

ВІДГУК

офіційного опонента Стрельнікової Олени Олександрівни
на дисертаційну роботу Малишева Сергія Євгенійовича
«Біфуркації та стійкість нелінійних коливань балочних конструкцій з тріщинами
втоми», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 113 – Прикладна математика

Актуальність теми

Нелінійні вібрації балкових елементів із «дихаючими» тріщинами мають вирішальне значення для машинобудування, аерокосмічної галузі, будівництва та інших сфер інженерії, позаяк тріщини стають причиною руйнування критичних деталей на кшталт турбінних лопаток, крил літаків чи компресорних валів.

Поява тріщин у балках зумовлена великими амплітудами коливань і становить потужне джерело нелінійності, нарівні з геометричною та інерційною. Взаємодія цих різнотипних нелінійностей поки що недостатньо вивчена як у вітчизняній, так і в зарубіжній літературі. Щоб побудувати коректні математичні моделі коливань балок із тріщинами, які враховують комплексну взаємодію усіх видів нелінійностей, необхідно застосовувати сучасні підходи варіаційного числення, континуальної механіки та математичної фізики.

Отже, задача, поставлена у дисертації Малишева С.Є., передбачає розв'язання низки складних і водночас важливих для теорії й практики проблем континуальної механіки та нелінійної динаміки. З огляду на це вважаю тему дисертаційної роботи, присвяченої дослідженню біфуркацій і стійкості нелінійних коливань балок із тріщиною втоми, цілком актуальною.

Тема пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт відділу нелінійної механіки та математичного моделювання ІЕМС НАН України. Здобувач брав участь у науково-дослідницькій роботі: НДР III-11-21 «Наукові основи використання вуглецевих наноматеріалів та нанокompозитів для підвищення динамічної міцності і стійкості машинобудівних конструкцій» (науковий керівник чл.-кор. НАН України К. В. Аврамов, № 0121U1004).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Малишева С.Є., в достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на коректному використанню методики та положень нелінійної динаміки, варіаційних методів, а також чисельних методів задач континуальної механіки.

Дослідження виконані з використанням математичного апарату та сучасного комп'ютерного моделювання. Отримані результати перевірено шляхом аналізу збіжності розв'язків, порівнянням математичних моделей отриманих різними авторами.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується шляхом порівняння отриманих власних частот різними математичними моделями для одновимірних теорій та МСЕ для тривимірної моделі, аналізу збіжності отриманих розв'язків та застосуванням перевірених часом алгоритмів.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

- метод автоматичного диференціювання застосовано для розв'язання двоточкових крайових задач з періодичними крайовими умовами. Доведено теореми про еквівалентність розв'язання задачі Коші з дуальними числами сумісному розв'язанню вихідної задачі Коші та відповідних рівнянь в варіаціях;

- узагальнено моделі опису коливань балок з тріщинами, розроблені Чрїстїдесом та Баром, на випадок геометрично нелінійної теорії пружності. Також моделі було узагальнено на випадок врахування великих кривин та нерозтяжності серединної лінії, що було досягнуто за допомогою методу множників Лагранжа;

- вперше проаналізовано вимушені нелінійні коливання балок з тріщинами за умови присутності постійної складової в навантаженні. Показано можливість зриву коливань за рахунок постійної складової на малих амплітудах. Досліджено хаотичні коливання балки з двома тріщинами.

- вперше досліджено майже періодичні коливання балки з тріщиною при геометрично нелінійному деформуванні. Порівняно дві математичні моделі, отримані

в дисертаційній роботі. За результатами порівняння моделей зроблено висновок про їх кількісну та якісну близькість.

- вперше проведено аналіз параметричних коливань балки з дихаючою тріщиною з урахуванням різних нелінійних ефектів. Виявлено перехід до хаотичних коливань через біфуркацію Неймарка–Сакера.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Теоретична цінність полягає у тому, що розроблені математичні моделі узагальнюють існуючі на випадок врахування геометричної нелінійності, великої кривини та нерозтяжності серединної лінії.

З практичної точки зору результати можуть бути використані для покращення методів діагностики тріщин в елементах машинобудівних конструкцій.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати досліджень опубліковані у 9 роботах, серед яких: 2 статті у наукових фахових виданнях України, 4 статті, індексовані у міжнародній наукометричній базі Scopus, 3 тези у матеріалах конференцій.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Малишева С.Є. складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, 2 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної теми, висвітлено її наукову й практичну значущість, визначено мету й завдання дослідження, описано зв'язок роботи з науковими планами, наведено апробацію та публікації.

Перший розділ присвячено об'єкту дослідження — коливанням балок із дихаючими тріщинами. Проведено аналіз літератури, який підкреслює потребу в дослідженні взаємодії нелінійних ефектів різної природи у таких системах.

У другому розділі запропоновано використання методу автоматичного диференціювання для задач нелінійної динаміки. Дуальні чисела застосовано для методу стрільби та ортогональних колокацій, які використовуються під час розв'язання двоточкових крайових задач. Також автоматичне диференціювання застосовано для обчислення спектру показників Ляпунова за алгоритмом Бенеттина.

Третій розділ базується на варіаційних принципах Остроградського–Гамільтона та Ху–Вашидзу для виведення рівнянь коливань балок із дихаючими тріщинами при геометрично нелінійному деформуванні. Також за допомогою варіаційного принципу Ху–Вашидзу отримано рівняння параметричних коливань балок з тріщинами, де враховано велику кривину та нерозтяжність серединної лінії.

У четвертому розділі представлено результати чисельного моделювання нелінійних коливань балок із тріщинами. Виявлено багатозначність коливань при малих амплітудах через дію постійної складової навантаження. Досліджено хаотичні коливання в області субгармонічного резонансу. Проаналізовано стійкість і біфуркації вільних та вимушених коливань при геометрично нелінійному деформуванні. Встановлено, що майже періодичні вимушені коливання мають більшу амплітуду порівняно з розв'язками, отриманими методом продовження. Досліджено параметричні коливання з урахуванням нелінійної кривини та інерції. Розглянута динамічна система багата на нелінійні явища, зокрема показано, що в системі існує хаотична динаміка в області біфуркації Неймарка–Сакера.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та лаконічно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел із 77 найменувань досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

Академічна доброчесність

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані

тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

По дисертаційній роботі можна зробити такі зауваження:

- У підрозділі 3.1 рівняння виводяться лише для випадку тонких балок (теорія Ейлера–Бернуллі). Узагальнення розроблених математичних моделей з урахуванням деформацій зсуву та інерції обертуту (теорії Тимошенка) було б чудовим доповненням до роботи.
- розглянута у першій задачі четвертого розділу балка (рівняння 4.39) є доволі товстою. Вважаю, що було б доцільно порівняти отримані результати з результатами, отриманими за теорією балки Тимошенка.
- Є декілька технічних зауважень. На стор. 20-21 використано «проведено участь» замість «взято участь»; на стор. 33 перед рівнянням (1.25) відсутнє слово «параметр»; автор використовує дві терміни «метод гармонійного аналізу» та «метод гармонічного аналізу» для опису одного й того ж методу; в рівнянні (3.35) є технічна похибка, в рівнянні (3.40) використано змінну Λ , а в поясненнях вказано Λ^3 ; відсутнє слово «показаний» на стор. 106 після «на рис.4.1»
- В рівняннях (3.15), (3.20) замість A треба вжити A_0 . Більш того, що A також є площею, за якою надалі здійснюється інтегрування.
- На стор. 85 вказано, що проведено порівняння з експериментальними даними, але відсутня відповідна таблиця.

Є ще декілька зауважень, які можна розглядати як побажання.

1. Було б цікаво врахувати частковий (неповний) контакт берегів тріщини.
2. Має сенс порахувати напруження в околі вершини тріщини, або знайти коефіцієнти інтенсивності напружень, щоб в подальшому оцінити міцність та залишковий ресурс елемента конструкції з тріщиною при циклічних навантаженнях.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Малишева С.Є. «Біфуркації та стійкість нелінійних коливань балочних конструкцій з тріщинами втоми» за своїм змістом відповідає спеціальності 113 – Прикладна математика. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, що розв’язує важливу науково-практичну задачу, яка полягає у дослідженні біфуркацій та стійкості нелінійних коливань балок з тріщинами втоми. Ця праця є гідним продовженням наукових робіт з нелінійної динаміки, започаткованої провідними харківськими вченими Ю.В. Міхліним та К.В. Аврамовим.

Дисертаційна робота «Біфуркації та стійкість нелінійних коливань балочних конструкцій з тріщинами втоми» Малишева С.Є. відповідає спеціальності 113 – «Прикладна математика», відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Малишев Сергій Євгенійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – Прикладна математика.

Офіційний опонент

Провідний науковий співробітник відділу
термогазодинаміки енергетичних машин
ІЕМС ім. А.М. Підгорного НАН України,
д.т.н., професор

Олена СТРЕЛЬНИКОВА



Учений секретар ІЕМС НАН України, д.т.н.,

С.Н.С.
М.П. *
26.05.2023р.
03534570

Сергій УГРИМОВ

