

на дисертацію Кураша Сергія Юрійовича „Математичне моделювання реакції будівель та споруд на вибухові впливи”,

що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 01.05.02 „Математичне моделювання та обчислювальні методи” у спеціалізовану вчену раду Д 26.255.01 при Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національній академії наук України

Рукопис дисертаційної роботи, що розглядається, включає вступ, чотири розділи та висновки, присвячені розробці математичного моделювання реакції будівель і споруд на бойові та промислові вибухи, розробці комплексної оцінки падіння їх життєвого ресурсу. Окрім того, в роботі наведено два додатки (А і Б). В додатку А підтверджується впровадження результатів дисертаційної роботи в будівельну практику. Окремо подано умовні скорочення та список літературних джерел, що використані в роботі, включаючи і публікації автора за результатами досліджень. Робота викладена на 196 сторінках, включаючи графіки, таблиці, розрахункові схеми та фото, що пояснюють текст дисертації. Основна частина роботи наведена на 138 сторінках. Загалом побудова дисертації, її об'єм та наповнення відповідає останнім вимогам МОН України до кандидатських дисертацій. В цілому немає зауважень до побудови роботи та об'єму рукопису дисертації.

Актуальність роботи. У 2022 р. проблема системного оцінювання динамічних впливів на цивільну та промислову забудову в Україні набула особливої гостроти у зв'язку із російським вторгненням. У цьому випадку математичне моделювання будівель необхідно проводити в умовах «прогресуючого обвалення»: у графічній моделі потрібно виключати один або кілька фрагментів, які були зруйновані внаслідок влучання ракет, снарядів, мін тощо.

До сьогодні не існує науково обґрунтованих і застосовуваних у широкому діапазоні умов бойових та промислових вибухів теоретичних математичних методів прогнозування небезпеки і методів захисту будівель та споруд від шкідливого впливу проходження повітряних і ґрунтових ударних хвиль, а також методів оцінювання залишкового ресурсу тощо. Визначення

№161/16.06.23-1 від 16.06.2023р.

складу та структури комп'ютерних програм, підготовка первинної інформації, настроювання та верифікація комп'ютерних моделей будівель і споруд за допомогою експериментальних методів неруйнівного контролю вимагають проведення натурних досліджень з визначення параметрів потоку хвильової енергії від бойових і промислових вибухів, оброблення великого обсягу статистичного матеріалу. Отже, актуальність теми дослідження не викликає сумнівів.

Побудова роботи та основні положення, що зафіксовані в окремих розділах дисертації

У вступній частині (с.16...22) стисло викладені основні положення роботи, як того вимагає МОН України. Підкреслимо, що дана робота виконана в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України (ІТГІП НАНУ). Результати, що отримано під час виконання роботи, є складовою частиною досліджень, які проводилися в межах науково-дослідних робіт ІТГІП НАНУ:

– «Розробка обчислювальних технологій та методів моделювання для дослідження нестационарних процесів» (2016–2020 рр., номер держреєстрації 0116U000793);

– «Розвиток методів і технологій моделювання структурованих систем» (2021–2023 рр., номер держреєстрації 0121U109226);

- «Розробка багатохвильових нелінійних моделей просторових протяжних систем та об'єктів в полі масових і поверхневих сил» (2022–2026 рр., номер держреєстрації 0122U000147).

Тема дисертації відповідає актуальним напрямкам науково-технічної політики України, визначеним у статті 45 Закону України «Про наукову і науково-технічну діяльність» (редакція від 16.07.2019, підстава - 2704-VIII).

Тому щодо поставленої мети та завдань в роботі зауважень немає.

Розділ 1 (с.23...55) дисертації наведено огляд та аналіз математичних методів прогнозування небезпеки промислових та бойових вибухів і методів захисту споруд від їх шкідливого динамічного впливу; експериментальних гібридних систем моделювання напружено-деформованого стану (НДС) будівель та споруд, що піддалися дії бойових вибухів. Аналіз виявив значну складність вирішення задач математичного моделювання оцінювання впливу бойових впливів на цивільні споруди. Це, насамперед, обумовлено якістю

кількісної вихідної інформації про вибухи (початкові умови), розмаїттям будівель і споруд, невизначеністю та труднощами коректного врахування взаємодії будівель з їх основою. Складнощі у визначенні крайових умов викликані змінністю силових сполучень конструкцій будівлі, непружними (нелінійними) властивостями матеріалів, що не відповідають проєктним даним, недостатньою вивченістю їх технічного стану (ТС), попередньою наявністю пошкоджень і тріщин, що не враховуються при чисельному моделюванні напружено-деформованого стану багатьма сертифікованими в Україні пакетами прикладних програм (Ліра, SCAD та ін.).

Аналіз наслідків бойових і промислових вибухів, багатьох результатів математичного та експериментального моделювання свідчить про те, що: для коректного задання початково-крайових умов необхідні більш достовірні результати з використанням інструментально отриманих або синтезованих акселерограм динамічних впливів; необхідне врахування знакозмінних статичних і динамічних навантажень для розрахунку залізобетонних стрижневих і площинних конструкцій; ступінь опору конструкцій і зміну зовнішніх впливів відображає конструкційний ризик.

В цілому, до даного розділу особливих зауважень немає.

У Розділі 2 (с.56...93) окреслено методологію гібридних систем моделювання НДС будівель і споруд, що зазнали дії бойових вибухів, де використовувалися б інформаційні технології IoT при проведенні досліджень. Крім традиційних пакетів прикладних програм Ліра або SCAD, потрібні також IoT-системи датчиків неруйнівного контролю з дослідження міцнісних і вібраційних характеристик будівлі та ґрунтової основи. Така IoT-система за допомогою хмарних технологій об'єднана в одну інформаційну мережу та дозволяє в онлайн-режимі отримувати необхідну інформацію, що висвітлює особливості конкретної будівлі. Розглянуті рівняння коливань будівлі або споруди як багатомасової системи. Чисельне моделювання НДС будівель та споруд проводиться із застосуванням метода скінчених елементів на основі програмного комплексу ПК ЛІРА САПР. Важливою перевагою викладеного методу є те, що матриця жорсткості і вектор навантажень отримують підсумовуванням відповідних елементів матриць жорсткості і векторів навантажень, які побудовані для окремих скінчених елементів. Динаміка за часом у загальному випадку передбачає задання чотирьох завантажень. Наведено прикладну методику визначення конструкційного

ризикі при динамічних впливах та алгоритм обчислення ризику руйнування конструкції.

Розділ 3 (с. 94...120) наведені результати експериментальних досліджень методами неруйнівного контролю динамічних впливів від ґрунтових ударних хвиль, що обумовлені промисловими вибухами на залізорудних кар'єрах м. Кривий Ріг за допомогою багатоканальної експериментальної системи сейсмомоніторингу. Приведені експериментальні дані по результатам визначенні міцності бетону та динамічним характеристикам будівлі (початково-крайовим умовам) по проспекту В. Лобановського, 6А, у місті Київ.

Аналіз спектрів прискорень ґрунту під час вибухів на залізорудних кар'єрах м. Кривий Ріг дозволив встановити, що переважаючі частоти перебувають у діапазоні 1–50 Гц. Існує можливість коливань перекриттів і стін будівель у резонансному режимі. З метою виключення осідань фундаментів будівель при вибухах, прискорення ґрунту потрібно обмежувати значенням 15 см/с^2 згідно діючих нормативних документів України.

Житловий будинок по проспекту Лобановського, 6А, введений в експлуатацію в 2009 році. 26 лютого 2022 року будинок зазнав руйнувань, внаслідок влучання ракети під час обстрілу. На окремих ділянках 18–20 поверхів будинку технічний стан оцінюється за категорією «4» (аварійний). За категорією «3» (непридатний до нормальної експлуатації) – на рівні 17–27 поверхів. Визначено вібраційні характеристики частково зруйнованої будівлі (початково-крайові умови для чисельного вирішення початково-крайової задачі з математичного моделювання її напружено-деформованого стану).

У розділі 4 (с.121...162) наведено результати математичного моделювання НДС та оцінку життєвого циклу багатоповерхової будівлі в м. Києві після влучання ракети та відновлення, а також будівлі Центру дитячої творчості «Мрія» (далі – «Центру») в м. Кривий Ріг, що знаходиться на межі санітарної зони залізорудних кар'єрів та регулярно потерпає від ґрунтових ударних хвиль, спричинених промисловими вибухами в кар'єрах.

Створено дві розрахункові схеми будівлі для проведення теоретичних досліджень: схема 1, в якій відсутні пошкодження, та схема 2 з основними пошкодженнями в несучих стінах будівлі Центру: розрахункова схема 1 відображає вихідний стан будівлі при введенні її в експлуатацію; розрахункова схема 2 – на момент обстеження. Головними критеріями для перевірки коректності цифрової моделі будівлі Центру є цифрові значення її

динамічних параметрів (порівняння проводилося з результатами експериментального та візуального обстежень будівлі Центру).

Верифікацію моделі будівлі по проспекту Лобановського, 6А в м. Києві з елементами ушкоджень в межах 18–21 поверхів та розрахунки виконано у ПК ЛПА САПР-2021 з використанням розробленої просторової моделі фрагменту будинку (16–26 поверхи). Розглянуто два варіанти моделей: лінійна та нелінійна з урахуванням фізичної нелінійності бетону та арматури. Визначення несучої здатності перерізів монолітних залізобетонних пілонів будівлі виконувалося за деформаційним методом, згідно з положеннями ДБН В.2.6-98:2009 та ДСТУ Б В.2.6-156:2010 з використанням зусиль, отриманих за допомогою просторової лінійної та нелінійної моделей фрагменту будинку у програмному комплексі ЛПА САПР-2021. Виконано оцінювання ризику руйнування конструкцій будівлі та побудовано криву її життєвого циклу, що дозволило отримати кількісну оцінку залишкового ресурсу будівлі.

Загальні висновки по роботі викладені на с.163...164. Вони стислі і відповідають виконаним дослідженням.

Список використаних джерел (с.165...188) включає 204 літературних джерел. В списку переважають сучасні видання, матеріали міжнародних конференцій світового і європейського рівня. На всі джерела в тексті дисертації є посилання.

Додаток А (с.189...190) – це інформаційні матеріали, що підтверджують впровадження результатів роботи.

Додаток Б (с.191...196) – наведено список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

Таким чином, *структура дисертації, порядок виконаних досліджень, висновки по роботі, рекомендації автора і їх реалізація на практиці повністю відповідають закінченій науково-дослідній роботі*, що має таку характеристику:

Наукова новизна полягає у тому, що вперше розроблено модель гібридної напівнатурної системи математичного моделювання напружено-деформованого стану будівель та споруд з урахуванням їх поточного технічного стану пошкоджень та руйнувань, внаслідок бойових дій або

регулярних динамічних впливів у вигляді промислових вибухів. Вперше запропоновано алгоритм методу математичного моделювання напружено-деформованого стану пошкоджених, внаслідок бойових дій чи промислових вибухів, багатоповерхових будівель з експериментальним уточненням початково-крайових умов для коректного забезпечення підготовки первинної інформації за допомогою методів неруйнівного контролю. Узагальнено метод прямого динамічного розрахунку каркасних багатоповерхових залізобетонних будівель при динамічних знакозмінних навантаженнях у вигляді влучання ракет або снарядів, який дозволяє більш докладно здійснити інтерпретацію результатів розрахунків та більш точно прогнозувати залишковий ресурс цих будівель.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість результатів досліджень забезпечується коректністю використаних математичних доказів та виведень під час розгляду основних наукових положень. Розроблені методи та алгоритми ґрунтуються на фундаментальних засадах і не суперечать їм. Достовірність наукових результатів підтверджує достатній ступінь збігу результатів з експериментальними даними.

Практична цінність роботи полягає в тому, що здобувач є співавтором ДБН В.1.2-12-2008. «Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки». Науково-методичні розробки дисертаційної роботи впроваджені в будівельну практику.

Повнота відображення основних положень дисертації у виданих роботах. Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковані у десятих публікаціях у наукових фахових виданнях, затверджених МОН України, ще одна – проіндексована в наукометричній базі даних Scopus. Серед публікацій, які додатково відображають наукові результати дисертації, чотири доповіді – у матеріалах міжнародних та всеукраїнської науково-практичних конференцій. Одна публікація – державні будівельні норми України. Здобувач є співавтором доповідей на 14 українських та міжнародних конференціях, де знайшли відображення його наукові напрацювання. Оцінюючи його професійну підготовку за дискусіями на конференціях, підтверджую, що Кураш С.Ю. сформувався як зрілий та досвідчений науковець.

Автореферат за змістом відповідає тексту дисертації, основні висновки по роботі ідентичні. Його обсяг – 26 сторінок. Щодо змісту автореферату в порівнянні з текстом дисертаційної роботи *зауважень немає*.

Оформлення дисертації та автореферату, в основному, відповідає вимогам Департаменту атестації наукових кадрів МОН України, якщо не звертати увагу на заголовки курсивом або жирним шрифтом без нумерації, не оформлені як пункти чи підпункти, а також на текст, виділений у роботі червоним кольором та курсивом. Дисертаційна робота та автореферат складені державною мовою, матеріал викладено професійно, добре проілюстровано.

Відсутність порушення академічної доброчесності. У дисертації та авторефераті відсутні порушення академічної доброчесності.

Додатково можна зробити такі загальні зауваження до роботи:

1. З роботи не зрозуміло чи врахована і яким чином дія зовнішніх факторів, які можуть впливати на будівлі під час проведення експериментів, окрім вибухів, а саме – сильного вітру (на рівні 20-го поверху це може бути суттєвим), неподалік розташованих ліній рейкового транспорту чи автострад тощо. І яким чином оцінюється цей вплив та де враховується у рівняннях?

2. Не дуже зрозуміло як автор розуміє термін «Інтернет речей». Зазвичай, цей термін означає мережу фізичних об'єктів («речей»), які з'єднані між собою і з Інтернетом і мають здатність автоматично збирати дані та обмінюватися ними. Згідно самого терміну та цього визначення, має бути підключення датчиків до Інтернету. Але, з роботи складається враження (див. стор. 72 чи 96), що передбачено лише звичайне підключення датчиків проводом до ноутбука. Хіба що це – тільки на етапі тестування пілотної версії інформаційно-вимірювального блоку моделюючої системи. Можливо, автор передбачає в майбутньому масштабування розробки із забезпеченням доступу до Інтернету та до хмарних сховищ з використанням сучасних телекомунікаційних і мережевих технологій?

3. У роботі, особливо у розділі 3, є чимало заголовків курсивом або жирним шрифтом без нумерації, які слід було позначати та оформляти як пункти чи підпункти. Є й текст під назвою «Висновки за розділом 3.1», але «3.1» - це підрозділ, а не – розділ. Причому, є й просто речення курсивом (наприклад, див. с. 112), які не є заголовками. А ще є речення зі словами,

виділеними і курсивом, і червоним кольором шрифту (див. в деяких місцях на с. 104-108). Це дещо порушує загальноприйняте структурування та оформлення роботи.

4. Формули у тексті наведені шрифтом різного розміру, а у підрозділі 4.1 в тексті використано посилання на номери формул без вказання номеру розділу ((5)-(8) замість (4.5)-(4.8)). Крім того, у підрозділі 4.2 згадана формула (1) – вочевидь, йдеться про першу формулу підрозділу 4.1, тобто – (4.9), а не про першу формулу у розділі – (4.1). Це дещо порушує вимоги і ускладнює ознайомлення з матеріалом роботи.

Наведені зауваження *не впливають в цілому на отримані результати та зроблені висновки.*

На основі детального розгляду роботи вважаю, що дисертація *Кураша Сергія Юрійовича „Математичне моделювання реакції будівель та споруд на вибухові впливи”* відповідає вимогам Департаменту атестації наукових кадрів МОН України, а її автор *заслуговує присвоєння йому наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 01.05.02 „Математичне моделювання та обчислювальні методи”.*

Офіційний опонент,
професор, докт. тех. наук

Віталій МОКІН

„15”06..... 2023 р.

Підпис Мокіна Віталія Борисовича, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри системного аналізу та інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету **затверджую**

Вчений секретар ВНТУ,
доцент, канд. тех. наук



Інна ВІШТАК