

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Дьомічева Костянтина Едуардовичана «Метод дослідження елементів конструкцій з функціонально-неоднорідних матеріалів при великих деформаціях», подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Актуальність теми дисертаційного дослідження

Сучасні деталі, пристрої та елементи конструкцій, що виготовляються з функціонально-неоднорідних матеріалів та мають властивість пам'яті форми і ведуть себе псевдо-пружно-пластичним чином, в процесі виготовлення та експлуатації можуть перебувати під впливом складного нестационарного силового і температурного навантаження.

Нерівномірний нагрів тіл у поєднанні з силовими чинниками може призводити до великих деформацій матеріалу та до складних процесів деформування.

Для моделювання поведінки таких елементів конструкцій з функціонально-неоднорідних матеріалів потрібно визначати нестационарний термомеханічний стан тіла не лише на псевдо-пружній стадії деформування, а й за межею пружності при кінцевих пластичних деформаціях.

Існуючі моделі поведінки таких елементів не враховують нелінійні геометричні співвідношення та непридатні для ефективного використання при великих деформаціях.

Сучасні числові методи розв'язання таких нестационарних задач термомеханіки призводять до великих обсягів обчислень, пов'язаних із розв'язанням великих систем алгебраїчних рівнянь і не завжди бувають ефективними. Ці обставини суттєво ускладнюють моделювання термочутливих конструкцій з функціонально-неоднорідних матеріалів під дією нестационарного складного навантаження.

Дослідження останніх років свідчать про те, що перспективними методами дослідження нестационарного складного навантаження тіл є методи розщеплення і сплайн-колокації, що дозволяють будувати точніші розв'язки як за часом, так і по координатах.

Таким чином, актуальною є наукова проблема створення математичних моделей, розробка та застосування методів і засобів комп'ютерного моделювання термочутливих конструкцій з функціонально-неоднорідних матеріалів при кінцевих деформаціях. Обраний підхід до вирішення цієї проблеми ґрунтується на розширенні класу математичних моделей, врахуванню особливостей процесів, що

протікають при великих деформаціях, та розробці ефективного методу числового моделювання нестационарних термомеханічних процесів у функціонально-неоднорідних матеріалів.

Дисертаційна робота виконана в межах досліджень, що виконувались у Дніпровському державному технічному університеті «Створення чисельного методу дослідження міцності елементів конструкцій на основі урахування теплових та мікромеханічних ефектів» (номер державної реєстрації № 0110U002305) та «Методи дослідження міцності елементів конструкцій із функціонально-неоднорідних матеріалів, чутливих до виду термонапруженого стану» (номер державної реєстрації № 0113U000379).

Наукова новизна, обґрунтованість і достовірність наукових висновків і рекомендацій

Розглянуту дисертацію виконано на високому науковому рівні. Окремо можна відзначити наступні результати:

1. Розроблено *новий* ефективний метод розв'язання нестационарних просторових задач теорії пластичності у випадку деформування функціонально-неоднорідного матеріалу при великих деформаціях.

2. *Вперше запропоновано* й експериментально обґрунтовано нову нелінійну феноменологічну модель поведінки псевдо-пружно-пластичних матеріалів з пам'яттю форми, в якій враховується тепло, що виділяється в процесі фазових переходів у матеріальних точках тіла.

3. *Вперше запропоновано* на ділянці діаграми матеріалу близької до ідеальної пластичності застосовувати феноменологічну теорію пластичної течії для матеріалів з майданчиком плинності.

4. *Узагальнено* співвідношення теорії пластичності та теорії течії з кінематичним і трансляційним зміцненням на випадок деформування термо-псевдо-пружно-пластичного матеріалу.

5. *Запропоновано* (на основі теорії напружених сплайн-функцій) *нові* експериментально підтверджені інтерполяційні формули для описання ділянок діаграми матеріалу при розвантаженні з довільної точки.

6. *Поставлено і розв'язано новий* клас задач про нестационарне деформування просторових тіл зі сплавів, що мають властивості пам'яті форми, термо-псевдо-пружно-пластичності при значних деформаціях.

7. *Виявлено нові* механічні ефекти, пов'язані з урахуванням локального тепловиділення в процесі фазових перетворень у тілах з псевдо-пружно-пластичних матеріалів.

8. *Доведено* збіжність уточненої ітераційної процедури розв'язання нестационарних просторових задач теорії пластичності у випадку деформування функціонально-неоднорідного пластичного матеріалу при великих деформаціях.

9. *Вперше* в рамках запропонованого методу врахована можливість зміни форми й розмірів тіла при великих деформаціях.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість та достовірність результатів наведених у дисертації, забезпечується коректністю та строгістю математичних постановок задач у рамках механіки деформівного твердого тіла; застосуванням обґрунтованих числових методів розв'язання поставлених задач; узгодженістю та збігом одержаних розв'язків з відомими результатами, отриманими за допомогою інших методів; відповідністю результатів і висновків до фізичної сутності задач та узгодженістю з експериментальними даними.

Наукова новизна підтверджена пріоритетними вітчизняними та зарубіжними публікаціями.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці методу числового моделювання процесів деформування в нелінійних просторових тілах з функціонально-неоднорідних матеріалів (зокрема, матеріалів з пам'яттю форми та псевдо-пружно-пластичністю) при великих деформаціях.

Використаний при цьому апроксимаційний апарат двовимірних сплайн-функцій дозволяє з більшою точністю враховувати складні залежності властивостей матеріалів від термо-механічних процесів, що в них відбуваються, а також створювати нові різницеві схеми підвищеної точності.

Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі Дніпровського державного технічного університету при викладанні навчальної дисципліни «Математичне моделювання технологічних процесів», Національного авіаційного університету при викладанні дисциплін «Сучасні комп'ютерні технології в фізиці» та «Методи математичної фізики». Також результати досліджень використані й впроваджені в ТОВ «LAB01».

Повнота викладення здобувачем основних результатів дисертаційної роботи в публікаціях

Основні результати дисертації опубліковано у 44 працях, серед яких 2 монографії, 2 статті у періодичних виданнях, що включені до наукометричної бази Scopus, 18 статей у наукових фахових виданнях України та зарубіжних наукових періодичних виданнях, що віднесені до інших (відмінних від WebofScience) міжнародних наукометричних баз даних (з яких 3 – одноосібних), 24 наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дослідження на наукових конференціях, симпозіумах, конгресах.

В цих публікаціях основні положення та результати дисертації викладені достатньо повно. В працях, що опубліковані у співавторстві, коректно

відображений особистий внесок дисертанта, а також забезпечені посилання на публікації інших авторів.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 346 сторінок машинописного тексту, з них 268 сторінок основного тексту, 26 рисунків, список використаних джерел з 262 найменувань та додатки.

У **вступі** представлена загальна характеристика роботи і проведено аналіз досліджень наукової проблеми; обґрунтована актуальність дисертаційної роботи та її зв'язок із науковими програмами; сформульована мета й завдання дослідження; окреслено новизну отриманих результатів та їх практичне значення; наведено дані про апробацію результатів роботи та публікації її основного змісту, а також особистий внесок здобувача в публікаціях у співавторстві; зроблено короткий опис структури дисертації.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану проблеми математичного моделювання поведінки функціонально-неоднорідних матеріалів. Зроблено огляд літературних джерел за темою дисертаційного дослідження. Проведено аналіз існуючих моделей фазових перетворень, які можуть мати місце у функціонально-неоднорідних матеріалах. Проаналізовано критерії, за якими можна класифікувати фазові перетворення в матеріалах.

Розглянуто методи числового розв'язання задач для тіл з псевдо-пружно-пластичних матеріалів. Сформульовано задачі дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** наведено повну систему рівнянь та розроблено метод визначення пружно-пластичного нестационарного напружено-деформованого стану тривимірних тіл з функціонально-неоднорідних матеріалів при великих деформаціях. Зроблена математична постановка задачі дослідження.

У **третьому розділі** досліджується та розв'язується новий клас задач термомеханіки для функціонально-неоднорідних матеріалів. Розв'язано ряд задач для тіл з псевдо-пружно-пластичного матеріалу при нестационарному навантаженні. Виконано порівняння з відомими результатами. Перший параграф присвячено обробці відомих експериментальних результатів і описанню діаграм напруження – деформація для функціонально-неоднорідних матеріалів як при активному навантаженні, так і при розвантаженні. У другому параграфі в геометрично нелінійній постановці розглянуто задачу про розповсюдження хвилі фазового переходу в одновимірному стрижні при його розтягуванні.

У **четвертому розділі** проведено розв'язання ряду задач нового класу, де досліджена поведінка тіл з функціонально-неоднорідних матеріалів при великих деформаціях (задача про вигин пластини кінцевих розмірів при наявності великих пластичних деформацій, досліджено локальний вигин тривимірного стрижня

прямокутного перерізу при наявності великих пластичних деформацій, розглянуто поведінку пластини з бічним розрізом при локальному розтягуванні).

У п'ятому розділі проведено оцінку точності обчислень та ефективності розробленого нового методу розв'язання задач термомеханіки при значних пластичних деформаціях. Сформовано та доведено відповідну теорему.

У додатках наведені допоміжні результати, акти про впровадження результатів у навчальний процес закладів освіти.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації

Стиль викладання матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує легкість та доступність їх сприйняття. Оформлення дисертації відповідає вимогам встановленим законодавством України.

Поряд з вказаними позитивними рисами до дисертаційної роботи є кілька зауважень:

1. Не вказано тип інтегро-диференційного рівняння та незрозуміло чи на всіх ділянках моделі використовується різницевий метод його розв'язання.
2. В авторефераті доцільно було би навести графіки зміни температури в досліджуваних задачах.
3. В пункті 2.4.2 вислів «метод підвищеної точності» потребує уточнення і конкретизації (ст. 153).
4. Таблиці 3.2-3.11 та рисунки 3.3-3.8 можливо треба було б частково перенести в додатки дисертації.
5. Розділ 5 дисертації присвячений дослідженню метода на збіжність та його програмної реалізації. Не наведено обґрунтування доцільності використання тільки пакету MATLAB, а також мови FORTRAN.
6. В роботі декілька разів зустрічається один й той самий результат порівняння задач в лінійній та нелінійній постановках (навіть при різних видах деформації). При цьому підкреслюється тільки відомий факт, що вплив геометричної нелінійності стає відчутним при кінцевих деформаціях. Доцільно було б розширити цей висновок, пояснити важливість результатів, отриманих в даній роботі.

Зроблені зауваження суттєво не впливають на якість основних положень дисертаційної роботи. Вважаю, що дисертація є завершеною роботою, містить нові науково обґрунтовані результати, що вирішують конкретну наукову проблему. За актуальністю, новизною результатів, високим рівнем проведених досліджень вона відповідає усім встановленим вимогам. Порушення академічної доброчесності не

виявлено. У дисертаційній роботі є посилання на відповідні джерела інформації, а також дотримано усіх норм законодавства про авторське право.

Загальна оцінка дисертації

На підставі аналізу автореферату, дисертаційної роботи, авторських публікацій за темою роботи, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Дьомічева Костянтина Едуардовича тему «Метод дослідження елементів конструкцій з функціонально-неоднорідних матеріалів при великих деформаціях» є завершеною науково-дослідною роботою яка виконана на високому рівні. За актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, новизною, практичною цінністю результатів робота відповідає вимогам щодо докторських дисертацій, зокрема «Порядку про присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінетів Міністрів України від 24 липня 2013 року №567 (зі змінами), а її автор, Дьомічев Костянтин Едуардович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Професор кафедри вищої математики
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка», доктор фізико-
математичних наук, професор



Т.С. Кагадій

Підпис Т.С. Кагадій засвідчую
Вчений секретар
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»



Т.М. Калюжна