

В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертаційну роботу Гайдар Анастасії Миколаївни
на тему «РАЦІОНАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ І
ПОЛІМЕРБЕТОННИХ БУДІВЕЛЬ ІЗ ДЕМПФЕРАМИ СУХОГО ТЕРТЯ ЗА
ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ»

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка

Дисертаційну роботу Гайдар А. М. присвячено розвитку методів еволюційного моделювання, а саме штучного колективного (так званого ройового) інтелекту для раціонального проектування систем сейсмічного захисту будівель на основі демпферів сухого тертя. Сформульовано чисельні процедури методу рою частинок та генетичного алгоритму. Виконано порівняльний аналіз даних методів при визначенні екстремумів тестових функцій: «долинної» функції Розенброка та мультимодальної функції Растрігіна.

Розглянуто 2D моделі багатоповерхових каркасних будинків. У якості цільових функцій прийнято амплітуди переміщень та перекося поверхів. Досліджено нестационарні коливання рам каркасу, спричинені періодичними та сейсмічними навантаженнями. Останні представлено у вигляді суперпозиції гармонічних хвиль із дискретними частотами та випадково заданими фазами. За допомогою методу рою частинок визначено раціональні місця розташування демпферів, які відповідають мінімумам заданих цільових функцій. Розглянуто моделі будинків із залізобетонним та полімербетонним каркасом. Досліджено, як фізико-механічні властивості матеріалу каркасу впливають на динамічні характеристики будівель.

Наукові результати дисертаційної роботи дають можливість знаходити раціональні проектні рішення з розміщення демпферів сухого тертя у багатоповерхових каркасних будинках, що забезпечують підвищення їх стійкості до динамічних та сейсмічних впливів.

1. Актуальність теми досліджень

При проектуванні будівель із демпферами сухого тертя нетривіальною задачею є визначення раціональних місць встановлення демпферів. З математичної точки зору, це задача нелінійної неопуклої оптимізації, для розв'язання якої можуть застосовуватися різні підходи. Останніми роками інтенсивно розвиваються методи ройового інтелекту, які мають ряд переваг у порівнянні з класичними алгоритмами: не потребують обчислення градієнтів цільової функції, уникають «зависання» у локальних екстремумах, забезпечують рівномірне дослідження усього простору розв'язків та, що у даному випадку є дуже важливим, дозволяють використовувати закодовані параметри задачі. У зв'язку з цим тема та завдання дисертаційної роботи, пов'язані з розвитком методів ройового інтелекту для визначення раціонального розташування демпферів у каркасних будинках, а також застосування одержаних результатів при динамічному моделюванні будівель та визначенні їх напружено-деформованого стану під дією динамічних навантажень, є беззаперечно актуальними для подальшого розвитку будівельної механіки.

Дисертаційна робота виконана відповідно до наукових планів ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва і архітектури» у рамках науково-дослідної теми №55 «Міцність, жорсткість, стійкість і коливання однорідних і неоднорідних стержнів, пластин, оболонок та композиційних конструкцій, включаючи об'єкти біологічного походження», державний реєстраційний номер 0116U006049, 2016–2020 (виконавець).

2. Структура роботи

Дисертація складається зі списку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та п'яти

додатків. У додатках наведено список публікацій здобувача за темою роботи та відомості про апробацію одержаних результатів; програмний код для реалізації методу рою частинок, генетичного алгоритму та для динамічного розрахунку каркасних будинків; документи, що засвідчують практичне впровадження результатів досліджень. Повний обсяг роботи становить 157 сторінок. Робота містить 54 рисунка та 1 таблицю. Список використаних джерел включає 84 найменування на 9 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації складає 110 сторінок.

У **вступі** наведено загальну характеристику дисертації. Обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання досліджень. Висвітлено наукову новизну одержаних результатів, подано відомості щодо їх достовірності та практичного значення. Наведено дані про публікації та апробацію результатів дисертації; зазначено особистий внесок здобувача.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану задач, які розв'язуються у дисертаційній роботі. Розглянуто сучасні засоби для захисту будівель від сейсмічних впливів. Наведено огляд методів розв'язання задач нелінійної оптимізації. Окрему увагу приділено чисельним підходам, які імітують поведінку біологічних систем, зокрема генетичним алгоритмам та методам ройового інтелекту. Зміст розділу є повним і докладним, охоплює роботи, виконані як у вітчизняних, так і у закордонних наукових школах.

У **другому розділі** викладено теоретичні основи методів ройового інтелекту. Наведено чисельні процедури методу рою частинок та генетичного алгоритму; проведено адаптацію цих методів до сформульованої оптимізаційної задачі, зокрема розроблено відповідний програмний код для системи комп'ютерної алгебри з відкритим кодом Maxima. Виконано порівняльний аналіз двох методів при знаходженні екстремумів тестових функцій Розенброка та Растрігіна. Показано, що обидва методи дозволяють одержати наближені розв'язки тестових задач при приблизно однаковій витраті обчислювальних ресурсів. У наступних розділах дисертаційної роботи, для

визначення місць раціонального розташування демпферів сухого тертя застосовано метод рою частинок.

Третій розділ присвячено визначенню раціонального розташування демпферів із використанням програмного комплексу (ПК) ЛІРА-САПР. Розглянуто 2D модель десятиповерхового каркасного будинку. Знайдено частоти власних коливань. Розрахунок на сейсмічне навантаження, виконаний у ПК ЛІРА-САПР, дозволив визначити максимальні переміщення рами каркасу. Задачу раціонального розташування демпферів сухого тертя розв'язано за допомогою методу рою частинок для випадку періодичного навантаження, яке прикладено до опорних вузлів із частотою, що дорівнює частоті першої форми власних коливань. У якості цільової функції прийнято переміщення верху каркасу. Застосування демпферів сухого тертя забезпечує швидке згасання коливань споруди навіть у розглянутому найнебезпечнішому випадку резонансу. Досліджено, як фізико-механічні властивості матеріалу каркасу впливають на динамічні характеристики будинку. Наведено чисельні результати для власних частот та максимальних переміщень залізобетонного та полімербетонного каркасів.

У **четвертому розділі** запропоновано наближену аналітичну модель, що описує нестационарні коливання багатопверхових каркасних будинків. Розрахункову схему прийнято у вигляді вертикального консольного стрижня із зосередженими масами, які розташовані на рівні перекриттів. Розглянуто 2D модель шестиповерхового каркасного будинку. Власні частоти запропонованої спрощеної моделі добре узгоджуються із результатами чисельного моделювання вихідної конструкції у ПК ЛІРА-САПР. Одержано нелінійну систему диференціальних рівнянь, що описують динамічну поведінку будинку із демпферами сухого тертя. Для чисельного розв'язання даної системи застосовано метод Рунге-Кутти. Розроблено відповідну програмну реалізацію у системі Maxima.

У **п'ятому розділі**, на основі складеної вище аналітичної моделі, досліджується раціональне розташування демпферів сухого тертя для

мінімізації наслідків сейсмічних впливів. Запропоновано математичну модель сейсмічного навантаження у вигляді стохастичного гауссовського процесу, а саме, як суперпозицію гармонічних хвиль із дискретно заданими частотами і випадковими фазами із нормальним розподілом. Побудовано акселерограми для різних типів ґрунтів. Одержано чисельні розв'язки задачі нестационарних коливань шестиповерхового каркасного будинку під дією сейсмічного навантаження. Досліджено варіанти раціонального розташування демпферів за умов мінімізації двох цільових функцій: амплітуди переміщень та амплітуди відносних перекосів поверхів. Досліджено, як властивості матеріалу каркасу впливають на динамічну реакцію будівель. Наведено порівняльний аналіз динамічних характеристик залізобетонного і полімербетонного будинків.

3. Оцінка обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій дисертаційної роботи

Результати дисертації адекватно відбивають фізичну природу розглянутих задач. Проведений аналіз літературних джерел, кваліфікований вибір мети та завдань дослідження, математично коректне формулювання задач, використання сучасних науково-обґрунтованих методів досліджень, добре узгодження отриманих чисельних і аналітичних результатів, точне формулювання отриманих висновків дозволяють стверджувати про високу обґрунтованість та достовірність результатів дисертаційної роботи.

4. Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи може бути сформульована в наступних пунктах.

1. Задача визначення раціонального розташування демпферів сухого тертя є задачею дискретної оптимізації переборного типу, для розв'язання якої не існує ефективних обчислювальних методів (NP-складна задача). Для її розв'язання автором запропоновано та обґрунтовано використання методів еволюційного моделювання. Проведено суттєву адаптацію методу рою частинок для визначення раціонального дизайну каркасних будівель із демпферами сухого тертя.

2. За допомогою методу скінченних елементів у програмному комплексі ЛІРА-САПР, уточнено динамічні характеристики будівель та одержано нові чисельні розв'язки задач нестационарних коливань, викликаних дією періодичних навантажень.

3. Дістала подальший розвиток розрахункова модель із зосередженими масами, що описує нестационарні коливання багатоповерхових будинків із демпферами сухого тертя.

4. Дістала подальший розвиток модель сейсмічного навантаження у вигляді суперпозиції пакету гармонічних хвиль, при цьому спектральну густину енергії пакету описано за допомогою відомих емпіричних залежностей.

5. На основі запропонованої розрахункової моделі із зосередженими масами, за допомогою методу Рунге-Кутти одержано нові уточнені розв'язки задач нестационарних коливань багатоповерхових будинків із демпферами сухого тертя під дією періодичних та сейсмічних навантажень.

6. Вперше за допомогою методу рою частинок визначено місця раціонального розташування демпферів у каркасних будівлях, що дозволило суттєво знизити амплітуду коливань та прискорення конструкцій.

5. Практичне значення результатів роботи та їх впровадження

Розвинуті здобувачем методи дослідження динамічних властивостей багатоповерхових будинків дають можливість визначати переміщення, прискорення та перекоси поверхів, викликані динамічними навантаженнями

різної природи, виконувати аналіз сейсмічної стійкості будівель та знаходити раціональні проектні рішення із розміщення демпферів сухого тертя для мінімізації негативних наслідків динамічних впливів.

Практична цінність дисертаційної роботи підтверджуються використанням одержаних результатів компанією ТОВ «Кіровський» при розробці та реалізації проектів житлових будівель із підвищеною стійкістю до дії динамічних навантажень. Наукові положення дисертації використовуються у навчальному процесі при читанні лекцій студентам магістратури та виконанні магістерських дипломних робіт на будівельному факультеті у ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури».

6. Повнота викладення результатів дослідження у публікаціях та апробація

Основні положення та результати дисертаційної роботи висвітлено у 6 статтях, опублікованих у наукових фахових виданнях, серед яких 2 статті опубліковані в іноземному виданні. Результати дисертаційної роботи доповідалися на 6 наукових конференціях; опубліковано 5 тез доповідей. Рівень і кількість публікацій, а також апробація матеріалів дисертації на конференціях відповідають вимогам МОН України.

7. Оцінка мови і стилю дисертації

Зміст роботи викладено в логічній послідовності, на високому науковому рівні та з використанням грамотної і коректної термінології. Структура та оформлення дисертації і автореферату відповідають правилам, що висуваються до науково-технічної документації. Зміст автореферату є ідентичним основним положенням дисертації.

8. Зауваження

1. При реалізації методу рою частинок було би доцільно застосувати адаптаційні алгоритми, коли значення вагових коефіцієнтів змінюються у процесі роботи методу. Це дозволило би на початковому етапі реалізувати більш глобальне дослідження усього простору розв'язків задачі оптимізації, а на завершальних етапах – обмежити пошук локальною областю в околицях найкращого розв'язку.

2. Було би доцільно застосувати різні типи граничних умов на зовнішніх границях простору розв'язків та дослідити, яка з моделей зовнішніх границь забезпечує найвищу обчислювальну ефективність методу рою частинок.

3. Точність та ефективність генетичних алгоритмів суттєво залежить від обраної моделі еволюції, способів кодування хромосом, стратегій схрещування та відбору та багатьох інших параметрів. Для практичної реалізації генетичного алгоритму у роботі використовувалися найпростіші класичні оператори. Було би доцільно розглянути також інші схеми та дослідити, як їх застосування впливає на ефективність розв'язання розглянутих задач оптимізації.

4. У дисертаційній роботі застосовано методи ройового інтелекту для визначення місць раціонального розташування демпферів сухого тертя всередині будівель. При цьому властивості кожного демпферу (а саме, зусилля тертя) приймалися незмінними. Видається актуальним розв'язання поставлених у роботі задач оптимізації у випадку, коли можуть змінюватися не тільки місця розташування демпферів, але і властивості кожного з них. Це б дозволило виконувати більш точне налаштування систем сейсмічного захисту будівель.

5. У розділі 5, при розрахунках переміщень та перекосів поверхів полімербетонного каркасу під дією періодичного та сейсмічного навантажень, демпфери сухого тертя були розташовані відповідно до розв'язку задачі оптимізації, одержаного для залізобетонного каркасу. Було би доцільним окремо дослідити раціональні місця розташування демпферів у полімербетонних будівлях.

Наведені зауваження є принциповими, але не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

9. Висновок

Дисертація є завершеною науковою кваліфікаційною роботою, яка спрямована на розробку методів раціонального проектування багатопверхових будинків із демпферами сухого тертя для забезпечення їх стійкості до дії динамічних та сейсмічних навантажень. Тема і зміст дисертації відповідають пп. 4, 5, 7, 8 паспорту спеціальності 05.23.17 – будівельна механіка. Дисертаційна робота відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України щодо кандидатських дисертацій, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, Гайдар Анастасія Миколаївна, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри інформаційних систем
ДВНЗ «Український державний хіміко-
технологічний університет»,
доктор технічних наук, професор
«09» 04 2021 року

Д.Г. Зеленцов

Підпис завіряю:

Вчений секретар ДВНЗ УДХТУ



Л.Л. Руднева