

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Волчка Дениса Леонідовича на тему: «Розвиток методів теорії нечітких множин в задачах будівельної механіки та оптимізації проектування конструкцій в умовах невизначеностей», представлену на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка

Актуальність теми дисертації. Задачі розрахунку НДС, стійкості та міцності сучасних будівельних конструкцій, елементи яких моделюються ізотропними, ортотропними або композитними стержнями, пластинами та оболонками, продовжують бути актуальними на сьогоднішній час. Тому існує величезна кількість досліджень, присвячених цій проблемі. Але треба зауважити що, зазвичай формулювання подібних задач виконано в детермінованій постановці. Але, як показує практика, досить часто багато величин, що входять в математичну постановку задачі (навантаження, властивості матеріалу, розміри конструкції, умови закріплення та інш.) – можуть бути не зовсім детерміновані, а можуть змінюватися в деяких межах, внаслідок неминучих похибок виготовлення і вимірювання. Як результат, параметри системи задаються нечітким чином. Це ускладнює проектування та оптимізацію конструкцій взагалі і в тому числі в будівельній механіці, тому що постає питання адекватності та достовірності отриманих результатів аналізу або оптимізації будівельних конструкцій.

Враховуючи на те, що в сфері будівництва таких робіт досить недостатньо, розробка нових підходів до задач будівельної механіки та розробка відповідних методів реалізації являє собою, безумовно, актуальну та важливу науково-прикладну проблему. Дана робота саме і присвячена розробці та застосуванню новітніх досягнень математики, в тому числі теорії нечітких множин та теорії можливостей для дослідження елементів будівельних конструкцій, які знаходяться в умовах невизначеностей. Векторів застосування нових підходів досить багато. Так, це: виявлення факторів, які впливають на чутливість системи та загальна оцінка толерантності будівельної системи; оцінка впливу різнорідних невизначеностей; знаходження розв'язків з максимальним рівнем можливості, ймовірності чи довіри їм; нові підходи до знаходження коефіцієнтів надійності і т.д.

Вж. № 37-05/06
01.04.2024

Свідченням актуальності роботи є також те, що вона виконувалась відповідно до великої кількості іноземних програм: грант Alexander von Humboldt Foundation (Institutional academic cooperation programme, grant no. 3.4-Fokoop-UKR/1070297), стипендіальна програма "Eugen Ionescu" Університетської Агенції Франкофонії (AUF) в 2015-2016 роках за темою дослідження "Calcul des elements constructifs a condition que les donnees initiales sont incompletes", TEMPUS SEHUD № 530197-Tempus-1-2012-1-IT-TEMPUS-JPCR "Architecture and Sustainable Development Based on Eco-Humanistic Principles & Advanced Technologies without Losing Identity" 2012-2017 р., міжнародний проект «Atlas de l'expertise» 2018 р., проект EffectFact № 101008140 в рамках H2020 програми MSC Action: RISE-2022, проект The BRIDGE №101127884 (ERASMUS-EDU-2023-CBHE).

Результати дисертації також відображені в держбюджетній темі з номером держреєстрації 0116U00649 «Міцність, жорсткість, стійкість і коливання однорідних і неоднорідних стержнів, пластин, оболонок та композиційних конструкцій, включаючи об'єкти біологічного походження» в 2016-2020 роках (виконавець), та держбюджетній темі з номером держреєстрації 0121U109643 «Механіка тонкостінних конструкцій, неоднорідних матеріалів та біологічних тканин» в 2021-2023 роках (виконавець).

Обґрунтованість та достовірність результатів, отриманих у дисертаційній роботі підтверджується: використанням обґрунтованих та апробованих математичних методів та перетворень; перевіркою збіжності результатів запропонованих задач в умовах невизначеностей до детермінованих значень, отриманих за допомогою аналітичних та чисельних методів будівельної механіки. Збіжність результатів доводиться за допомогою постульованого в роботі підходу оцінки збіжності результатів до детермінованих даних при збільшенні рівня визначеності та при зменшенні інформації для випадкових, неточних та нечітких величин.

Оцінка змісту дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел і 3-х додатків.

Вступ відображає інформацію щодо актуальності дослідження. Сформульовано мету і завдання, представлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів та особистий внесок автора в наукових працях, опублікованих у співавторстві.

В першому розділі аналізується література за напрямом досліджень та обґрунтовується необхідність розвитку методів теорії нечітких множин в задачах будівельної механіки та оптимального проектування конструкцій.

В другому розділі роботи наведено необхідний матеріал для подальшого розуміння роботи. Надано стислий опис моделей невизначеного програмування, які реалізовано в подальших розділах роботи

В третьому розділі дисертаційної роботи методи невизначеного програмування розвинуто для стержневих систем, а саме проаналізовано: статично визначені та невизначені балки, прості та складні ферми, статично невизначені рами, криволінійні стержні. На прикладі ферми, що складається з чотирьох стержнів, проведене комплексне дослідження, що включало постановку та реалізацію різноманітних задач моделювання в умовах невизначеностей, аналіз впливу невизначених факторів.

Четвертий та п'ятий розділи дисертації присвячені розробці методів нечітких множин для дослідження ізотропних та ортотропних циліндричних оболонок, методів моделювання та оптимізації в умовах різних типів невизначеностей. Розроблено методи для таких моделей невизначеного програмування, як: нечітка модель очікуваного значення, модель з можливісними обмеженнями, модель нечіткого подійного програмування, модель з різнорідною невизначеністю (нечітко-випадковою та випадково-нечіткою), модель неточної оптимізації, нечітка модель імітаційного програмування.

В шостому розділі виконано дослідження конструкції з реальними експериментально визначеними границями невизначеності. Показано, що навіть невелика невизначеність в геометричних розмірах поперечного перерізу попередньо-напруженої залізобетонної балки суттєвим чином впливає на такі показники, як осьовий момент інерції та положення нейтральної осі. Результати дослідження показали, що в складних технічних системах необхідно враховувати невизначеності, що присутні в постановці задачі. Наприклад, для мостових конструкцій в нашій країні, що знаходяться в реальних умовах експлуатації можливе перевищення допустимої амплітуди коливань, що може привести до руйнування мосту.

В сьомому розділі розглянуті питання проектування шин розміри яких перевищують 3.5 м. Така багатокритеріальна оптимізаційна задача, поставлена в цьому розділі, дійсно має великий розмір вектору невизначених параметрів та потребує нових підходів для своєї реалізації. Як продовження

цього дослідження можливо було б розглянути питання пошуку найбільш впливових на чутливість такої нелінійної системи параметрів.

Висновки дисертаційної роботи узагальнюють найбільш важливу інформацію щодо результатів попередніх розділів, та підтверджують, що дисертація в цілому є закінченим науковим дослідженням.

Дисертація містить три **додатки**. Перший додаток наводить розроблені автором та інші допоміжні методи для реалізації наведених в дисертації задач. Другий додаток наводить додаткові таблиці, що дають розширений опис результатів розрахунків. Третій додаток надає акт впровадження теоретичних результатів дисертацій в навчальний процес та довідки про впровадження практичних та теоретичних результатів у виробничу діяльність.

Наукова новизна досліджень автора полягає в тому, що розроблено та узагальнено нові підходи до розрахунку будівельних технічних систем при наявності різномірної невизначеності, надано відповідні нові постановки задач та розроблено методи їх реалізації.

До основних пунктів наукової новизни слід віднести наступні положення:

1. Розроблено метод м'яких обчислень та нові підходи для розв'язання задач будівельної механіки, які базуються на техніці нечітких множин. Переваги запропонованих підходів полягають в тому, що вони дозволяють розв'язувати класичні і нові задачі в сфері будівництва, надаючи можливість оцінити границі можливої похибки, вплив різномірної невизначеності, оцінити очікуване значення.
2. Розроблено графоаналітичний метод розрахунку задач на міцність та жорсткість, за умови коли дані та мета проектування задаються словесними обмеженнями.
3. Запропоновані оптимізаційні моделі і методи їх реалізації ретельно апробовано на цілій низці стержневих систем та ферм в умовах нечіткої, неточної, інформації про вихідні дані. Особливої уваги заслуговують результати для геометрично нелінійної задачі про розрахунок великих прогинів стержня, аналіз стержня з тріщиною нечітких розмірів та аналіз впливу на результат для ферми, за умови додаткового обмеження щодо власної частоти коливань та при нечіткому завданні власної частоти та навантаження. За результатами проведених досліджень зроблено висновок

про необхідність включення в класичні детерміновані задачі урахування невизначеностей різних типів.

4. Виконано узагальнення розроблених методів на задачі теорії ізотропних та ортотропних циліндричних оболонок, які знаходяться в умовах різних типів невизначеностей. Реалізація розроблених методів оптимізації виконана на великій кількості оболонок та надано рекомендації в кожному конкретному випадку.

5. За допомогою нових підходів розв'язано нетипові задачі проектування, аналізу, оптимального пошуку. Серед таких задач пошук уразливих місць конструкції та «невеликих» впливів, що призводять до руйнувань;

6. Запропоновано метод оцінки невизначеності, який дозволяє оцінити границі можливої похибки, оцінити очікуване значення та вплив різнорідної невизначеності

7. Вперше за допомогою розроблених підходів побудовано оптимізаційну математичну модель шини, яка містить розрахунок контактної взаємодії шаруватих гумовокордових оболонок обертання в умовах нечітких даних. Як результат було спроектовано нову оптимальну геометрію шини з необхідними характеристиками.

Практичне значення результатів, наведених в дисертаційній роботі, полягає в тому, що вони дозволяють використовувати розроблені методи та підходи для проектування, аналізу будівельних, і не тільки, систем в умовах невизначеності, оцінюючі результати за різними теоріями. Прикладом є дослідження впливу невизначених параметрів на реальну залізобетонну балку, яка використовувалась при будівництві Центрального мосту в м. Дніпро.

Зроблено важливий внесок одержаних досліджень в учбовий процес. В сучасні програми багатьох спеціальностей до нормативних дисциплін внесено корективи, що містять питання «м'яких обчислень». Було запроваджено також нову дисципліну «Теорія нечітких множин в будівельній механіці».

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. Розглянуті в роботі задачі аналізу і оптимізації геометрично лінійних і нелінійних технічних систем не включали постановки з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів та її впливом на остаточні функції належності отриманих результатів та очікувані значення за різними теоріями, що бажано було б дослідити з позиції чутливості таких систем;

2. В якості математичної моделі, при застосуванні нових підходів щодо оптимізації конструкції та розрахунку шин в умовах невизначеності, можливо слід було б застосувати вже не квазістатичну, а динамічну математичну модель шини, що могло вплинути на оптимальність розв'язків; а для пошуку оптимальної геометрії шини 40.00-57, замість методу Монте-Карло, можливо слід було б застосувати метод, що більш швидко збігається, наприклад, метод рою частинок.
3. На мій погляд, в роботі потрібно було б зменшити кількість розглянутих задач стержневих систем, та збільшити кількість систем, поведінка яких може дати більші ефекти щодо чутливості, як, наприклад, задача (3.66);
4. Для розрахунку оболонкових конструкцій та континуальних систем можливе застосування комплексів високого рівня, таких як ANSYS та SOLIDWORK. В роботі не представлені розв'язки задач із застосуванням таких комплексів, що могло значно розширити кількість розглянутих задач в геометрично нелінійній постановці, дослідити вплив фізичної нелінійності при розрахунках з невизначеностями та впровадити нові підходи в зручні для інженерного та дослідницького використання програми;
5. Слід було б висновки за кожним розділом і взагалі представити в більш компактній формі, а не повторювати короткий зміст проведених досліджень. Тобто більш чітко представити наукову новизну роботи.

Зроблені зауваження мають більш рекомендаційний характер. Зауваження можуть стати приводом розвитку, вдосконалення та поширення наведених підходів до широкого спектру задач будівельної механіки з метою створення відповідної бази та приєднання до штучного інтелекту.

Повнота викладення результатів дисертаційних досліджень у опублікованих працях.

Основні положення, результати та висновки дисертаційної роботи відображено в **60 наукових публікаціях**, з яких **основні наукові результати: 33 статті** (29 у наукових фахових виданнях України (7 включені до міжнародної наукометричної бази Web of Science) та 4 статті у зарубіжних наукових періодичних виданнях (2 включено до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, та 2 до бази Copernicus)); **апробація результатів дисертації в 17 тезах** доповідей; **10 праць** додатково відображають наукові результати дисертації.

Відповідність змісту реферату основним положенням дисертаційної роботи.

Зміст реферату повністю відображає основні положення дисертаційної роботи та відповідає змісту розділів дисертації, містить основні результати виконаних досліджень і дає змогу достатньо повно оцінити наукову новизну і практичну цінність. Стиль викладання матеріалу у дисертації та реферату відповідає загальноприйнятим вимогам.

Докторська дисертаційна робота не містить матеріалів, викладених у кандидатській дисертації здобувача. **Плагіат відсутній.**

Висновок про дисертацію в цілому та відповідність її чинним вимогам.

На підставі вищевикладеного, вважаю, що в цілому дисертаційна робота Волчка Дениса Леонідовича «Розвиток методів теорії нечітких множин в задачах будівельної механіки та оптимізації проектування конструкцій в умовах невизначеностей», є завершеною науковою працею. В ній містяться нові наукові результати, що спрямовані на вирішення важливої науково-технічної проблеми розрахунку і оптимізації будівельних конструкцій в умовах невизначеної інформації стохастичного, нечіткого та неточного виду. Результати дисертаційної роботи відповідають меті та поставленим завданням.

Реферат відображає основний зміст роботи. Тема, зміст та результати дисертаційної роботи відповідають паспорту спеціальності **05.23.17 – будівельна механіка** (технічні науки).

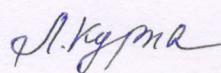
Вважаю, що за актуальністю теми, високим науковим рівнем виконаних досліджень, науковою новизною та практичною цінністю отриманих результатів представлена дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» від 17.11.2021 №1197, а її автор – **Волчок Денис Леонідович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.**

Офіційний опонент,

професор кафедри прикладної математики

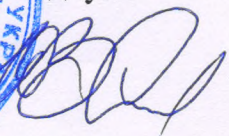
Національного технічного університету «ХПІ»,

доктор технічних наук, професор

 Лідія КУРПА

Особистий підпис проф. Л.В. Курпи засвідчую.

Вчений секретар НТУ «ХПІ», проф.

 Юрій Зайцев

