



ВІДЗИВ

офіційного опонента доктора фізико-математичних наук,
професора Стеблянка Павла Олексійовича
на дисертаційну роботу Сафронової Інги Анатоліївни на тему:
«Моделі і алгоритми прискорення збіжності ітераційних процесів в задачах
розрахунку і оптимізації оболонкових елементів конструкцій»,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Дисертаційна робота присвячена розробці ефективних методів розв'язування нелінійних задач механіки оболонкових конструкцій з неоднорідними параметрами.

Актуальність теми дисертації. Необхідність розв'язування нелінійних крайових задач механіки оболонок, виникає при проектуванні та створенні багатьох конструкцій аерокосмічної, хімічної, нафтогазової та інших галузей. При цьому для оболонок з відносно малою товщиною стінки, нерегулярними параметрами жорсткості та складною формою меридіану, до яких відносяться сільфони, як компенсатори теплових переміщень трубопроводів, оболонкові елементи у вигляді мембран, як чутливих елементів вимірювальних приладів та ін., в процесі деформування характерними є значні переміщення, тому відповідна крайова задача є суттєво нелінійною, і для її розв'язання необхідно застосовувати ефективні ітераційні числові алгоритми.

Зменшення обчислювальних витрат на розв'язування таких нелінійних задач є важливим і при розв'язанні задач оптимального проектування складних багато-параметричних конструкцій. Відомо, що кількість ітерацій пошукового оптимізаційного алгоритму часто виявляється досить значною. Враховуючи, що прямий розрахунок таких об'єктів оптимізації (результати якого необхідні на кожному кроці пошуку для обчислення цільової функції, обмежень, а у деяких випадках і похідних від них) достатньо трудомісткий, виникає необхідність розробки підходів, методів та алгоритмів зменшення обчислювальних витрат на розв'язання таких задач шляхом, зокрема, прискорення збіжності відповідних числових алгоритмів.

Із літературних джерел відомо, що досить часто існуючі моделі і алгоритми прискорення збіжності при їх практичному використанні виявляються недостатньо ефективними та обчислювально трудовитратними.

Тому тема дисертаційної роботи, яка спрямована на розробку алгоритмів прискорення збіжності і, таким чином, на зменшення кількості розрахунків при розв'язуванні нелінійних задач механіки оболонок є досить актуальною.

Наукова новизна результатів дослідження. До нових наукових результатів, отриманих у роботі, можна віднести такі:

- розроблено нові ефективні алгоритми прискорення збіжності ітераційних процесів розв'язання задач розрахунку і оптимізації параметрів неоднорідних оболонкових елементів конструкцій, суть яких полягає в прогнозуванні (на окремих кроках) значень нелінійних параметрів за результатами обчислень, отриманих на

попередніх ітераціях i , таким чином, заміні певної кількості повних розрахунків на обчислення за простими формулами.

- вдосконалено прийоми лінеаризації нелінійних крайових задач механіки оболонок, шляхом перетворень відповідних складових їх математичних моделей, що підвищує ефективність ітераційних схем та прискорює збіжність відповідних алгоритмів;

- проведені порівняльні числові дослідження результатів безпосереднього інтегрування нелінійних крайових задач для існуючих математичних моделей методами прогонки за С. К. Годуновим, отриманих методом скінченних елементів та результатів оригінальних авторських експериментальних дослідження поведінки гнучкої кільцевої пластинки і сільфона;

- розроблено нову методологію спільного використання методу Фур'є та запропонованого алгоритму прискорення збіжності для зменшення обчислювальних витрат при розв'язуванні задач розрахунку оболонок обертання змінної вздовж меридіану жорсткості при несиметричному навантаженні;

- побудовано новий ефективний підхід до спільного застосування модифікованого дискретно-континуального методу прямих та запропонованого алгоритму прискорення збіжності ітераційних процесів та його застосування для дослідження напружено-деформованого стану оболонок обертання зі змінною у двох напрямках жорсткістю;

- вперше, за допомогою розробленого алгоритму прискорення збіжності, отримано числові розв'язки низки прикладних задач розрахунку і оптимізації параметрів неоднорідних гнучких оболонкових елементів конструкцій зі складною формою меридіану (мембран синусоїдального профілю, сільфонів та ін.), гнучких кільцевих пластин та оболонок обертання змінної жорсткості.

Обґрунтованість та достовірність одержаних результатів, наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації забезпечується

- коректністю розробки розрахункових схем та побудови математичних моделей досліджуваних об'єктів;

- контрольованою точністю обчислень з використанням результатів числових експериментів та результатами проведеного в роботі спеціального експериментального дослідження поведінки гнучких кільцевих пластин та сільфонів;

- апробацією підходу на тестових задачах;

- відповідністю отриманих результатів фізичному змісту задач та добрим узгодженням результатів досліджень отриманих різними методами, а також з опублікованими результатами інших авторів.

Значення отриманих результатів дослідження.

Теоретична цінність роботи полягає у розробці ефективного алгоритму прискорення збіжності ітераційних процесів розв'язування нелінійних крайових задач механіки неоднорідних оболонок, суть якого полягає у заміні (на окремих етапах ітераційного процесу) повного, часто досить трудомісткого, розрахунку математи-

чної моделі стану конструкції на певні прогностичні значення нелінійних змінних, отриманих за простими формулами з використанням даних попередніх кроків ітераційного процесу.

Область застосування запропонованої методики може бути поширена на розв'язання багатьох інших проблем нелінійної механіки оболонок та нелінійних задач в інших галузях, а одержані в роботі результати – методологія, алгоритми, дані числових та експериментальних досліджень можуть служити науково-методичною основою для перспективних розробок.

Практична цінність результатів дослідження полягає у можливості безпосереднього використання запропонованого підходу, як ефективного засобу розв'язування нелінійних (зокрема крайових) задач та задач оптимізації параметрів оболонкових елементів зі складною формою меридіану, зокрема, при проектуванні мембран синусоїдального профілю найбільшої чутливості, розрахунку гнучких сільфонів, оболонок з раціональною, змінною уздовж меридіана та у двох напрямках жорсткістю, тощо, що виникають в процесі розробки конструкцій авіа-, ракето-, енерго-, судно- і космічного машинобудування та в інших галузях.

Теоретичні та практичні результати, які склали основу дисертації у вигляді методичного, алгоритмічного і програмного забезпечення та результатів їх реалізації, вже знайшли своє застосування при виконанні низки держбюджетних тем Міністерства освіти і науки України та освітньому процесі Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Структура, загальна характеристика та оформлення дисертації. Дисертація складається із анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел із 138 найменувань та додатку, вона містить 32 рисунки, 2 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 147 сторінок.

У першому розділі наведено огляд публікацій і зроблено аналіз проблеми та основних досягнутих результатів у галузі дослідження тонкостінних оболонок обертання і методів розрахунку стану оболонок з нелінійними параметрами, що знайшли відображення в досить значній кількості оглядових робіт, монографій та наукових статей. Відзначено суттєвий вклад у розробку теорій та підходів за даним напрямком досліджень вітчизняних та закордонних вчених.

За результатами огляду зроблено висновки щодо місця роботи серед сучасних досліджень з даної проблематики і обґрунтовано актуальність та основні задачі дисертаційної роботи.

У другому розділі на основі нелінійної теорії оболонок обертання (розглядаються оболонки з довільною формою меридіану (такі як сільфони та мембрани синусоїдального профілю)) пропонується алгоритм прискорення збіжності ітераційних процесів. Запропонований в дисертації алгоритм прискорення збіжності ітераційних процесів розв'язання нелінійних задач механіки оболонок побудовано за результатами порівняльного аналізу широкомасштабного числового експерименту з використанням комбінацій різних методів, таких як аналоги методів змінних параметрів пружності, додаткових навантажень, екстраполяцій стану конструкцій, лінійної та квадратичної апроксимації, імітаційного прогнозування, екстраполяцій-

них поліномів Лагранжа та Ньютона, ітераційного процесу Ейткена – Стеффенсена та ін., а також з використанням авторських прийомів спільного застосування методів релаксуючих множників (лінійної екстраполяції), поліномів Лагранжа і Ньютона (в формі аналогу методу Адамса) та ітераційного процесу Ейткена – Стеффенсена.

Продемонстровано ефективність підходу. Наведено результати числового порівняльного аналізу та отриманих в дисертації експериментальних даних, які підтверджують, що запропонована методика розрахунку нелінійних крайових задач є досить ефективною, отримані результати – близькими до реальної поведінки конструкцій, а алгоритм має достатньо високу збіжність.

Третій розділ присвячено використанню запропонованого в роботі підходу для розрахунку гнучких гофрованих оболонок обертання (сильфонів), вибору оптимальних параметрів чутливих елементів приладів у вигляді гофрованих мембран, розрахунку параметрів динамометричних шайб та вагової оптимізації круглих пластин з метою зменшення обчислювальних витрат. Подані результати числових розрахунків, отриманих з використанням розробленого підходу, реалізованого на базі авторського програмного пакету на мові PGI Visual Fortran, скінченних елементів та спеціально проведених експериментальних досліджень. За результатами досить обширного числового експерименту встановлено, що запропоновані алгоритми прискорення збіжності дозволяють суттєво скоротити обчислювальні витрати на розв'язування нелінійних крайових задач механіки оболонок обертання і пластин.

Четвертий розділ присвячено застосуванню розробленого підходу для зменшення обчислювальних витрат при розрахунку несиметрично навантажених оболонок обертання зі змінними параметрами жорсткості (товщини стінки) вздовж меридіану з використанням розкладень відшукуваних функцій і навантажень в ряди Фур'є в окружному напрямку і інтегрування крайових задач для системи звичайних диференціальних рівнянь відносно коефіцієнтів розкладень в меридіональному напрямку; а також побудовані алгоритми дискретно-континуального методу прямих розрахунку оболонок обертання з товщиною, змінною у двох напрямках, шляхом застосування скінченно-різницевого розкладень в окружному напрямку, безпосереднього інтегрування крайових задач вздовж меридіану та методом послідовних наближень з використанням розробленого в дисертації алгоритму прискорення збіжності.

У **висновках** наведено основні результати та загальні підсумки дослідження.

У **додатках** подано список публікацій здобувача за темою дисертації, відомості про апробацію результатів дисертації та акт впровадження результатів дослідження у освітній процес спеціальності 113 – Прикладна математика.

Структура, обсяг та оформлення роботи відповідають вимогам Міністерства освіти і науки України. Зміст і результати проведених в дисертації досліджень викладено логічно і аргументовано.

Повнота викладу наукових положень, висновків, результатів і рекомендацій в опублікованих роботах. Основні наукові результати роботи ви-

кладені у 19 наукових роботах в яких відображено основний зміст дисертаційної роботи та етапи її підготовки. Серед яких: 1 стаття у журналі, що входить до переліку Web of Science, 8 статей у журналах та збірниках, що входять до переліку наукових фахових видань України, 3 публікації у закордонних виданнях. Результати дисертаційного дослідження апробовані виступами на Міжнародних наукових конференціях, що опубліковано в 6-ти матеріалах та тезах. Наведені в авторефераті та дисертації публікації повністю висвітлюють основні наукові результати дисертаційного дослідження.

Як зауваження слід зазначити:

1. Одним із основних засобів сучасного інженерного аналізу є метод скінчених елементів. В дисертації недостатньо висвітлене питання про можливість застосування розробленого у дисертації підходу для зниження обчислювальних витрат при використанні МСЕ.

2. Потребують додаткових пояснень висловлювання

- «механічно ідеальне з'єднання»,

- застосування поліномів Лагранжа і Ньютона у формі аналогу методу Адамса.

3. Не окреслені межі ефективного застосування розробленого алгоритму прискорення збіжності нелінійних крайових задач оболонок.

4. Для більш переконливої демонстрації переваг підходу слід було б більш розширено привести результати порівняльного аналізу окремо з застосуванням (добре відомих в механіці) лише методу змінних параметрів пружності та лише методу додаткових навантажень і розробленого алгоритму).

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

Висновки щодо відповідності дисертації встановленим вимогам МОНУ.

В цілому дисертаційна робота Сафронової Інги Анатоліївни виконана на високому науковому рівні і є цілісною завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій одержані нові наукові результати, важливі до практичного застосування при створенні конструкцій нової техніки, що у сукупності є вагомим внеском у вирішенні актуальної наукової задачі розробки методів прискорення збіжності, розрахунку напружено-деформованого стану оболонкових конструкцій та розвиток механіки деформівного твердого тіла у цілому.

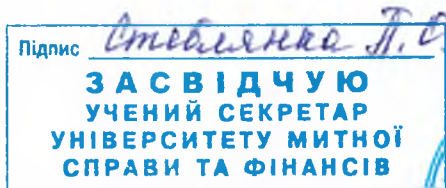
Результати та висновки дисертаційної роботи повністю відповідають меті та поставленим завданням, а автореферат є ідентичним положенням дисертації і у повній мірі відображає основний зміст. Тема, зміст та результати дисертації відповідають паспорту спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла (фізико-математичні науки).

Вважаю, що за актуальністю теми, високим науковим рівнем виконаних досліджень, новизною, теоретичними та прикладним значенням одержаних результатів дисертаційна робота Сафронової І. А. «Моделі і алгоритми прискорення збіжності ітераційних процесів в задачах розрахунку і оптимізації оболонкових елементів конструкцій», відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів...», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 656 зі змінами, затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р., а її автор – Сафронова Інга Анатоліївна, заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент
професор кафедри кібербезпеки
та інформаційних технологій
Університету митної справи та фінансів
доктор фізико-математичних наук, професор,

П. О. Стеблянко

03.09.2021р



М.М. Брус