманих результатів; задовільним збігом розрахункових та експериментальних температур в випробуваних вогнезахисних залізобетонних конструкціях; верифікацією та валідацією побудованих комп'ютерних моделей; практичним впровадження отриманих результатів; апробацією наукових результатів, моделей, рекомендацій на наукових конференціях та семінарах.

Наукова новизна одержаних результатів досліджень полягає у розвитку наукових основ оцінювання вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних будівельних конструкцій, будівель та споруд при сумісному високотемпературному та силовому впливах, які враховують особливості впливу товщини вогнезахисного покриття, теплофізичних характеристик залізобетонних

конструкцій та вогнезахисного покриття, механічних властивостей будівельної конструкції, режиму пожежі, кліматичних факторів на ефективність процесу оцінювання вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних будівельних конструкцій. При цьому, *вперше*:

1. Розроблено математичну модель для оцінювання вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних конструкцій, яка дозволяє враховувати теплофізичні характеристики залізобетонних конструкцій та вогнезахисних покриттів, особливості режимів пожежі, механічні властивості матеріалів за високих температур, нелінійність законів деформування матеріалів конструкції та оцінювати вогнестійкість вогнезахисних залізобетонних конструкцій у граничних станах за ознакою втрати несучої та/або теплоізолювальної здатності.

2. Розроблено розрахунково-експериментальний метод оцінювання вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних конструкцій на основі використання експериментальних та розрахункових процедур, який відрізняється від наявних ідентифікацією теплофізичних характеристик моделі на основі розв'язання обернених задач теплопровідності за даними випробувань на вогнестійкість, визначенням мінімальної товщини вогнезахисного покриття за результатами випробувань на вогнестійкість вогнезахисних залізобетонних конструкцій за різних умов випробувань та значеннях чинників впливу.

3. Розроблено методологічну базу для оцінювання вогнестійкості будівель із вогнезахисних залізобетонних будівельних конструкцій шляхом побудови моделей теплового та напружено-деформованого стану будівлі, що відрізняються від тих, що існують, врахуванням наявності та властивостей вогнезахисних покриттів, високотемпературних, силових та кліматичних впливів, сумісної роботи будівельних конструкцій всієї будівлі та дозволяють оцінити вогнестійкість вогнезахисних залізобетонних будівельних конструкцій, конструктивної системи чи її частини та рівень пожежної безпеки об'єкта в частині забезпечення вогнестійкості і прийняти ефективні рішення щодо підвищення вогнестійкості конструкцій.

удосконалено:

4. Експериментальні та методичні підходи щодо оцінювання вогнестійкості та підвищення рівня забезпечення пожежної безпеки об'єктів, що відрізняються застосуванням розробленого розрахунково-експериментального методу оцінювання вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних конструкцій в частині додаткового врахування найбільш значущих параметрів впливу вогнезахисних властивостей покриттів в системі «будівельна конструкція–вогнезахисне покриття».

набули подальшого розвитку:

5. Уявлення про засади забезпечення рівня пожежної безпеки будівель та споруд різного призначення із залізобетонних несучих будівельних конструкцій у частині обґрунтування необхідності оцінювання вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних будівельних конструкцій при різних режимах пожежі та інших впливах з урахуванням специфіки завдань забезпечення рівня пожежної безпеки об'єктів.

Загальнонаціональне значення отриманих результатів.

Розроблено методологічну базу для оцінювання вогнестійкості будівель із вогнезахищених залізобетонних будівельних конструкцій. Розроблені комп'ютерні моделі теплового та напружено-деформованого стану будівлі, які дозволяють враховувати наявність та властивості вогнезахисних покриттів, високотемпературні, силові та кліматичні впливи, сумісну роботу будівельних конструкцій всієї будівлі та дозволяють оцінити вогнестійкість вогнезахищених залізобетонних будівельних конструкцій, конструктивної системи чи її частини та рівень пожежної безпеки об'єкта в частині забезпечення вогнестійкості і прийняти ефективні рішення щодо підвищення вогнестійкості конструкцій.

Результати дисертаційної роботи використані в процесі розроблення та впровадження двох державних стандартів України:

– ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд»;

– ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 «Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість» (акт впровадження ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» від 08.04.2019 р. № 100-582).

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблений метод апробований та впроваджений у діяльність:

– ТОВ «ЛІРА САПР» (довідка про впровадження № 49 від 07.03.2023);

– ГУ ДСНС України в Одеській області (акт впровадження від 19.01.2023);

– ТОВ «ІПК «Спецзахист» (акт впровадження від 10.01.2023);

– приватного підприємства «ПроектБудСтар» (акт впровадження від 25.11.2022).

2. Результати роботи використані приватним науково-виробничим підприємством «Прометей-Сервіс» (м. Черкаси), приватним підприємством «ПОЖЗАХИСТ-2020» (м. Хмельницький), страховою компанією «Уніка» (м. Київ) (листи-підтримки).

3. Теоретичні, технологічні та методологічні положення роботи використані в освітньому процесі кафедри пожежної профілактики в населених пунктах Національного університету цивільного захисту України (акт впровадження від 01.12.2022) та факультету технологій, будівництва та раціонального природокористування Черкаського державного технологічного університету (акт впровадження від 05.12.2023).

4. Результати роботи втілено в розробку 6 патентів України на корисну модель щодо способу визначення температури втрати несучої здатності будівельних конструкцій та межі вогнестійкості будівельної конструкції, а також фактичної межі вогнестійкості конструкцій експлуатованих будівель та споруд.

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

Дисертація є закінченим науковим дослідженням. Основні положення й наукові результати дисертації викладено в 66 наукових роботах, з яких: 1 монографія, проіндексована у базі даних Scopus; 2 статті у періодичних виданнях

України, включених до категорії «А»; 19 статей у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз; 12 статей у наукових фахових виданнях України; 2 статті наукових періодичних виданнях інших держав; 7 статей у закордонних виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus; 1 стаття, яка додатково відображає наукові результати дисертації; 6 патентів на корисну модель; 1 авторське свідоцтво на твір; 15 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

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

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

Оцінка змісту дисертації.

Робота має наукову новизну та практичну цінність, написана грамотною, літературною українською мовою і добре оформлена. Реферат повністю відтворює зміст дисертації.

Дисертація складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Дисертація містить 325 сторінок друкованого тексту (з них 249 сторінок основної частини дисертації), 113 рисунків, 19 таблиць, 265 найменувань використаних джерел, 10 додатків на 41-ій сторінці.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, мету, об'єкт, предмет та основні завдання дослідження, наукову новизну, наукові положення і практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про впровадження та апробацію результатів дослідження.

В першому розділі проаналізований сучасний стан забезпечення пожежної безпеки будівель та споруд різного призначення, на підставі якого встановлено, що забезпечення нормованого значення межі вогнестійкості несучих елементів залізобетонних будівельних конструкцій є важливою і досить складною проблемою, розв'язання якої дозволить на стадії проєктування, будівництва та експлуатації будівель і споруд об'єктів різного призначення застосовувати будівельні конструкції, які здатні забезпечити будівлям чи спорудам стійкість при високотемпературному впливі або при руйнуванні внаслідок порушення нормальних умов функціонування об'єкту.

Проведено аналіз надзвичайних ситуацій та пожеж, в результаті якого встановлено, що велика кількість надзвичайних ситуацій, в тому числі внаслідок пожеж, відбувається через нехтування або неврахування під час проєктування вимог пожежної безпеки щодо вогнестійкості будівельних конструкцій, в тому числі і вогнезахисених. Відтак зроблено висновок, що одним із пріоритетних напрямків забезпечення вогнестійкості будівель та споруд є використання вогнезахисених будівельних конструкцій з використанням вогнезахисних покриттів з обґрунтованими параметрами та умовами експлуатації. Проаналізовані переваги та недоліки методів оцінювання вогнестійкості вогнезахисених залізобетонних конструкцій.

Виконаний аналіз дозволив сформулювати мету та завдання дослідження.

У другому розділі розроблено математичну модель та на її основі розрахунково-експериментальний метод оцінювання вогнестійкості вогнезахисених залізобетонних конструкцій. Розглянуто алгоритм застосування запропонованого методу, надано опис процедур його реалізації. Перевірено працездатність запропонованого методу при виявленні взаємозв'язку між параметрами пасивного вогнезахисного штукатурного покриття та вогнестійкістю вогнезахисеного багатопустотного залізобетонного перекриття. Описано основні складові розрахунково-експериментального методу.

У третьому розділі перевірено достовірність розробленої математичної моделі та розрахунково-експериментального методу оцінювання вогнестійкості вогнезахисених залізобетонних конструкцій використовуючи аналіз чутливості параметрів математичної моделі на вихідний результат та обчислювальний експеримент. Проведено аналіз похибок у вимірюванні температури на точність визначення параметрів вогнезахисного покриття. Досліджено вплив температурних режимів пожежі на точність методу оцінювання вогнестійкості вогнезахисених залізобетонних конструкцій.

У четвертому розділі запропоновано алгоритм та процедуру реалізації розрахунково-експериментального методу оцінювання вогнестійкості вогнезахисених залізобетонних конструкцій, що включає тепловий аналіз конструкцій, математичне моделювання конструкцій методом скінчених елементів, визначення зусиль і деформацій в конструкціях, порівняння характеру деформацій реального об'єкту і математичної моделі й подальше уточнення, у разі потреби, характеристик жорсткості матеріалів елементів моделі; розрахунок уточненої моделі, визначення зусиль і переміщень; перевірка дотримання умов, які забезпечують несучу здатність і деформативність залізобетонних конструкцій, будівель та споруд. Розроблено скінчено-елементні моделі для теплотехнічного та статичного розрахунків вогнезахисених залізобетонних конструкцій (на прикладі багатопустотного перекриття і колони) в програмному комплексі ANSYS та ЛІРА-САПР. За допомогою розроблених моделей було проведено моделювання нестационарного прогріву та розрахунок напружено-деформованого стану вказаних конструкцій.

У п'ятому розділі розроблено математичну модель будівлі, що дозволяє оцінити рівень пожежної безпеки об'єкту в частині забезпечення вогнестійкості та прийняти ефективні рішення щодо підвищення вогнестійкості конструкцій з використанням вогнезахисних покриттів з обґрунтованими параметрами та умовами експлуатації. Розроблено комп'ютерні моделі теплового та напружено-деформованого стану будівлі трьохповерхового паркінга для автомобілів, яка складається із вогнезахисених конструкцій, що враховують: теплофізичні характеристики вогнезахисних покриттів, теплофізичні та механічні властивості матеріалів, з яких складається конструкція, нелінійні закони деформування матеріалів моделі, механічні властивості матеріалів при високотемпературних та силових впливах. Проаналізовані варіанти виникнення пожеж в паркінгу для дослідження вогнестійкості (стійкості) будівлі.

У шостому розділі визначено економічну ефективність застосування розрахунково-експериментального методу оцінювання вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних конструкцій. Проведено техніко-економічне обґрунтування застосування вогнезахисних залізобетонних конструкцій з науково обґрунтованими товщинами вогнезахисних покриттів. Проведені розрахунки економічного ефекту від впровадження розробленого методу оцінювання вогнестійкості вогнезахисних конструкцій на прикладі паркінга для автомобілів.

Загальні висновки повністю відображають отримані у роботі результати. Загальні висновки сформовано якісно та лаконічно.

У додатках надано список публікацій здобувача за темою дисертації, відомості про апробацію результатів дисертації, документи про впровадження, листи підтримки результатів дисертаційної роботи, ліцензія ЛПРА-САПР та локальні кошториси.

Зауваження та дискусійні питання стосовно положень докторської дисертації.

1. З роботи залишилося незрозуміло, яким чином враховували роботу верхньої та нижньої арматури вогнезахисного залізобетонного перекриття при використанні граничного стану з вогнестійкості за ознакою втрати несучої здатності.
2. Однією з особливостей бетону є наявність в ньому хімічнозв'язаної води. Це призводить до того, що, по-перше, вода нагріваючись і випаровуючись, забирає частину тепла. По-друге, теплопровідність і теплоємність бетону при температурі 100 °С залежить від кількості води, яка ще не випарилася. З тексту дисертації не зрозуміло, яким чином це враховано в розробленій математичній моделі.
3. Залишилися поза увагою здобувача питання щодо оцінювання вогнестійкості такого широкого класу будівельних конструкцій, як сталезалізобетонні, хоча автор брав участь у розробці ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 «Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість».
4. Автору слід було надати рекомендації щодо розрахунків стиснених елементів будівельних конструкцій на стійкість, оскільки мова йде про несучі конструкції (колони), виключення з роботи яких може призвести до обвалення будівлі. Слід було навести рекомендації щодо розрахунків будівлі на прогресуюче обвалення внаслідок пожежі.
5. Результати розрахунків з використанням програмних комплексів, що використовувалися в роботі, необхідно наводити в тих одиницях вимірювання, які відповідають системі СІ, або давати відповідні посилання (таблиці 5.1, 5.2 С. 263 дисертації).
6. У тексті дисертації та реферату не наведено обґрунтування характеру залежності ефективних коефіцієнтів теплопровідності вогнезахисних покриттів, що досліджувалися, від температури. Зокрема, не зрозуміло, які

механізми викликають падіння температури до приблизно 500 °С та поступове її зростання після цього значення.

7. Для оцінки точності розробленого розрахунково-експериментального методу автор використовує критерій середньоквадратичного відхилення, що є недостатньо інформативним. Крім того, виходячи з вимог метрологічного забезпечення випробувань, застосування для оцінки точності лише середньоквадратичного відхилення (тобто випадкової складової похибки) без врахування її інструментальної (тобто, систематичної) складової, може в певній мірі знизити рівень достовірності отриманих результатів.

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 Ковальова Андрія Івановича за темою: «Розвиток наукових основ оцінювання вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних будівельних конструкцій» 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, Ковальов Андрій Іванович, безперечно заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека.

Опонент:

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



М.Г. Сур'янінов

Підпис Сур'янінова М.Г. ЗАСВІДЧУЮ:

