

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Фесуна Ігоря Костянтиновича
на тему: **«Скінченно-елементне моделювання процесу прогресуючого
обвалення будівель і споруд в просторово-нелінійній постановці»**,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 19 – Архітектура та будівництво
за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Аналіз представленої дисертаційної роботи дозволив сформулювати наступні висновки щодо актуальності, наукової новизни, достовірності та практичного значення виконаного дослідження.

Актуальність обраної теми

Сучасний етап розвитку будівельної галузі нерозривно пов'язаний із необхідністю гарантування безпеки експлуатації будівель та споруд в умовах дії екстремальних непередбачуваних впливів. Глобальне зростання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій, що мають як техногенне, так і воєнне походження, змушує інженерну спільноту переглядати усталені підходи до проєктування та оцінки надійності. Однією з проблем у цьому контексті є явище прогресуючого обвалення.

Для України ця проблема вийшла на перший план і набула масовості з початком повномасштабного військового вторгнення. Численні випадки ураження цивільних та промислових будівель наочно засвідчили критичну вразливість: об'єкти часто зазнавали тотального руйнування навіть у тих випадках, коли первинний ударний чи вибуховий вплив обмежувався порівняно невеликою локальною зоною.

Попри те, що вивчення прогресуючого обвалення ведеться у світі вже кілька десятиліть (починаючи від відомих аварій минулого століття), інструментарій, закладений у чинну нормативну базу, залишається вкрай консервативним і багато в чому недосконалим. Регламентовані стандартами алгоритми розрахунку переважно спираються на сильно спрощені, ідеалізовані сценарії – наприклад, концепцію «чистого» раптового вилучення однієї вертикальної опори, яка розглядається ізольовано від фізичної природи самої аварії. Такі спрощення не здатні адекватно

відтворити складну просторово-нелінійну поведінку каркаса в умовах реальної динаміки, оскільки вони ігнорують супутні пошкодження суміжних елементів та фактичні фізико-механічні зміни в матеріалах. Внаслідок цього формується суттєве протиріччя між теоретичними результатами, отриманими за нормативними методиками, та реальною картиною поведінки споруд під час аварій. Тому вдосконалення існуючих методів розрахунку на основі потужного апарату скінченно-елементного моделювання, здатного інтегрувати фізичну та геометричну нелінійності, а також враховувати специфіку та наслідки конкретного аварійного впливу, стає нагальною потребою.

Отже, актуальність теми дисертаційного дослідження обумовлена наявною потребою будівельної галузі в нових наукових підходах щодо забезпечення стійкості до прогресуючого обвалення. Вирішення цього науково-практичного завдання є життєво необхідним як для об'єктивного обстеження пошкоджених будівель, так і для закладення надійних проєктних рішень у процесі повоєнної відбудови.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій базується на коректному використанні фундаментальних законів будівельної механіки, а також на застосуванні передового математичного апарату чисельних методів. Логіка побудови роботи передбачає послідовний перехід від глибокого теоретичного аналізу проблеми до масштабних параметричних досліджень та практичної верифікації.

Достовірність основних положень дисертації підтверджується:

- 1) використанням перевірених підходів нелінійного динамічного аналізу, зокрема прямого інтегрування рівнянь руху за часом;
- 2) детальним співставленням результатів чисельного моделювання з даними трьох динамічних експериментальних досліджень: залізобетонної плити на 6 опорах, повномасштабного двоповерхового залізобетонного каркаса на 9 опорах та серії двоповерхових сталевих рам;
- 3) успішною апробацією створеної методики на прикладі реального об'єкта, що зазнав аварійного впливу внаслідок влучання БПЛА.

Наукова новизна одержаних результатів

Дисертаційна робота містить вагомий науковий результат:

- 1) створено на основі методу скінченних елементів ефективну методику чисельного моделювання процесу прогресуючого обвалення будівель і споруд із урахуванням причини, що призвела до руйнуючої події;
- 2) вперше представлено підхід моделювання раптового видалення конструкцій із врахуванням руйнувань та пошкоджень суміжних конструкцій, що з'явилися після аварійного впливу;
- 3) визначено оптимальні параметри традиційного чисельного моделювання процесу прогресуючого обвалення шляхом верифікації на основі експериментальних досліджень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в удосконаленні методології чисельного розрахунку на стійкість до прогресуючого обвалення. Запропоновані підходи дозволяють створювати розрахункові схеми, що максимально відповідають реальним сценаріям аварійних впливів. Результати можуть бути використані під час проєктування, обстеження, а також розробки та актуалізації будівельних нормативних документів.

Повнота викладення матеріалів опублікованих праць

Основні положення та результати дисертації повною мірою висвітлені у 15 наукових працях. З них 2 статті опубліковано у фахових виданнях категорії «А» (Web of Science), 5 статей – у виданнях категорії «Б», а також 8 публікацій представлено у формі тез доповідей на національних та міжнародних конференціях і симпозіумах.

Оцінка змісту, стилю та мови дисертації, її завершеності, оформлення

Представлена дисертація є структурно завершеною науковою працею, що складається з анотацій українською та англійськими мовами, списку публікацій здобувача за темою дисертації, переліку скорочень та позначень, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг

роботи становить 176 сторінок, з яких 146 сторінок припадає безпосередньо на основну частину.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, вказано зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформовано об'єкт, предмет, мету та методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів, а також наведено дані щодо особистого внеску автора, високого рівня апробації результатів та повноти їх відображення у 15 наукових публікаціях.

У першому розділі здобувачем проведено ґрунтовний огляд світових випадків прогресуючого обвалення будівель і споруд, а також систематизовано причини, види та конструктивні особливості таких руйнувань. Здійснено глибокий критичний аналіз вітчизняної та закордонної нормативної бази щодо підходів до забезпечення стійкості конструкцій. В результаті аналізу автор сформулював ключові проблеми сучасних підходів, зокрема вказав на те, що принцип незалежності від типу загрози при традиційному моделюванні не повною мірою відображає реальні сценарії аварій.

У другому розділі викладено методологічний апарат розрахунків на основі методу скінченних елементів. Здобувачем описано особливості квазістатичного та динамічного методів, а також обґрунтовано припущення щодо врахування фізичної та геометричної нелінійностей. Значну увагу приділено впливу швидкості деформування на механічні характеристики матеріалів. Важливим здобутком розділу є теоретичне обґрунтування необхідності моделювання процесу прогресуючого обвалення з урахуванням наслідків аварійного впливу – пошкоджень та руйнувань суміжних конструкцій, а не лише "чистого" раптового видалення одного елемента.

У третьому розділі наведено результати масштабної верифікації розрахункових моделей. Здобувач виконав пошук оптимальних параметрів чисельного моделювання шляхом співставлення з даними трьох динамічних експериментів: залізобетонної плити на 6 опорах, двоповерхового залізобетонного каркаса просторової конфігурації та двоповерхової сталеві рами. Детальний ітераційний аналіз дозволив виявити недоліки спрощеного квазістатичного підходу та підтвердити переваги нелінійного динамічного методу з коректним налаштуванням демпфування та динамічного зміцнення. На основі цих досліджень вперше представлено удосконалену методику динамічного розрахунку будівель, що складається з шести послідовних етапів.

У четвертому розділі апробовано створену методику на реальній будівлі, яка зазнала пошкоджень унаслідок впливу ураження БПЛА. Здобувач виконав порівняльний аналіз моделювання за вимогами чинних норм та за удосконаленою методикою. Доведено, що нормативний підхід прогнозував обвалення ділянки через руйнування болтових з'єднань, тоді як запропонована методика, яка врахувала розвантаження каркаса внаслідок миттєвого руйнування легких огорожувальних сендвіч-панелей вибуховою хвилею, показала суттєве зниження амплітуди коливань та внутрішніх зусиль. Це повністю підтвердилося фактичним збереженням цілісності з'єднання на об'єкті після аварії.

У загальних висновках узагальнено основні результати, отримані під час виконання дисертаційного дослідження. Висновки є конкретними, змістовними та повною мірою відповідають поставленим у вступі завданням. Вони логічно випливають із результатів проведених теоретичних та чисельних досліджень, підтверджуючи досягнення головної мети роботи – удосконалення методик розрахунку будівель і споруд на стійкість до прогресуючого обвалення на основі методу скінченних елементів.

В процесі детального ознайомлення з текстом дисертації виникли наступні зауваження.

1. Не зрозуміло чи враховувався у розрахункових моделях фактор швидкості деформації матеріалу, оскільки при раптовому руйнуванні несучих елементів швидкість деформування суміжних сталевих конструкцій суттєво зростає, що безпосередньо впливає на границю текучості матеріалу та характер деформування?

2. Потрібні додаткові пояснення, які саме види нелінійності враховувалися у дисертаційній роботі і як це вплинуло на кінцеві результати моделювання?

3. В процесі моделювання прогресуючого обвалення критичний стан системи може настати внаслідок різних чинників. Як відбувається руйнування досліджуваних в роботі тестових конструкцій у закритичній стадії: через вичерпання міцності перерізів чи внаслідок втрати загальної або місцевої стійкості елементів каркаса?

Загальний висновок

Дисертаційна робота Фесуна Ігоря Костянтиновича на тему «Скінченно-елементне моделювання процесу прогресуючого обвалення будівель і споруд в просторово-нелінійній постановці» є завершеним і самостійним науковим дослідженням, яке вирішує актуальне науково-прикладне завдання.

Дисертація відповідає всім вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Рецензент

Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри будівельної механіки
Київського національного університету
будівництва і архітектури

Іван СОЛОДЕЙ



Підпис І.І. Солодея засвідчую

Проректор з наукової роботи
та інноваційного розвитку КНУБА,
к.т.н., професор



Олександр КОВАЛЬЧУК