

ВІДГУК

офіційного опонента, завідувача кафедри прикладної математики
Національного технічного університету «ХП»,
доктора технічних наук, професора Курпи Лідії Василівни
на дисертаційну роботу Чернобривко Марини Вікторівни
**«Напружено-деформований стан елементів конструкцій
при високошвидкісних навантаженнях»**,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Актуальність теми дисертаційної роботи. В процесі експлуатації сучасної техніки на елементи конструкцій впливають високошвидкісні навантаження. Існує декілька різновидів високошвидкісних навантажень. Поширеними є навантаження імпульсного, ударного, ударно-хвильового і вибухового характеру. Вони характеризуються як швидким ростом, так і швидким падінням контактного тиску. Вплив короточасних навантажень може бути причиною пластичного деформування матеріалів в конструкціях, а також їх руйнування. Дослідження швидкоплинних процесів у механіці пов'язано зі значно більшими труднощами, ніж процесів статичного або квазістатичного деформування, воно вимагає використання складних математичних моделей і експериментальних методів. Слід зазначити, що зберігається актуальність дослідження пластичного деформування і руйнування елементів конструкцій з полікристалічних матеріалів при високошвидкісних навантаженнях, а також залежностей їх характеристик напружено-деформованого стану (НДС) від температурних і швидкісних умов імпульсного навантаження.

Свідченням актуальності роботи є також те, що вона виконувалась у відповідності з великою кількістю важливих та пріоритетних наукових програм, планів та тем Інституту проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України.

Обґрунтованість та достовірність результатів, отриманих у дисертаційній роботі. Запропоновані моделі розрахунку НДС побудовані з використанням загально визнаних положень механіки деформівного твердого тіла, які забезпечують коректність математичних постановок задач. Створені нові алгоритми розв'язання поставлених задач спираються на обґрунтовані та апробовані ефективні числові методи. Розроблені моделі апробовано на тестових задачах даного класу. Достовірність отриманих числових

результатів розв'язків задач перевірялася шляхом їх порівняння з даними експериментів, отриманими іншими авторами, або з результатами, отриманими за іншими моделями.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розробленні аналітично-числового підходу для дослідження динамічного НДС елементів конструкцій при високошвидкісних навантаженнях, при цьому до основних пунктів наукової новизни слід віднести наступні положення.

Розроблено нову узагальнену модель динамічного НДС елементів конструкцій з полікристалічних матеріалів при імпульсному навантаженні. Запропонована модель ґрунтується на поєднанні моделей нестационарного термопружного та швидкісного пластичного деформування, що дозволило враховувати як високошвидкісне зміцнення, так і температурне знеміцнення матеріалу.

Побудовано нове визначальне співвідношення, яке встановлює зв'язок між еквівалентними деформаціями і еквівалентними напруженнями. Запропоноване визначальне співвідношення було отримано у разі модифікації відповідного співвідношення у формі Пежини з додатковими температурними множниками у формі Джонсона-Кука. В результаті встановлено залежність еквівалентних напружень як від еквівалентних деформацій, так і від швидкості деформацій та від температури. При цьому температурний множник Джонсона-Кука розраховується за допомогою відомих механічних властивостей матеріалів, для яких існує широка база, а не за допомогою коштовних експериментів.

Вперше за допомогою запропонованої узагальненої моделі отримано уточнені розв'язки задач за термо-пружно-пластичним високошвидкісним деформуванням оболонкових елементів корпусу газотурбінного двигуна внаслідок обриву частини лопатки та локального пошкодження лопаток сторонніми предметами. Визначено локалізацію динамічних напружень в зоні ударно-імпульсного навантаження.

Особливої уваги заслуговують задачі, в яких розроблений підхід застосовано для дослідження елементів ракетно-космічної промисловості, а саме: корпусу твердопаливного двигуна, обтічників ракет, елементів кріплення головної частини спеціальної ракетної конструкції.

Одним із нових результатів роботи є побудована модель нестационарного деформування корпусу твердопаливного двигуна з композитних, в тому числі з функціонально-градієнтних матеріалів. В якості моделі обрано сферично-циліндрично-сферичні оболонки. Для розрахунку використано уточнені теорії Тимошенко-Рейсснера першого порядку та

теорію Редді високого порядку. Отримано ряд нових закономірностей розподілу динамічних деформацій при внутрішньому імпульсивному навантаженні.

В тривимірній постановці методом скінчених елементів досліджено процес розділення обтічників ракет при спрацюванні подовженого кумулятивного струму. Моделювання обтічників виконано для конічної оболонки. Запропоновано математичний вираз для імпульсного тиску що виникає при спрацюванні детонуючого пристрою. Надано рекомендації щодо допустимих значень максимального тиску, при яких відбувається розділення обтічника на дві частини за заданий час. Вірогідність отриманих числових результатів підтверджено експериментальними дослідженнями, які були проведені ДП «КБ «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Отримано нові закономірності втрати динамічної стійкості обтічників ракет в надзвуковому газовому потоці, що моделюються оболонками у формі параболоїда обертання і підкріпленого шпангоутами конуса, та вперше виявлено їх форми коливань при втраті динамічної стійкості.

На основі запропонованого підходу досліджено високошвидкісне деформування та руйнування елементів кріплення головної частини спеціальної ракетної конструкції під дією газодинамічної ударної хвилі та інших навантажень. Запропоновано розрахункову методику аналізу НДС елементів кріплення із застосуванням адаптованої моделі Купера-Саймондса в програмній системі ANSYS / Explicit Dynamics. За результатами досліджень визначено діаметр центральної шпильки замку стяжки, при якому руйнування елемента кріплення відбувається в заданому діапазоні часу.

Структура і зміст дисертаційної роботи, оцінка її завершеності в цілому.

Рукопис дисертаційної роботи складається з вступу, семи розділів, висновків, списку літератури та двох додатків. Список використаних джерел містить 364 найменування. Загальний обсяг роботи складає 347 сторінок тексту, з них 285 сторінок основного тексту. Структура і об'єм роботи, її оформлення відповідають вимогам МОН України щодо докторських дисертацій.

У цілому за актуальністю, рівнем розв'язання наукової проблеми, обсягом теоретичних досліджень, їх всебічним обґрунтуванням, науковою новизною і практичним використанням отриманих результатів, дисертаційна робота Чернобривко М. В. є завершеним науковим дослідженням та відповідає вимогам, що ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Практичне значення та впровадження результатів дисертаційних досліджень. Одержані в роботі результати можуть використовуватися під час проектування, доведення та експлуатації аерокосмічних та машинобудівних конструкцій. Створені в роботі математичні моделі, методи та алгоритми обчислення становлять розрахункову базу для аналізу напружено-деформованого та граничного стану елементів конструкцій під впливом високошвидкісного механічного навантаження.

Ряд результатів впроваджено: на ДП «КБ «Південне» ім. М. К. Янгеля»; на ТОВ Науковий центр вивчення ризиків «РИЗИКОН»; на ВАТ НВП «ОСНАСТКА»; на ДП «Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування»; на ДП «ЗМКБ «Прогрес» ім. академіка О. Г. Івченка». Деякі наукові результати роботи використано в учбовому процесі у Харківському національному університеті ім. В. Н. Каразіна на кафедрі теплофізики та молекулярної фізики та у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» на кафедрі механіки суцільних середовищ та опору матеріалів.

Повнота викладення результатів дисертаційних досліджень у опублікованих працях. Матеріали дисертаційної роботи викладено у 65 публікаціях. Серед них 42 статті у фахових виданнях, у тому числі 12 робіт у виданнях за базою Scopus. Також 23 публікації у матеріалах міжнародних конференцій і симпозіумів. Матеріали зазначених наукових робіт не включалися до кандидатської дисертації. Вони опубліковані у такій формі і з таким змістом, що відображають основні положення розділів дисертації.

Дисертаційна робота пройшла апробацію на багатьох міжнародних конференціях та семінарах. Таким чином, публікації здобувача за кількісними показниками та повнотою викладення повністю відповідають чинним вимогам стосовно докторських дисертацій.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертаційної роботи. Зміст автореферату повністю відображає основні положення дисертаційної роботи та відповідає змісту розділів дисертації, містить основні результати здійснених досліджень і дає змогу достатньо повно оцінити наукову новизну і практичну цінність.

Стиль викладання матеріалу у дисертації та автореферату відповідає загальноприйнятим вимогам.

Докторська дисертаційна робота не містить матеріалів, викладених у кандидатській дисертації здобувача.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. Вважаю, що деяким недоліком представленої роботи є той факт, що при моделюванні процесу розділення обтічників, проведеного для усіченої конічної оболонки, розглядається тільки випадок жорстко закріпленої по краях оболонки. Доцільно було би дослідити вплив умов закріплення на процес розділення обтічників.

2. Аналіз втрати динамічної стійкості оболонками у формі параболоїда обертання та підкріпленого шпангоутами конуса в надзвуковому газовому потоці проведено на основі застосування лінійних моделей. Це не знижує цінності отриманих результатів, але звужує коло об'єктів, до яких можна застосувати розроблену методику.

3. У роботі достовірність отриманих результатів досліджень власних частот та форм вільних коливань оболонкових елементів конструкцій перевіряється за тривимірними скінченно-елементними моделями в ANSYS. Бажано було б надати більше інформації та пояснень про ці розрахунки.

4. При розв'язанні задачі про нестационарне деформування корпусів твердопаливних двигунів ракет вироблених із функціонально градієнтних матеріалів (ФГМ), не приділену уваги до розрахунку ефективних значень модуля Юнга та коефіцієнта Пуассона, які залежать від товщини. Який саме підхід було використано для їх обчислення.

5. Бажано було б описати складові матеріалів ФГМ: UD, FG-V, FG-L, FG-X, FG-O.

6. Чи можливо поширити розроблену методику на двигуни, які виготовлені із ФГМ та моделюються оболонками змінної товщини?

Зауваження, що висловлені вище, не стосуються актуальності проведених досліджень, наукової новизни, достовірності та практичної цінності отриманих результатів і тому не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи в цілому.

Висновок про дисертацію в цілому та відповідність її чинним вимогам. На підставі вищевикладеного, вважаю, що в цілому дисертаційна робота Чернобривко Марини Вікторівни «Напружено-деформований стан елементів конструкцій при високошвидкісних навантаженнях» є завершеною науковою працею. В ній містяться нові наукові результати, що спрямовані на вирішення важливої науково-технічної проблеми, яка полягає в розробці ефективних аналітично-числових методів дослідження динамічного напружено-деформованого стану елементів конструкцій внаслідок впливу імпульсного навантаження різної фізичної природи і надзвукової газової течії та застосуванні цих методів до розв'язання актуальних прикладних задач.

