

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Романа МАЙБОРОДИ

«Забезпечення стійкості монолітних залізобетонних будівель до прогресуючого обвалення внаслідок пожежі та дефлаграційного вибуху»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю
261 «Пожежна безпека» з галузі знань 26 «Цивільна безпека»

Актуальність обраної теми дослідження.

Забезпечення надійності та безпеки будівель та споруд при дії пожежі та вибуху набуває актуальності в умовах сучасних викликів. Однією з найнебезпечніших форм наслідків таких впливів є настання прогресуючого обвалення будівлі – послідовне (ланцюгове) руйнування несучих будівельних конструкцій, що призводить до обвалення всієї споруди або її частин внаслідок локального руйнування/пошкодження. Однією з основних причин, що можуть викликати початкове руйнування конструкцій, є пожежі у поєднанні з внутрішніми вибухами.

Згідно з аналізом наявної статистики, кількість задокументованих випадків прогресуючого обвалення будівель, викликаних різними чинниками, залишається відносно невеликою, проте наслідки таких подій мають надзвичайно руйнівний характер. За узагальненими даними з наукових джерел, технічних звітів та офіційних розслідувань у світі зафіксовано понад 50 випадків прогресуючого обвалення будівель, спричинених пожежами. Найбільше таких обвалень спостерігається в багатоповерхових каркасних будівлях, зокрема тих, що мають залізобетонний або сталевий несучий каркас. У цих випадках, внаслідок інтенсивного температурного впливу, порушується несуча здатність ключових конструктивних елементів, що призводить до втрати просторої стійкості будівельної системи. Особливу увагу слід приділити пожежам, що супроводжуються вибухами, які найчастіше трапляються в промислових будівлях. Специфіка технологічного обладнання, використання горючих газів, легкозаймистих рідин, а також наявність вибухонебезпечних матеріалів (наприклад, пилу) значно підвищує ризик виникнення дефлаграційних вибухів. Комбінація пожежі та дефлаграційного вибуху підвищує ймовірність настання прогресуючого обвалення будівель, оскільки одночасний вплив високих температур і імпульсних вибухових навантажень сприяє каскадному руйнуванню конструкцій. Такі інциденти, як правило, супроводжуються значними матеріальними збитками і людськими жертвами, що підкреслює важливість подальших досліджень та розробки ефективних методів попередження прогресуючого обвалення будівель, спричиненого пожежами та вибухами, особливо на промислових об'єктах.

Однак відсутні дослідження, що направлені на вивчення питання прогресуючого обвалення монолітних залізобетонних будівель при різних

комбінованих особливих впливах, в тому числі за участю пожеж, які в подальшому супроводжуються вибухами.

У зв'язку з зазначеними факторами, актуальність дисертаційної роботи здобувача Майбороди Р.І. не викликає сумнівів.

Основні наукові результати є складовою частиною науково-дослідної роботи кафедри державного нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки Національного університету цивільного захисту України № ДР 0123U100665 «Підвищення надійності захисних споруд цивільного захисту», в якій автор брав участь як виконавець.

Формулювання наукової задачі, нове вирішення якої одержано в дисертації.

Метою роботи є розробка методики забезпечення стійкості залізобетонних будівель до прогресуючого обвалення внаслідок пожежі та дефлаграційного вибуху.

Сформульовані та вирішені **завдання** дослідження:

- проаналізовані результати досліджень в області розрахунку та забезпечення стійкості до прогресуючого обвалення залізобетонних будівель та споруд внаслідок пожежі та вибуху;

- розроблені математичні моделі для прогнозування та забезпечення стійкості монолітних залізобетонних будівель в умовах пожежі та дефлаграційного вибуху;

- розроблена методика забезпечення стійкості монолітних залізобетонних будівель до прогресуючого обвалення внаслідок пожежі та дефлаграційного вибуху, яка дозволяє визначати напружено-деформований стан конструктивної системи під впливом пожежі та вибуху для подальшого прийняття конструктивних рішень або інженерно-технічних заходів з метою попередження прогресуючого обвалення будівель, виконано програмну реалізацію методики;

- проведено перевірку достовірності розроблених математичних моделей шляхом порівняння результатів комп'ютерного моделювання з експериментальними даними випробувань на вогнестійкість залізобетонних конструкцій та оцінена ефективність запропонованої методики.

Об'єктом дослідження є вплив пожежі та дефлаграційного вибуху на стійкість до прогресуючого обвалення монолітних залізобетонних будівель.

Для отримання, аналізу та обґрунтування результатів були використані методи експериментального дослідження поведінки зразків при нагріванні, метод скінченних елементів; математичне та комп'ютерне моделювання процесів нестационарного теплообміну між факелом пожежі та будівельними конструкціями шляхом використання методу нестационарної теплопровідності; для обробки експериментальних даних та верифікації результатів теоретичних досліджень були застосовані методи математичної статистики.

Наукова новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів проведених досліджень.

Серед найбільш значущих наукових **результатів**, що мають наукову новизну, можна виокремити такі:

– ***вперше*** розроблено математичну модель прогнозування поведінки монолітних залізобетонних конструкцій в умовах пожежі та дефлаграційного вибуху, яка на відміну від існуючих враховує нелінійні теплофізичні характеристики матеріалів, температурні режими пожеж, нелінійність законів деформування матеріалів конструкцій, вплив навантаження від дефлаграційного вибуху;

– ***удосконалено*** математична модель розподілу температурних полів у системі «залізобетонна колона-перекриття» при пожежі, яка побудована на базі рівнянь нестационарної теплопровідності, теплового випромінювання, конвективного теплообміну, враховує просторову сумісну теплову взаємодію конструктивних елементів, тепловий контакт у зоні вузла та механізм взаємного опромінювання поверхонь;

– ***отримала подальший розвиток*** методика забезпечення стійкості монолітних залізобетонних будівель до прогресуючого обвалення внаслідок пожежі та дефлаграційного вибуху, яка базується на розроблених математичних моделях та передбачає визначення напружено-деформованого стану конструктивної системи під впливом пожежі та вибуху, визначення зруйнованих елементів, вжиття конструктивних рішень або інженерно-технічних заходів з метою недопущення прогресуючого обвалення будівель.

– ***удосконалено*** комп'ютерну модель стійкості монолітних залізобетонних будівель до прогресуючого обвалення, яка забезпечує програмну реалізацію розробленої методики.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання результатів роботи під час розробки проектної документації на нове будівництво, реконструкцію, технічне переоснащення, капітальний ремонт, для забезпечення стійкості конструктивних систем будівель в умовах впливу пожежі та дефлаграційного вибуху та у разі необхідності розробляти відповідні конструктивні рішення або інженерно-технічні заходи з метою недопущення прогресуючого обвалення.

Розроблена методика забезпечення стійкості монолітних залізобетонних будівель до прогресуючого обвалення внаслідок пожежі та дефлаграційного вибуху, яка базується на розроблених математичних моделях, є новим підходом, який дозволяє реалізовувати стратегії проектування, приймати обґрунтовані рішення щодо вибору конструктивних і інженерно-технічних заходів для забезпечення структурної цілісності будівель в умовах комбінованих аварійних

навантажень. Використання удосконаленої комп'ютерної моделі дозволяє автоматизувати процес оцінювання стійкості конструктивної системи, здійснювати поетапне дослідження напружено-деформованого стану конструктивної системи та визначати критичні зони руйнування. Це забезпечує практичну цінність як на стадії проєктування нових об'єктів, так і обстеження та реконструкції існуючих споруд, а також може бути використано в системах підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій техногенного та воєнного характеру.

Особистий внесок здобувача.

Усі результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані самостійно. Робота є завершеним науковим дослідженням, виконаним відповідно до мети та завдань. Особистий внесок автора включає зокрема: аналіз наукових робіт та наукової літератури, яка присвячена виокремленій проблематиці; розроблення математичних моделей для прогнозування та забезпечення стійкості монолітних залізобетонних будівель в умовах пожежі та дефлаграційного вибуху; розроблення методики забезпечення стійкості монолітних залізобетонних будівель до прогресуючого обвалення внаслідок пожежі та дефлаграційного вибуху, виконано програмну реалізацію методики; здійснено перевірку достовірності розроблених математичних моделей шляхом порівняння результатів комп'ютерного моделювання з експериментальними даними випробувань на вогнестійкість залізобетонних конструкцій.

Апробація результатів дисертації та публікації.

Основні положення та результати дисертаційного дослідження були в достатній мірі апробовані здобувачем протягом усього періоду навчання на всеукраїнських, міжнародних науково-практичних та науково-технічних конференціях.

За темою дисертації опубліковано 16 наукових праць: 5 статей у фахових виданнях України, 1 публікація у закордонному фаховому виданні, 2 статті у виданнях, які включено до міжнародних наукометричних баз Scopus, та 8 тез доповідей на конференціях.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертаційна робота складається із анотації, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації складає 233 сторінки, з яких 175 сторінки основного тексту, містить 69 рисунків та 26 таблиць. Список використаних джерел складається з 118 найменувань.

Вступ відображає теоретичне та практичне значення роботи, основний внесок здобувача, відомості про публікації та апробацію дисертаційного дослідження.

У *першому розділі* проведено аналіз наукових джерел і нормативних документів щодо дослідження проблеми прогресуючого обвалення монолітних залізобетонних будівель внаслідок аварійних ситуацій. Виявлено, що існуючі дослідження обмежуються спрощеними розрахунковими методами та не охоплюють комбіновану дію пожежі та внутрішнього дефлаграційного вибуху. Виділено окрему категорію прогресуючого обвалення залізобетонних будівель, зумовленого пожежами, що супроводжуються вибухами, здебільшого газовими або пилоповітряними, що характерні для виробничих будівель. Встановлено, що вимоги сучасних методик і нормативних документів не враховують особливості поведінки конструктивної системи монолітних залізобетонних будівель за умов комбінованого впливу пожежі та дефлаграційного вибуху. Виявлено основні недоліки існуючих підходів, що підтверджує необхідність розроблення методики для прогнозування та забезпечення стійкості монолітних залізобетонних будівель до прогресуючого обвалення в умовах комбінованих аварійних ситуацій.

У *другому розділі* розроблено математичну модель прогнозування поведінки монолітних залізобетонних конструкцій в умовах пожежі та дефлаграційного вибуху, яка на відміну від існуючих враховує нелінійні теплофізичні характеристики матеріалів, температурні режими пожеж, нелінійність законів деформування матеріалів конструкцій, вплив навантаження від дефлаграційного вибуху. Також розроблено математичну модель розподілу температурних полів у системі «залізобетонна колона-перекриття» при пожежі, яка побудована на базі рівнянь нестационарної теплопровідності, теплового випромінювання, конвективного теплообміну, враховує просторову сумісну теплову взаємодію конструктивних елементів, тепловий контакт у зоні вузла та механізм взаємного опромінювання поверхонь.

У *третьому розділі* розроблено методику, яка ґрунтується на запропонованих математичних моделях, дозволяє проводити розрахунки й прогнозувати стійкість монолітних залізобетонних будівель до прогресуючого обвалення за умов високотемпературного впливу пожежі та динамічного навантаження, зумовленого внутрішнім дефлаграційним вибухом. Визначено особливості розрахунку прогресуючого обвалення залізобетонних будівель, спричиненого дією пожежі та дефлаграційного вибуху. Представлено комп'ютерну реалізацію запропонованої методики в програмному комплексі ЛІРА-САПР для забезпечення стійкості монолітної залізобетонної будівлі на прикладі шести поверхової виробничої споруди. За результатами чисельного моделювання визначено, що під дією пожежі тривалістю 60 хвилин переміщення плит перекриття зростає у 2,6 рази через втрату жорсткості матеріалів. У разі комбінованого впливу пожежі та дефлаграційного вибуху відзначено збільшення переміщень до 8,2 рази. Визначено, що поєднаний вплив температурного та вибухового навантажень суттєво знижує несучу здатність конструктивної системи будівлі.

У *четвертому розділі* проведена перевірка достовірності розроблених математичних моделей шляхом порівняння результатів чисельного розрахунку з експериментальними даними випробувань на вогнестійкість монолітних залізобетонних конструкцій. Відносна похибка не перевищила 10 %. Виконаний розрахунок кошторису доцільності застосування розробленої методики забезпечення стійкості монолітних залізобетонних будівель до прогресуючого обвалення внаслідок пожежі та дефлаграційного вибуху (на прикладі виробничої будівлі). Прямі витрати у разі впровадження додаткових конструктивних або інженерно-технічних заходів, визначених за методикою, у 6 разів менші, ніж витрати, пов'язані з відновленням зруйнованої будівлі після розвитку прогресуючого обвалення.

Висновки цілком відповідають сформульованим задачам дослідження та є стислим висвітленням одержаних здобувачем результатів.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому й оформлення.

Дисертацію виконано на достатньо високому науковому й технічному рівні. Робота є завершеним у цілому науковим дослідженням, виконаним відповідно до мети та завдань. В роботі розв'язано актуальне науково-технічне завдання в галузі пожежної безпеки – забезпечення стійкості монолітних залізобетонних будівель до прогресуючого обвалення внаслідок пожежі та дефлаграційного вибуху за рахунок використання під час проєктування положень розробленої методики, яка дозволяє визначати напружено-деформований стан конструктивної системи під впливом пожежі та вибуху, визначати зруйновані елементи, вживати конструктивні рішення або інженерно-технічних заходи з метою недопущення прогресуючого обвалення будівель. Дисертаційна робота виконана здобувачем з дотриманням усіх затверджених вимог до оформлення дисертації.

Рівень виконання поставленого наукового завдання, оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Розділи дисертації містять достатній обсяг матеріалу, що демонструє вирішення сформульованих завдань і завершуються висновками.

Вважаю, що здобувач Майборода Р.І. оволодів необхідними для рівня доктора філософії компетентностями та методологією проведення наукових досліджень.

Дотримання академічної доброчесності.

Аналіз дисертаційної роботи та публікацій автора не виявив порушень академічної доброчесності, елементів фальсифікації чи фабрикації тексту.

Зауваження за текстом дисертації

1. При проведенні аналізу літературних джерел стосовно прогресуючого обвалення будівель та споруд практично не приділяється уваги досвіду українських вчених. При цьому в недостатній мірі приділена увага критичному аналізу праць, в яких мова йде про вплив детонаційних вибухів на конструктивні елементи, що наразі є актуальним на цей час.

2. Розділ 1 займає майже 50% дисертаційної роботи, переобтяжений загальновідомою інформацією, яка не містить наукової цінності. (розділ 1.3 (стор.40 – 52)).

3. На мою думку завдання досліджень мають дуже узагальнений характер. З завдань дослідження не зрозуміло, який саме клас об'єктів розглядається в дисертаційній роботі.

4. В роботі доцільно було б розглянути не лише стандартний температурний режим пожежі, а й інші температурні режими, наприклад, температурний режим вуглеводневої пожежі або параметричний.

5. В розділі 3.1, стор.131 при описі етапів комп'ютерного моделювання треба було додати посилання на праці Городецького О.С., засновника школи комп'ютерного моделювання.

6. Вважаю, що розділ 3.2 «Обґрунтування вибору системи автоматизованого проектування» треба було б скоротити.

7. Інформація щодо створення комп'ютерної моделі в розділ 3.3.2. в певній мірі повторює етапи створення моделі, що описані в розділі 3.1.

8. Не зрозуміло які було задано критерії настання критичної аварійної ситуації, а також критерії втрати стійкості будівлі та критерії руйнування.

9. Для покращення роботи доцільно було б приділити більшу увагу опису виконаних автором досліджень чисельного експерименту та алгоритмів, які, на мій погляд, є найбільш сильною стороною.

10. Доцільно було б порівняти розрахункові результати, отримані з використанням запропонованих моделей, із результатами, що отримані з використанням інших програмних комплексів, наприклад, ANSYS.

11. Нажаль не представлено в табличному вигляді порівняння результатів чисельного та натурного експериментів для підтвердження достовірності.

Проте, зазначені зауваження не зменшують загального позитивного враження від представленої дисертації, вони мають переважно дискусійний характер. Отримані здобувачем результати не викликають сумніву, є науково обґрунтованими, мають наукову новизну і практичне значення.

Вважаю, що робота повністю відповідає вимогам до наукових робіт освітньо-кваліфікаційного рівня доктора філософії за спеціальністю 261 «Пожежна безпека».

Загальний висновок.

Таким чином, за актуальністю, науковою новизною, достовірністю і обґрунтованістю отриманих дисертантом результатів дисертаційна робота **Майбороди Романа Ігоровича «Забезпечення стійкості монолітних залізобетонних будівель до прогресуючого обвалення внаслідок пожежі та дефлаграційного вибуху»** є завершеною науково-дослідницькою роботою, яка повністю відображає основні теоретичні та практичні положення та відповідає встановленим вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (зі змінами) та постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор, **Майборода Роман Ігорович**, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 «Пожежна безпека».

Офіційний опонент:

Професор кафедри комп'ютерних
технологій будівництва
факультету архітектури,
будівництва і дизайну
Державного некомерційного підприємства
«Державний університет
«Київський авіаційний інститут»,
доктор технічних наук, професор



Марія БАРАБАШ

Описує Барабаш М. завідує.
Погоджує Віктор Барієв *амф. О. Шенко*

