

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

Будівельні конструкції та умови їх експлуатації часто пов'язані з невизначеністю в параметрах та є змінними у часі. Використання м'яких методів, пов'язаних з нечіткістю, неточністю та ймовірністю, дозволяє більш ефективно моделювати цю невизначеність, що важливо з позиції надійності та безпеки. Умови експлуатації будівель можуть змінюватися внаслідок різних факторів, таких як погода, навантаження або знос матеріалів. М'які методи є інструментом, який дозволяють більш гнучко адаптувати конструкції до цих змін, сприяючи їх довговічності та ефективності в умовах невизначеності. Тим не менш, поки що класичні підходи будівельної механіки зазвичай оперують детермінованим даними. Рідше зустрічається застосування теорії ймовірностей, що вже значно підвищує ступінь еквівалентності математичного опису до реального об'єкта та зменшує ризики отримати взагалі некоректний розв'язок. Незважаючи на свою потужність, використання теорії ймовірностей не завжди доречно (особливо за умови відсутності статистичних даних). Останні роки, в зв'язку зі своєю практичністю, набирають популярності альтернативні підходи. Їх розвитку в сфері будівництва присвячена дисертаційна робота автора.

Зважаючи на це, дана дисертація, безумовно, актуальна. Автором роботи для задач будівельної механіки узагальнено підходи теорій нечітких та неточних множин, впроваджено підходи з комбінованою нечітко-випадковою та випадково-нечіткою невизначеністю, отримано результати,

Вх. № 37-05/07
01.04.2024

аналіз яких показує необхідність доповнення класичних курсів будівельної механіки новими підходами роботи з невизначеністю.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформованих у дисертації

Наукові положення, висновки і рекомендації наведені в дисертації обґрунтовано перевіркою збіжності наведених математичних моделей в детермінованій постановці, використанням класичних методів будівельної механіки, прогнозованою поведінкою тестових технічних систем в умовах різнорідних невизначеностей при зміні розмитості нечітких, неточних та випадкових даних в нових постановках задач, що реалізовані запропонованими автором методами.

Аналіз процедури збіжності для задач, реалізованих чисельними методами Монте-Карло та динамічного програмування, проводився в залежності від наперед заданої точності розрахунку або кількості ітерацій. Збіжність аналітичних та графоаналітичних підходів до розв'язання задач будівельної механіки виконувалась методами динамічного програмування та, для деяких задач, методом скінченних елементів за допомогою програмного комплексу ЛПРА.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна відображається в наступному:

Вперше:

- Систематизовано та надано розвиток адаптованим методам м'яких обчислень до наведених задач будівельної механіки. Нові узагальнені підходи формують нове сприйняття як класичних задач, так і нових задач в сфері будівництва, надаючи можливість оцінити границі можливої помилки, вплив різнорідної невизначеності, оцінити очікуване значення для різних видів невизначеності.

- Розроблено оптимізаційні моделі і методи їх реалізації в умовах

нечіткої, неточної, випадково-нечіткої, нечітко-випадкової інформації про вихідні дані або/та про бажані результати в задачах будівництва та будівельної механіки.

- Обґрунтована необхідність включення в класичні детерміновані задачі розрахунку урахування невизначеності різних видів. Доведена похибки доцільність проведення розрахунків на «толерантність» щодо впливів невизначеності як для складних нелінійних систем, так і простих лінійних.

- Показана відмінність результатів за різними теоріями невизначеності для задач будівельної механіки.

- На підставі аналізу результатів чисельних експериментів зроблено висновок, що похибки, неточність визначення величин механіки і геометричних характеристик мають тенденцію до меншого впливу на кінцевий результат, ніж помилки проектування і виготовлення для досліджених технічних систем.

- Нові підходи дозволяють розв'язувати нетипові задачі проектування, аналізу, оптимального пошуку, що показано на прикладах. Серед таких задач пошук уразливих місць конструкції, а також невеликих впливів, які призводять до руйнувань, що може бути використано в умовах військового стану.

- На базі розроблених нових моделей і методів впроваджено принципово нові підходи при проектуванні в будівництві, де деякі вхідні дані формулюються в термінах лінгвістичних змінних. Отримані в роботі результати є базою для впровадження відповідних програмних модулів обробки нечітких даних до програмних комплексів в сфері будівництва.

Набули подальший розвиток:

- Математична модель розрахунку контактної взаємодії шаруватих гумовокордових оболонок була вбудована до моделі оптимального проектування в умовах нечітких даних, що дозволило проводити

моделювання в умовах, які більш адекватно відображають об'єкт дослідження - шарувату гумовокордову оболонку обертання, реальним фізичним, механічним та експлуатаційним умовам. Новий інструмент дає можливість розв'язати задачі, які раніше розв'язати не вдавалосьь.

- Класичні підходи до розрахунку стержневих, оболонкових та континуальних систем, завдяки формалізації невизначеності, більш адекватно відображають реальний об'єкт в розрахункову схему та модель розрахунку, аналізу, оптимізації.

Практичне значення отриманих результатів

Застосування нечітких множин в механіці конструкцій:

- Підвищує адекватність опису реальних вихідних даних з урахуванням можливих похибок, неточності вимірювання, виготовлення щодо величини навантажень і місця їх застосування, механічних характеристик і інших параметрів стану, розрахункових схем.

- Дозволяє проводити відповідний аналіз напружено-деформованого стану (НДС) технічних систем при невизначеному завданні вихідних даних.

- Дозволяє виявляти закономірності впливу вихідних нечітких параметрів даних технічної системи на точність результатів, толерантність, чутливість, стійкість; дає можливість проектувати з урахуванням майбутнього очікуваного стану конструкції.

- Надає додаткову аргументацію для призначення коефіцієнтів запасу технічних систем в умовах невизначеності.

- Надає нові підходи до задач проектування, коли цілі проектування задаються в термінах приблизного очікуваного результату, тобто при формулюванні мети та обмежень задач невизначеним чином.

- Дозволяє апріорно включати отримані моделі в математичну модель проектувального розрахунку.

- Як практичний результат моделювання реальних конструкцій в умовах невизначеності, запроектовано оптимальну геометрію найбільшої в

світі шини 40.00-57, що має військове та цивільне призначення. Технології для виготовлення таких шин є лише в 5 країнах світу. В даний момент часу в Україні відновлення цієї галузі є показником тих високих технологій, які відрізняють країни зі стійкою економікою від інших. З врахуванням того, що в нашій країні багато родовищ з відкритим способом видобутку, ці проблеми можна віднести до набуття безпекової незалежності України.

- Проведено аналіз толерантності та чутливості попередньо-напруженої залізобетонної мостової балки, де було виявлено, що навіть мала нечіткість у завданні частоти може викликати руйнування балки. Така балка є досить розповсюдженою при виготовленні мостів в Україні, тому при подальшому проектуванні слід врахувати таку її особливість.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дана тематика також пов'язана з багатьма грантовими програмами та проектами: Alexander von Humboldt Foundation (Institutional academic cooperation programme, grant no. 3.4-Fokoop-UKR/1070297); TEMPUS SEHUD № 530197-Tempus-1-2012-1-IT-TEMPUS-JPCR; EffectFact № 101008140; The BRIDGE №101127884; «Atlas de l'expertise»; "Eugen Ionescu". За даною тематикою виконувались держбюджетні теми з номерами держреєстрації 0116U00649 та 0121U109643.

Слід відмітити доволі високий інтерес до даної тематики серед Європейських грантодавців.

Повнота викладу результатів в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації

Аналізуючи зміст дисертації та наукових публікацій автора, можна стверджувати, що матеріали дисертації (основні положення, результати, висновки) опубліковані в повному обсязі та їх загальна кількість клала **60 публікацій**. З них **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)), **17 тез доповідей**.

Додатково відображають наукові результати дисертації **10 праць**, серед яких: 2 публікації включено до наукометричної бази Web of Science та 1 до Scopus, 3 патенти.

Робота пройшла апробацію на багатьох вітчизняних та іноземних конференціях, форумах (більш ніж 27 конференцій та форумів) та семінарах. У повному обсязі доповідалась на засіданні фахового семінару ПДАБА (2023), на міжвузівському науковому семінарі УДХТУ (2024) та додатково пройшла зовнішню експертизу на факультеті цивільної інженерії Warsaw University of Technology (2024).

Структура, оцінка мови, стилю та оформлення дисертації

Текст дисертації подано українською мовою. Дисертація складається з анотації, вступу, семи розділів, спису використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації 392 сторінки (287 основного тексту). Дисертація містить 156 рисунків та 100 таблиць. Список використаних джерел складається з 276 бібліографічних назв.

У **вступі** наведені сутність науково-прикладної проблеми та обґрунтування вибору теми дослідження. Інформація, яка тут міститься, включає перелік методів досліджень, наукову новизну отриманих результатів, практичне значення отриманих результатів та особистий внесок здобувача. Сформульована мета та поставлені завдання дослідження, наведені об'єкт та предмет дослідження. Всі формулювання зазначених елементів докторської дисертації відповідають спеціальності 05.23.17 – будівельна механіка.

Перший розділ присвячений огляду літератури щодо сучасного стану проблем оптимізації та розрахунків в умовах невизначеностей. На мій погляд, слід було б доповнити наведений матеріал інформацією про

застосування математичного апарату теорій ймовірностей та нечітких множин в сучасних математичних комплексах, наприклад, таких, як MATLAB та інші. Так як в роботі розглянуто питання застосування методів м'яких обчислень для задач будівництва та будівельної механіки то логічним було б навести інформацію щодо стану застосування моделей обчислювального інтелекту в цій сфері. Також в огляді літератури, на мій погляд, щодо розвитку теорії і практики використання нечітких множин та нечіткої логіки, можливо додатково вказати такі роботи: Klir G. J., Yuan B. Fuzzy sets and fuzzy logic. Theory and Application, New Jersey: Prentice Hall PTR, Pearson College, 1995. 592 p; Barnabas Bede Mathematics of Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, Heidelberg: Springer Berlin, 2012. 276 p. Звісно, з огляду на кількість робіт з цієї тематики, послатися на всі неможливо. Проте, аналізуючи загальну їх направленість, погоджуюсь з висновками автора дисертаційної роботи, що в області будівельної механіки досліджень щодо врахування нечітких, неточних та даних з комбінованою невизначеністю досить мало і цей напрямок потребує розвитку.

В другому розділі наведені критерії, обмеження задач оптимізації та загальна інформація щодо даних в задачах будівельної механіки. Досить повно надано опис математичним моделям та методам оптимізації, що були застосовані в дисертації. Слід відмітити, що в роботі окрім наведених в цьому розділі методів оптимізації, також було використано метод локальних варіацій для пошуку мінімуму функціоналу повної енергії при моделюванні шини. Зауважу, що опис самого методу локальних варіацій не наводиться, але є посилання в цьому розділі на відповідну літературу [170]. В пункті 2.4 цього розділу вступ щодо передумов невизначеності носить філософський характер і посилання на роботи Аристотеля щодо «привхідного» проміжного третього, на мій погляд не є обов'язковою, хоча це дає змогу оцінити з яких часів питання невизначеності почали турбувати науковий світ. Далі в роботі наводяться: поняття міри невизначеності для випадкових, нечітких та неточних даних; основні означення нечіткої

множини, операції над нечіткими множинами, функції належності. Ці питання висвітлені в необхідному для розуміння обсязі. При описі функції належності (2.54) на рис. 2.7 позначена назва «велике навантаження», що потребує роз'яснення, чому тільки навантаження. Наведені моделі невизначеного програмування цього розділу реалізовані в подальших розділах дисертації.

В **третьому розділі** наведені задачі аналізу та оптимального проектування стержневих систем в умовах невизначеності. Матеріали цього розділу подано інформативно. Задачі в детермінованій і недетермінованій формі сформульовані коректно і присутні відповідні роз'яснення щодо методів реалізації таких задач, або розроблені методи винесені до додатків, на які є відповідне посилання. Графічний матеріал, що представляє різноманітні залежності, також підкріплюється табличною інформацією, винесеною до додатків. Очевидно, що в розділі відбувається апробація розробленого інструментарію на задачах стержневих систем. Ознайомлення з приведеною інформацією, на мій погляд, вимагає пояснень до наступного:

- чи підбирались функції належності нечіткої величини та розподілу випадкової до поставлених задач в умовах невизначеностей і якщо підбирались, то яким чином;

- чи потрібно було наводити задачу підпункту 3.3.5 щодо пошуку коефіцієнта надійності за запропонованим підходом з використанням нечітких множин після задачі п.п. 3.3.1 де була вже розглянута ферма з більшою кількістю елементів;

- для чого в задачі п.п. 3.3.3 розглядається ситуація зі зменшеною кількістю а-рівней.

До зауважень та побажань щодо матеріалів цього розділу можна віднести:

- матрицю для розрахунку внутрішніх зусиль ферми (3.67) можливо було б доцільно винести до додатків;

- при розв'язанні канонічних рівнянь методу сил (3.74) для тричі статично невизначеної рами в умовах невизначеностей можна було докладно не наводити аналітичні вирази вантажних коефіцієнтів (3.75) бо їх визначення є відомою процедурою.

Четвертий розділ наводить інформацію про постановки задач оптимізації ізотропних оболонок в умовах невизначеності. Розглянуто задачі: пошуку максимальної стискаючої сили з обмеженнями на шанс виконання події при нечітких даних; нечіткого моделювання, зокрема, геометричну інтерпретацію подієвого нечіткого програмування; модель неточної оптимізації. Приведена також задача з обмеженнями на шанси при стохастичних даних. Досліджено поведінку системи при нечітко-випадкових та випадково-нечітких даних. Ознайомлення з інформацією, вимагає пояснень до наступного:

- в формулах (4.50) та (4.51) під час розрахунку довіри (4.52) за яким законом бралась вибірка множин;

Доволі прогресивними є підходи з позиції нечітко-випадкових та випадково-нечітких величин. Бажано було б навести більше можливих прикладів в таких інформаційних ситуаціях.

Розділ п'ять надає постановки задач оптимізації, методи та результати синтезу ортотропних циліндричних оболонок в умовах різнорідних невизначеностей. Так як в розділі наведені два об'єкта дослідження, тобто оболонки за умови різних граничних станів, то, можливо, доцільно було б представити результати у вигляді двох окремих розділів. Важливо, що в цьому розділі було надано оцінку реакції критичної сили на можливі розмитості початкових даних за різними теоріями. В цьому розділі також наведено та успішно реалізовано весь набір задач та методів, що логічно поширились з попередніх розділів.

Шостий розділ містить інформацію щодо розрахунку на чутливість попередньо-напруженої залізобетонної балки. Наведений тут спосіб дефазифікації даних (амплітуди, переміщення) доцільно було б навести в

другому розділі роботи, а тут залишити лише посилання на нього. Є запитання щодо рис. 6.6 чому функція належності прогину представлено трохи нестандартно. Також в висновках слід зазначити, що частота 18.2 Гц відповідає саме песимістичному значенню, а при модальному і оптимістичному руйнування конструкції не відбудеться.

Сьомий розділ містить інформацію про проект шини 40.00-57 та пошук оптимальної форми шини за умови модальних параметрів. За матеріалами цього розділу виникли такі питання:

- чому у якості проектованої вибрана діагональна конструкція шини, коли відомо, що в сучасних умовах найбільш ефективною з позиції ваги та тепловідведення є конструкції з радіальним армуванням;

- що таке температура охолодження в табл. 7.1;

- що малось на увазі під поняттям «ресурс шини».

Розвиток моделювання таких оболонок є дуже важливою і актуальною задачею в зв'язку з подвійним призначенням проектованих шин.

Висновки за структурою та змістом відповідають поставленим задачам дослідження. На мій погляд, другу задачу дослідження треба було розділити на декілька, а не об'єднувати всі задачі щодо стержневих систем разом. Тобто, і висновки зробити більш відокремленими.

Додатки містять методи реалізації задач в невизначеній постановці, додаткові таблиці та інформацію про впровадження результатів дисертацій.

Оформлення дисертації

Оформлена дисертація відповідає вимогам стандарту ПРЗД-02-22 «Положення про порядок розгляду і захисту дисертацій здобувачів наукових ступенів у спеціалізованих вчених радах з присудження наукового ступеня доктора наук» Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. Автореферат також оформлено відповідно з позначеними вимогами і він повністю відповідає та розкриває зміст дисертаційної роботи. Автореферат складає 48 сторінок, у тому числі 51 рисунок і 6 таблиць.

Аналізуючи звіт UNOCHECK (ID перевірки 1015976515) щодо виявлення схожості в тексті дисертації, можна зробити висновок, що майже всі елементи схожості - це само цитування автором своїх публікацій. Плагіату не виявлено.

Зауваження за змістом дисертації

- Приклади постановок задач, в яких очікуваний результат формується у термінах «приблизно», з усієї ієрархії методів м'яких обчислень було реалізовано з використанням теорії нечітких множин. Бажаним було б також застосувати для таких задач ще й нечітке виведення;

- Так як трикутна функція належності характеризується як така, що не має ядра, тобто є частковим випадком таких функцій, то в роботі було б доцільним використати навіть на тестових задачах більшу різноманітність функцій належності.

- Для запропонованих підходів розрахунку статично невизначених стержневих систем з використанням нечіткої системи лінійних алгебраїчних рівнянь, виявлений ефект, щодо невеликих значень нев'язки і великих відхилень значень згинаючого моменту бажано було б дослідити на системах з більшою ступінню статичної невизначеності (або кінематичної за умови використання інших методів будівельної механіки).

- Бажаним було б в роботі показати більшу кількість реальних об'єктів, з експериментально визначеними границями параметрів невизначеності, як це було показано для попередньо напруженої залізобетонної балки.

- Багатокритеріальна задача оптимального проектування нової конструкції шини 40.00-57 наведеними методами дійсно потребує багато часу на реалізацію. Як пропозицію, можна було б порекомендувати застосування інших моделей обчислювального інтелекту, наприклад, для отримання першого наближення геометрії шини з подальшою перевіркою та поліпшенням запропонованими автором підходами.

Загальні висновки

Дисертаційна робота Волчка Дениса Леонідовича «Розвиток методів теорії нечітких множин в задачах будівельної механіки та оптимізації проектування конструкцій в умовах невизначеностей» являє собою завершене наукове дослідження, виконане автором самостійно, та вирішує важливу науково-прикладну проблему, що полягає у розробці узагальнених методів моделювання, оптимального проектування, аналізу задач будівельної механіки в умовах різномірної невизначеності випадкової, нечіткої, неточної природи та їх комбінацій.

За актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю, якістю оформлення та виконання дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» МОН України, а її автор – Волчок Денис Леонідович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент,
д.т.н., проф., завідувач кафедри
інформаційних систем
ДВНЗ «Український державний
хіміко-технологічний університет»

Дмитро ЗЕЛЕНЦОВ



Лариса Рудова