ВІДГУК

офіційного опонента доктора фізико-математичних наук, професора Пожуєва В.І. на дисертаційну роботу Фатєєвої Ю.О. **"Нелінійна динаміка конструкцій із функціонально-градієнтних матеріалів з параметрами, залежними від часу "**, представленої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Актуальність теми дослідження

Робота присвячена аналітичному розв'язку задач динаміки конструкцій неоднорідного середовища, зокрема конструкцій із суттєвою не лінійністю, а також поведінки пологих оболонок з початковими недосконалостями і в умовах температурного поля із функціонально-градієнтних матеріалів з параметрами і зовнішнім навантаженням, залежними від часу, на базі застосування сучасних гібридних асимптотичних методів. Необхідно зазначити, що конструкції такого типу є силовими елементами аерокосмічної техніки, хімічної та будівельної промисловості. Реалізація аналізу динаміки конструкцій із функціонально-градієнтних матеріалів і нерегулярно-гетерогенних структур під впливом зовнішнього навантаження здійснюється, як правило, з використанням існуючих програмних комплексів, які базуються на чисельних методах розрахунку. На етапі проектування конструкцій нової техніки необхідно здійснювати якісний аналіз впливу параметрів системи на характер динамічного деформування, що робить застосування чисельних методів у ряді випадків досить проблематичним. Застосування асимптотичних підходів дозволяє отримувати наближені аналітичні розв'язки і надати оцінки варіантів, які є ефективними на етапі проектування нових функціонально-градієнтних конструкцій і систем. Особлива увага при цьому привертається до нелінійних задач динаміки. Розв'язки вказаних задач

ВІДДІЛ ДІЛОВОДСТВА, АРХІВУ ТА РЕЖИМНОЇ РОБОТИ ЗНУ
12 2022 р.
ВХ.№ 2268/01-22

зводяться до необхідності інтегрування сингулярних диференціальних рівнянь із змінними коефіцієнтами та їх систем. Як показали дослідження останніх років, гібридні асимптотичні методи, дозволяють будувати досить ефективні наближені аналітичні розв'язки вказаних рівнянь, у ряді випадків незалежно від величини параметра при старшій похідній. Оцінюючи науково-методичну необхідність проведення теоретичного аналізу нелінійної динаміки пологих оболонок з функціонально-градієнтних матеріалів, слід зазначити наявність певного відставання існуючих підходів відносно потреб сьогодення. У цьому зв'язку нагальна науково-практична потреба до вдосконалення методів дослідження і отримання наближених аналітичних розв'язків нелінійних динамічних процесів у пологих оболонках із функціонально-градієнтних матеріалів за умови залежності товщини оболонки від часу на основі подальшої розробки і застосуванню гібридних аналітико-чисельних підходів є **безумовно актуальним з точки зору механіки деформівного твердого тіла.**

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконувалась відповідно до держбюджетної теми Міністерства освіти і науки України 3/15 «Математичне моделювання конструкцій неоднорідної структури на базі сучасних інформаційних технологій» № ДР 0115U000761, а також відповідно до «Тематичного плану науково-дослідних робіт Запорізького національного університету» на 2016-2017 роки за темою «Гібридні аналітико-чисельні методи розв'язку актуальних задач неоднорідного середовища» № ДР 0114U002656.

3. Зміст роботи

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, 3 додатків, довідок про застосування та впровадження результатів дослідження.

У вступі до дисертаційної роботи обговорено актуальність проблеми, з якою пов'язане наукове дослідження, подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми дослідження, окреслено її зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету і завдання дослідження, охарактеризовано наукову новизну, достовірність, теоретичну і практичну значимість отриманих у роботі результатів, подано інформацію про публікації за темою роботи, відзначається особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації, її структуру та обсяг.

У першому розділі надано аналітичний огляд сучасного стану досліджень вітчизняних і закордонних вчених в напрямку нелінійних коливань, у тому числі пологих оболонкових конструкцій із функціонально-градієнтних матеріалів. Обговорюються методи дослідження нелінійних систем, зокрема гібридні асимптотичні підходи. Вказується, що наближені методи дослідження мають досить широку область застосування з точки зору характеру не лінійності, а чисельно-аналітичні підходи є ефективнішими для аналізу суттєво нелінійних систем. Висвітлено передумови виникнення задач дослідження за темою дисертаційної роботи, обґрунтовано необхідність їх подальшого вивчення та розв'язку. Спеціальна увага приділена моделям і аналізу функціонально-градієнтних матеріалів та їх застосуванню у оболонкових конструкціях, результатам досліджень в області нелінійної динаміки пологих ФГМ оболонок, формулюються основні задачі дослідження.

Другий розділ присвячено опису і застосуванню ефективному асимптотичного підходу до вирішення задачі нелінійної динаміки конструкцій із суттєвою не лінійністю, зокрема у випадку, коли нелінійна складова у базовому сингулярному диференціальному рівнянні задачі може бути у цілій, або дробовій степені. Застосований гібридний асимптотичний

метод ілюструється на розв'язку нелінійного сингулярного (з малим параметром при старшій похідній) неоднорідного диференціального рівняння із змінними коефіцієнтами. На першому кроці розв'язок рівняння представляється за двокроковим підходом із застосуванням методу збурення за малим параметром при нелінійній складовій, що приводить до системи неоднорідних сингулярних лінійних рівнянь із змінним коефіцієнтами, розв'язок яких отримується методом фазних інтегралів (метод ВКБ у одному та двох наближеннях). Побудовано наближений аналітичний розв'язок нелінійних задач динаміки систем із суттєвою нелінійністю на базі гібридних асимптотичних підходів. Наведені порівняння прямих чисельних інтегрувань вихідного рівняння з наближеним аналітичним розв'язком для лінійної неоднорідної та нелінійної задач із різним степенем нелінійності показало, що результати чисельних даних у заданих діапазонах часу достатньо добре корегуються і застосований гібридний асимптотичний підхід може бути досить ефективним для отримання наближених аналітичних розв'язків нелінійних задач динаміки механічних систем із параметрами, залежними від часу.

У третьому розділі розглядається наближений аналітичний розв'язок нелінійної задачі динаміки пологої оболонки із функціонально-градієнтного матеріалу (ФГМ) на основі методу збурень і ВКБ - наближення. Нелінійні залежності деформації – переміщення базуються на теорії Кармана. Особлива увага приділяється дослідженню впливу властивостей матеріалу, який оцінюється за напрямком товщини у відповідності до розподілу за степеневим законом з точки зору об'єму матеріалу. Нелінійні залежності деформації – переміщення базуються на теорії Кармана. Задача зводиться до сингулярного нелінійного диференціального рівняння другого порядку із змінними за часом коефіцієнтами. Передбачається, що метало - керамічна полога оболонка шарнірно закріплена на кінцях, знаходиться під дією зовнішнього тиску, залежного від часу. Вважається, що об'ємні фракції

металу та кераміки знаходяться за степеневим законом. Надано наближений аналітичний розв'язок вимушених коливань геометрично нелінійних ФГМ недосконалих пологих оболонок з товщиною, залежною від часу, на основі методу збурень, ВКБ - апроксимації (у одному та двох наближеннях) та принципу ортогональності Бубнова-Гальоркіна. При цьому досліджена ефективність запропонованого підходу. Відзначається, що відносна похибка ВКБ - розв'язків (за двома членами розвинення) у заданому інтервалі часу складає 5 відсотків у порівнянні із прямим чисельним розв'язком.

Четвертий розділ дисертації присвячений знаходженню наближеного аналітичного розв'язку задачі про вплив температурного навантаження на нелінійні коливання сферичних пологих оболонок з функціонально градієнтних матеріалів (ФГМ) з товщиною, що залежить від часу. Нелінійне диференціальне рівняння зі змінними у часі коефіцієнтами, що описує вплив температури на динамічну поведінку оболонки, вирішується гібридним асимптотичним підходом на базі методів збурень і фазних інтегралів (метод ВКБ). Дається порівняння результатів прямого чисельного інтегрування основного рівняння проблеми у порівнянні із запропонованим наближеним аналітичним розв'язком. Загальні властивості функціонально градієнтної оболонки з залежними від часу параметрами, такі як модуль Юнга, масова щільність, коефіцієнт теплового розширення, коефіцієнт теплопровідності беруться за степеневим законом Показано, що параметр температурного навантаження може суттєво вплинути на динамічні властивості досліджуваної оболонки.

4. Ступінь обгрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їхня достовірність

У роботі використано загальновідомі аналітичні і чисельні методи нелінійної динаміки, наведені досить переконливі свідчення достовірності

отриманих результатів, що забезпечується коректністю та строгістю математичних постановок розглянутих задач, зіставленням отриманих результатів із відомими розв'язками і достатнім узгодженням здобутих наближених аналітичних залежностей із прямим чисельним інтегруванням основних рівнянь та фізичними представленнями досліджуваних явищ. Таким чином, доведено теоретичну новизну, практичну значимість та доцільність застосування розробленого методу, що спирається на гібридний асимптотичний підхід, при аналізі нелінійної динаміки пологих оболонкових конструкцій з параметрами, залежними від часу.

5. Найбільш важливими результатами роботи, що мають наукову новизну, слід вважати:

1) в дисертації вперше на базі асимптотичного підходу із застосуванням гібридного асимптотичного методу надано нові наближені аналітичні розв'язки задач нелінійної динаміки пологих оболонкових конструкцій із функціонально-градієнтних матеріалів і змінною за часом товщиною, які описуються нелінійними сингулярними диференціальними рівняннями зі змінними коефіцієнтами та їх системами;

2) при застосуванні гібридного ВКБ - Гальоркін методу дістала подальший розвиток ідея поєднання запропонованих наближених аналітичних розв'язків на базі асимптотичних підходів із чисельними алгоритмами;

3) одержані нові і удосконалені відомі аналітичні розв'язки досліджених задач механіки деформівного твердого тіла стосовно характеру зміни параметрів конструкцій і зовнішнього навантаження від часу;

4) запропоновано наближений аналітичний розв'язок задачі нелінійної динаміки сферичної ФГМ оболонки змінної у часі товщини в умовах температурного навантаження;

4) здобуті наближені аналітичні розв'язки можуть бути застосовані в інших напрямах механіки деформівного твердого тіла.

5. Практичне значення результатів дослідження

- Запропоновані нові наближені аналітичні розв'язки актуальних задач нелінійної динаміки ФГМ конструкцій із змінними за часом параметрами і зовнішнього навантаження, зокрема пологих оболонок змінної за часом товщини;
- співставлення результатів розрахунку за аналітичними і прямими чисельними методами, дозволяють рекомендувати здобуті дані для практичного використання при проектуванні конструкцій нової техніки;
- результати дослідження використані при виконанні робіт за держбюджетною темою Міністерства освіти і науки України, впроваджені у практику державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля» та навчальний процес Запорізького національного університету.

7. Рекомендації щодо використання результатів дисертації

Результати дисертації у вигляді запропонованих наближений аналітичних розв'язків на базі гібридних асимптотичних методів можуть бути застосовані у вирішенні суміжних проблем механіки деформівного твердого тіла, які описуються нелінійними сингулярними диференціальними рівняннями із змінними коефіцієнтами та їх систем та в практиці проектування конструкцій нової техніки.

8. Повнота відображення результатів дослідження у публікаціях

За результатами виконаних досліджень опубліковано 9 наукових праць. З них: 1 англомовна монографія, 5 статей (4 у наукових фахових виданнях в галузі фізико-математичних наук, 1 у міжнародному періодичному виданні), одна робота у виданні, яке включено до міжнародної бази даних SCOPUS, 3 тези доповідей на міжнародних конференціях.

Зміст автореферату ідентичний до змісту основних положень дисертації і досить повно відображує сутність отриманих результатів.

В якості зауважень необхідно зазначити:

1. У першому розділі, який присвячено аналізу стану проблеми та вибору напрямів дослідження, більшої уваги слід було б приділити дослідженнями, пов'язаними із нелінійними динамічними проблемами резонансного характеру.

2. Незважаючи на ретельність викладання матеріалу, слід було б у роботі надати порівняння для конкретних даних досліджуваних систем за різними теоріями оболонок.

3. У висновках до роботи слід детальніше вказати ефекти, пов'язані із застосуванням функціонально-градієнтних матеріалів на динамічну поведінку оболонкових конструкцій.

Виказані зауваження та недоліки не знижуюсь високої оцінки дисертації, що розглядається.

Висновки.

Дисертація Фатєєвої Юлії Олександрівни "Нелінійна динаміка конструкцій із функціонально-градієнтних матеріалів з параметрами, залежними від часу ", є завершеною науково-дослідною роботою, що містить

нові наближені аналітичні розв'язки задач нелінійної динаміки пологих оболонок із функціонально-градієнтних матеріалів з параметрами, залежними від часу. Її зміст відповідає паспорту спеціальності 01.02.04 – механіка де формівного твердого тіла. Робота виконана на достатньо високому рівні, має наукову новизну та практичну значимість, відповідає вимогам п.п.9,11,12 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567, щодо кандидатських дисертацій, а її автор **Фатєєва Юлія Олександрівна заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за вказаною спеціальністю.**

Офіційний опонент

професор кафедри механіки
Запорізького національного технічного
університету
доктор фізико-математичних наук,
професор Пожуєв В.І.

Вчений секретар

«___»_____ 2017р