

ВІДГУК

офіційного опонента д. т. н., професора Дзюби Анатолія Петровича на дисертаційну роботу **Волчка Дениса Леонідовича** на тему: «Розвиток методів теорії нечітких множин в задачах будівельної механіки та оптимізації проектування конструкцій в умовах невизначеностей», подану на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка

1. Актуальність теми дисертації. Незважаючи на досить високий рівень сучасних засобів, методів та алгоритмів розв'язування задач будівельної механіки, питання адекватності результатів розрахунку міцнісної надійності значенням критичних (руйнівних) навантажень реального процесу деформування досліджуваного об'єкту і досі стоїть дуже гостро. Навіть побудова достатньо точної математичної моделі, що описує об'єкт дослідження, та використання сучасних засобів числового аналізу не дають гарантій достатньо точного прогнозування критичних (руйнуючих) навантажень.

Однією з причин такого стану справ є проблема невизначеності багатьох розрахункових факторів, зокрема, достовірності інформації стосовно початкових даних та вплив їх відхилення від своїх номінальних значень на результат розрахунку. Як наслідок, виникає потреба проведення додаткових досліджень для обґрунтування достовірності отриманих результатів, зокрема, і шляхом проведення високовартісних експериментальних руйнуючих випробувань для підтвердженні достовірності отриманих результатів.

Різні теорії урахування невизначеності активно використовуються в задачах керування, проте в будівельній механіці поки що одним із основних було застосування теорії ймовірностей. У цьому випадку з позиції оцінки надійності системи, конструкцій чи споруди, використовувались статистичні дані, хоча такі ситуації в реальному проектуванні пов'язані з необхідністю накопичення даних. Особливо це складно при створенні несерійних (разових) конструктивних елементів. Очевидно, що розвиток моделей, методів та підходів, які б давали інженерам практичний інструментарій для повноцінного оцінювання можливих наслідків впливу різноманітних факторів невизначеності на результати розрахунку є надзвичайно актуальним.

2. Сутність науково-прикладної проблеми. Дисертаційна робота присвячена розробці методів моделювання, оптимального проектування, аналізу поведінки механічних систем та їх елементів в умовах різноманітної невизначеності вхідних розрахункових параметрів у вигляді випадкової, нечіткої та з різних причин неточної природи.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано в Придніпровській державній академії будівництва та

звх. № 37-05/09
03.04.2024

архітектури Міністерства освіти і науки України у рамках досліджень за участю автора у двох науково-дослідних держбюджетних темах за державними програмами в термін 2016 – 2023 рр., чотирьох міжнародних грантів – 2005 – 2023 рр., науково-дослідної програми стажування в Румунії в термін 2015 – 2016 рр. та участі в проекті міжнародної експертизи з 2018 р по теперішній час серед франкомовних країн.

4. Наукова новизна отриманих результатів. Задум, проектування та процес створення реальної конструкції завжди відбувається в умовах невизначеності великої кількості факторів. При цьому для інженера, який проводить відповідні розрахунки, жодної невизначеності не існує, оскільки він виконує обчислення при заданих йому конкретних вхідних даних. У той же час виявляється, що результати таких розрахунків, навіть бездоганних з методичної точки зору, часто мають суттєві відхилення від значень критичних навантажень реально створеної конструкції.

У напрямку вирішення цієї колізії *наукова новизна результатів* поданої дисертації полягає:

- у розробці та впровадженні методів формалізації різномірної невизначеності (нечіткого завдання початкових параметрів), що виникають при комплексному вирішенні задач будівельної механіки, зокрема, в результаті технологічних відхилень виготовлення, відмінності фізико-механічних характеристик матеріалу від реальних, невизначеності критеріїв міцності, впливу випадкових факторів та ін.;
- сформульовані нові задачі та подані методи їх розв'язання, що дозволяють обґрунтувати достовірність розрахунку параметрів міцнісної надійності;
- отримані нові можливості для оцінки границь похибок розрахунку, впливу різномірної невизначеності та достовірності очікуваних результатів;
- вперше обґрунтована необхідність проведення додаткових системних досліджень впливу невизначеності вхідних параметрів на результати міцнісних розрахунків;
- показано, що системне застосування розроблених в дисертації підходів надає можливість для пошуку уразливих місць конструкції, що можуть призвести до її руйнування;
- розроблені в дисертації моделі і методи можуть слугувати підґрунтям для розробки нового наукового напрямку в будівельній механіці та для впровадженні принципів нових підходів при проектуванні в будівництві.

5. Наукове та практичне значення отриманих результатів полягає в розробці наукових основ забезпечення достовірності розрахунків міцності в умовах невизначеності (нечіткого завдання вхідних даних) в задачах будівельної механіки. Результати роботи мають також важливе *наукове-методичне значення*.

Практичне значення даної роботи полягає в тому, що нові моделі та методи є потужним інструментом дослідження технічних систем будівельної

механіки в умовах різних видів невизначеностей, тобто є методологією обґрунтування достовірності розрахунків міцнісної надійності будівельних конструкцій.

Застосовувати розроблені інструменти досліджень доцільно як при концептуальному проектуванні, так і при оцінюванні вже існуючих конструкцій, зокрема з пошкодженнями, де відомості про вхідні дані відсутні або вони неточні, нечіткі, ймовірнісні.

Матеріали дисертації впроваджено в навчальний процес та в розрахункову практику. Подальше впровадження може бути пов'язано з адаптацією наведеного математичного апарату в сучасні розрахункові комплекси Ansys, SolidWork та ін..

6. Повнота викладу результатів в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації. Основні положення, результати та висновки дисертаційної роботи відображено в **60** наукових публікаціях, з яких: **основні наукові результати** дисертаційної роботи це **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)); апробаційні матеріали склали **17** тез доповідей; **10** праць **додатково** відображають наукові результати дисертації (серед них 2 публікації включено до наукометричної бази Web of Science та 1 до Scopus, 3 патенти).

Матеріали дисертації пройшли апробацію на багатьох наукових конференціях, форумах та семінарах. Аналізуючи географію доповідей, можна сказати, що матеріали доповідались у фахових з даної спеціальності установах України та країн Європи. Вперше застосована практика, що дисертація проходила одночасну експертизу в ПДАБА та Warsaw University of Technology, у повному обсязі була заслухана на засіданні фахового семінару ПДАБА (2023), на міжвузівському науковому семінарі УДХТУ (2024).

7. Обґрунтованість та вірогідність результатів дисертаційної роботи. Достовірність одержаних результатів обумовлюється:

- коректністю постановок задач дослідження, вибору розрахункових схем, використанням загальновизнаних фізичних законів, ефективних та добре апробованих методів теоретичної та будівельної механіки, теорії ймовірностей та системного аналізу;

- порівнянням результатів отриманих за різними методами, з даними інших авторів, перевіркою збіжності безпосередньо самих методів досліджень, контролем відносної похибки, збіжністю результатів для випадку невизначених даних до детермінованих.

У цілому можна вважати, що наукові положення, висновки та підходи, розвинуті в дисертації, є достатньо обґрунтованими та достовірними,

оскільки ґрунтуються на глибокому порівняльному аналізі досліджуваних явищ.

8. Структура, оцінка мови, стилю та оформлення дисертації.

Дисертація містить анотацію, вступ, сім розділів, висновки, список використаних джерел та додатки. Загальний обсяг дисертації 392 сторінки, у тому числі основного тексту 287 сторінок. Дисертація (включно з додатками) містить 156 рисунків, 100 таблиць. Список використаних літературних джерел – 276 бібліографічних назв. Текст дисертації представлено українською мовою. Оформлення дисертації відповідає вимогам до оформлення дисертації (затв. Наказом Міністерства освіти і науки України 12.01.2017 №40 за змінами внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки №759 від 31.05.2019) та вимогами державного стандарту ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання». Дисертація включає перелік умовних позначень, що дійсно необхідно у зв'язку з новизною термінології для спеціальності будівельна механіка, та написана хорошою технічною мовою. Стиль дисертації характеризується стислістю та логічністю викладення суті проблеми, та пояснення запропонованих розв'язків.

Зміст реферату є ідентичним основним положенням дисертації. Реферат складається з 48 сторінок (51 рисунок, 6 таблиць).

9. Аналіз змісту дисертації. Загальні характеристики дисертації сформульовані у *вступі* роботи і за переліком, суттю та стилем відповідають вимогам до докторської дисертації. Стиль викладення інформації зрозумілий та науковий. Основний зміст роботи висвітлено в семи розділах, з яких **перший розділ** містить огляд літератури та обґрунтування необхідності досліджень за вибраним напрямком в рамках спеціальності 05.23.17 – будівельна механіка. **Другий розділ** дає інформацію про моделі та методи застосовані в дисертації. Наведена детальна інформація щодо впроваджуваних елементів теорії нечітких множин, подальше застосування та адоптація якої до задач будівельної механіки подається в викладених надалі дослідженнях. **Третій розділ** дисертації містить велику кількість досліджень різноманітних стержневих систем із застосуванням власних методів реалізації за умови різноманітної, але здебільшого нечіткої невизначеності. Такий обсяг досліджень дійсно необхідний, оскільки раніше не було комплексного дослідження, яке б давало відповідь, наприклад, на те, які саме значення треба брати для розрахунку з інтервалів якими задані механічні характеристики в багатьох, навіть учбових, задачах механіки. Тут та ситуація, коли кількісні розрахунки дають якісний стрибок в розумінні впливу невизначеності. Розроблений інструментарій методів та моделей надалі реалізовано для циліндричних оболонок з ізотропними властивостями в **четвертому розділі**, та ортотропними властивостями в **п'ятому розділі**. **Шостий та сьомий розділ** надають дослідження складних конструкцій з великою кількістю перетворень невизначених параметрів, що в звичайній

інтерпретації веде до накопичення помилки. Оцінюючи результати шостого розділу можна виділити, що нові підходи дають більш ширшу оцінку результатів дослідження ніж інтервальні підходи та більш глибоке розуміння поведінки конструкції.

Матеріали поданої докторської дисертації **не включають результати кандидатської дисертації**. Так, до змісту 7 розділу, на відмінну від кандидатської дисертації, в якій було розроблено блоковий метод кінцевого елементу та досліджено шину 33.00-51, внесені нові задачі щодо оболонкових ортотропних конструкцій шин, розв'язана задача оптимізації форми нової конструкції шини 40.00-57 в невизначених постановках та подано її оптимальні параметри.

Висновки дисертації сформульовані зрозуміло, стисло, інформативно.

У додатках надано відомості про використання результатів дисертаційної роботи у навчальному процесі в Придніпровській державній академії будівництва та архітектури при викладанні лекційного матеріалу студентам бакалаврам, магістрам та аспірантам за спеціальностями 192 «Будівництво та цивільна інженерія» та 274 «Автомобільний транспорт». **Додаток А** містить додаткових опис методів досліджень, а **додаток Б** додаткові таблиці.

10. Зауваження за змістом дисертації. Як зауваження, слід зазначити:

1. Незважаючи, на поданий в дисертації значний обсяг результатів числових досліджень для досить широкого кола розрахункових схем, неясним залишається питання, зміна якого із основних параметрів нечіткого завдання даних (геометричні розміри, фізико-механічні характеристики матеріалу, величини навантаження, фактори випадкового характеру, їх сукупності чи щось інше) є, у відносному вимірі, найбільш критичним (фатальним) для несучої здатності конструкції?

2. Не можна погодитись з твердженням в авторефераті, що тільки зараз «... з'явилась можливість розглянути раніше припинені ... проблеми...». Можна стверджувати, що боротьба за вирішення проблеми достовірного прогнозування руйнуючих навантажень реальних механічних систем ніколи не припинялась і завжди була однією з найважливіших задач забезпечення їх міцності. Навіть сьогодні, з появою потужних засобів скінченно-елементного аналізу, її вирішення з урахуванням існуючих невизначеностей залишається досить проблематичним.

3. Очевидно, що вплив відхилень нечітко визначених вхідних параметрів задачі від їх номінальних значень на результат розрахунку міцності (залежність «зміна нечітко заданого параметру – результат розрахунку») може мати не тільки пропорційний але і нелінійний характер. Ці практично важливі аспекти проблеми залишились поза увагою автора.

4. Бажано було б більш детально продемонструвати та доєднати до матеріалів дисертації методологію процесу спільного застосування (хоча б для простого прикладу) сучасних засобів скінченно-елементного аналізу та розроблених в роботі підходів.

5. Висновки до докторської дисертації зазвичай носять узагальнений характер. Тут слід було б утриматись від викладення додаткових пояснень для окремих розглянутих в дисертації задач.

6. Замість терміну «защемленої» доцільно вживати «жорстко затиснутої», замість «шарнірної балки» – «шарнірно закріпленої балки».

Зазначені недоліки не стосуються актуальності проведених досліджень, наукової новизни, достовірності та практичної цінності отриманих результатів і тому не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи у цілому.

11. Загальні висновки. Дисертаційна робота Волчка Д.Л. за темою «Розвиток методів теорії нечітких множин в задачах будівельної механіки та оптимізації проектування конструкцій в умовах невизначеностей» є завершеною науковою працею, що в сукупності вирішує актуальну науково-технічну проблему в галузі будівництва та будівельної механіки, а саме розробки наукових основ, методів моделювання, оптимального проектування, аналізу поведінки механічних систем та їх елементів в умовах різномірної невизначеності вхідних розрахункових параметрів у вигляді випадкової, нечіткої та з різних причин неточної природи.

Тема, зміст та результати дисертації повністю відповідають формулі та паспорту спеціальності 05.23.17 – «Будівельна механіка» та вимогам пунктів 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук ...», а її автор Волчок Денис Леонідович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент:

Заслужений діяч науки і техніки України.
професор кафедри теоретичної
та комп'ютерної механіки
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара МОН України,
доктор технічних наук, професор

А. П. Дзюба

Підпис професора Дзюби А. П. засвідчую
Вчений секретар Вченої ради
Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара



Т. В. Ходанен