

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Пащенко Сергія Олександровича

«Розв'язання тривимірних задач терморадіаційної повзучості елементів конструкцій», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Актуальність теми та її відповідність планам наукових досліджень. Забезпечення надійності та довговічності елементів конструкцій космічних літальних апаратів та приладів, що на них встановлюються, є важливим завданням для ракетно-космічної галузі України. Вимоги до об'єктів, що розташовуються у космічному просторі чи на борту літального апарату, є більш суворими, ніж ті, що висувуються до інших конструкцій. Це пов'язано з коштовністю обладнання космічних апаратів та складністю виведення корисних вантажів на навколосезну орбіту. Для оцінювання довговічності конструктивних елементів необхідно проводити розрахунковий аналіз їхньої довготривалої поведінки. Останній у більшості випадків, в яких має місце незворотне деформування, потребує розв'язання фізично нелінійних задач, складність яких обумовлюється комплексною дією теплових, силових та радіаційних полів від космічного опромінювання. Подібні задачі характерні і для елементів активної зони ядерних енергетичних установок. Також у багатьох випадках дія термосилових полів має періодичний характер. Таким чином, тему дисертаційної роботи С.О. Пащенко «Розв'язання тривимірних задач терморадіаційної повзучості елементів конструкцій» слід визнати актуальною для сучасного стану механіки деформівного твердого тіла, насамперед задач теорії повзучості та механіки пошкоджуваності, що формулюються та розв'язуються у загальній тривимірній постановці.

Робота має зв'язок з науковими планами та темами. Дисертаційна робота виконана за планом науково-дослідних робіт за держбюджетною темою МОН України «Розробка методів та алгоритмів розрахунку впливу теплових полів на працездатність приладів та елементів ракетно-космічної техніки» (Д.Р. №0117U0004891, 2017-2018 р.р.)

Загальна характеристика дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 184 сторінки. До нього включено 93 рисунки, 9 таблиць. Список використаних літературних джерел нараховує

239 найменування, що розміщені на 24 сторінках. Додатки, в яких надано копії актів впровадження та свідоцтва про авторське право на твір, представлені на 7 сторінках.

Вступ містить викладення актуальності теми наукової роботи, опису зв'язку роботи з науковими програмами та темами, мети та задач дослідження, наукової новизни та практичного значення отриманих результатів, інших загальних характеристик роботи.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячено аналізу наукових публікацій за її напрямом. По-перше, аналізуються підходи до опису фізично нелінійних процесів, для чого розглянуто рівняння стану для задач повзучості та континуальної механіки пошкоджуваності. Звернено увагу на формулювання рівнянь, які описують процеси циклічного змінювання напружень при повзучості та прихованому руйнуванні. Розглянуто підходи до врахування у рівняннях стану ефектів, пов'язаних з впливом радіації, насамперед радіаційної повзучості та радіаційного розпухання. У другій частині огляду літератури міститься аналіз методів розв'язання фізично нелінійних початково-крайових задач механіки деформівного твердого тіла – задач повзучості, що супроводжується накопиченням прихованої пошкоджуваності. Наголошуються, що на теперішній час врахування всіх особливостей геометрії та крайових умов конструктивних елементів найкращим чином проводиться за рахунок використання методу скінченних елементів (МСЕ). Розглянуто приклади розв'язання відповідних задач з його застосуванням. Також у розділі аналізуються постановки та методи розв'язання задач нестационарної та стаціонарної теплопровідності, які необхідні для отримання температурних полів в елементах, що розглядаються.

Математичну постановку та метод розв'язання тривимірних задач повзучості та нестационарної теплопровідності розглянуто у другому розділі дисертації. Задачі розв'язуються у геометрично лінійній постановці, що є виправданим для розрахункового аналізу тривимірних об'єктів. Автором, завдяки застосуванню гіпотези про адитивність деформацій, зроблено вдалу спробу врахування низки фізичних ефектів, викликаних пружним та термопружним деформуванням, тепловою та радіаційною повзучістю, радіаційним розпуханням. Враховано пошкоджуваність, що супроводжує теплову та радіаційну повзучість. Надано повну постановку задачі нестационарної теплопровідності, розглянуто різні типи лінійних та нелінійних крайових умов, які характерні для задач, що розв'язуються у дисертації. До математичного моделювання залучено МСЕ разом з різницеvими методами інтегрування за часом. Автор використовує один з найбільш поширених тривимірних скінченних елементів – вісьмивузловий криволінійний паралелепіпед. У роботі послідовно описано всі етапи розв'язання задач

повзучості та нестационарної теплопровідності – від формування матриць елементів, векторів правих частин до отримання шуканих значень компонентів напружено-деформованого стану та температур. Особливо слід відзначити, що метод розрахунку автором реалізовано у вигляді програмного забезпечення, також стисло описаного в розділі . Достовірність роботи програм перевірено автором на багатьох тестових задачах. Ефективне розв'язання тривимірних задач у часі було б неможливим без спеціальних підходів до залучення розподілених обчислень, запропонованих автором. Ним залучено два методи розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь на кроці інтегрування за часом, причому для кожного методу встановлено ефективність застосування: один є ефективним для задач теплопровідності, а другий – для задач повзучості.

Третій розділ містить викладення результатів розв'язання задач нестационарної теплопровідності та повзучості з пошкоджуваністю для елементів навігаційних приладів, які встановлюються на штучних супутниках Землі. Попередньо надано опис експериментальних досліджень роботи головного елемента приладу – волоконно-оптичного гіроскопу, проведених автором на стенді НВП «ХАРТРОН АРКОС ЛТД». З застосуванням встановлених характеристик гіроскопу автором розв'язано задачу визначення його температурного поля при русі супутника навколоземною орбітою. Далі визначений розподіл температур застосовано у задачі визначення терміну роботи гіроскопу при повзучості й пошкоджуваності його полімерного елемента та впливі космічної радіації. Крім того, розділ містить запропонований автором цікавий підхід до врахування деформацій посадкової платформи при змінюванні температурного поля для встановлення похибки вимірювань приладу.

Результати розв'язання тривимірних задач повзучості при комплексній дії термосилових полів, умов космічного простору та радіаційного опромінювання надано у четвертому розділі. Розглянуто три задачі. Перша демонструє вплив навантаження на повзучість та руйнування амортизатора, виробленого з полімерного матеріалу. Показано, що нерівномірне поверхневе навантаження на амортизатор може практично вдвічі скоротити значення часу до його руйнування. Порівняння характеру та результатів протікання повзучості в елементі кріплення сонячної батареї в наземних умовах та у космічному просторі є змістом другої задачі. Автором встановлено, що у космічному просторі процес релаксації напружень у кронштейні, що розглядається, відбувається значно повільніше, ніж на Землі. Третя задача є класичною тривимірною задачею повзучості: розглянуто трійникове з'єднання труб під внутрішнім тиском та з неоднорідним за радіусом розподілом температур. Автором додатково враховано вплив радіаційного розпухання. Таким чином, аналіз включав розгляд чотирьох випадків, в яких

послідовно розглядалися задачі з додаванням наступного ефекту: від чисто теплової повзучості під дією внутрішнього тиску до комплексного впливу температурного поля, радіаційного розпухання повзучості матеріалу тощо. Автором встановлено, що впливи радіаційного розпухання та повзучості у розглянутому прикладі певним чином врівноважуються у часі. Таким чином визначено, що врахування тільки одного фактору – повзучості чи радіаційного розпухання може надати суттєво занижений чи завищений результат при аналізі перерозподілу напружень у часі. Також з результатів розв'язання видно, що навіть незначний температурний градієнт за товщиною труби, який не дає істотних температурних деформацій, може приводити до небезпечних деформацій радіаційного розпухання труб.

Наукова новизна результатів дисертації полягає у вдосконаленні методу розв'язання тривимірних задач повзучості, в яких враховуються деформації різної природи - теплові, повзучості, обумовлені радіацією та пошкоджуваність матеріалу; розробці та реалізації у вигляді програмного забезпечення нових підходів до розв'язання тривимірних задач повзучості при статичному та періодичному навантаженні; отриманні нових закономірностей деформування, перерозподілу напружень та накопичення пошкоджень у приладах та елементах конструкцій космічної та ядерної техніки.

Обґрунтованість і достовірність положень та висновків в дисертаційній роботі забезпечено суворими математичними постановками задач механіки деформівного твердого тіла, а саме теорії повзучості та механіки пошкоджуваності, застосуванням апробованих методів розв'язання крайових та початкових задач та перевірених рівнянь стану, позитивними результатами дослідження збіжності чисельних розв'язків та їхнім порівнянням у деяких випадках з експериментальними даними.

Цінність наукових результатів для науки та практики. В дисертаційній роботі реалізовано вдосконалений метод розв'язання тривимірних задач теорії повзучості. Отримані з його допомогою закономірності можливо розглядати як значний внесок до розуміння впливу процесів періодичних змін температур та навантажень укупі зі впливом радіації на роботу елементів конструкцій та приладів космічної техніки.

Результати досліджень деформування та пошкоджуваності елементів приладів штучного супутника Землі застосовано при проектуванні у провідному підприємстві ракетно-космічної галузі України НВП «ХАРТРОН АРКОС ЛТД» та при виконанні держбюджетної теми, що підтверджено відповідними актами, наведеними у додатках до роботи. Важливим результатом є створення програмного забезпечення, яке може бути застосованим при аналізі напружено-деформованого стану та довготривалої

міцності елементів конструкцій аеро-космічного та енергетичного машинобудування.

Відповідність щодо дотримання вимог до дисертаційних робіт. Зміст дисертації С.О.Пашенка, її обсяг, рівень кваліфікації та наукової підготовки, продемонстрований ним при роботі над методом, програмами та отриманні результатів, завершеність проведених досліджень, якість і оформлення роботи повністю відповідають вимогам Атестаційної колегії МОН України до кандидатських дисертацій. Зміст автореферату і основних положень дисертації є ідентичним, а його оформлення відповідає зазначеним вимогам. Робота пройшла достатню апробацію - вона доповідалась на 14 наукових конференціях, її зміст повністю відображений у 21 публікації автора. За результатами досліджень опубліковано 4 наукових праці, які вийшли у виданнях або прирівнюються до видань, зазначених у переліку МОН як наукові і фахові з технічних наук, одну статтю у виданні, що входить до наукометричної бази SCOPUS та розділ у монографії. Дисертація за обсягом, значенням отриманих результатів та формою їх викладення відповідає вимогам Атестаційної колегії МОН до кандидатських дисертацій.

По дисертаційній роботі мають місце наступні зауваження:

1. В кінетичних рівняннях для параметру пошкоджуваності для випадку складного напруженого стану використовується поняття еквівалентних напружень, проте відсутнє обґрунтування застосування критерію довготривалої міцності.
2. В тексті роботи не роз'яснюється, за якими критеріями проводиться вибір методу інтегрування початкової задачі.
3. В тексті підрозділу 4.1 не обговорюється причина виникнення нерівномірного навантаження на амортизатор та необхідність розв'язання задачі з такими крайовими умовами.
4. Підрозділ 4.2 містить опис результатів розрахунку повзучості елемента кріплення сонячної батареї. З тексту не зрозуміло, чи враховано вплив навантаження від самої батареї на деформування цього елемента.

Вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

**Загальний висновок по дисертації Пашенка Сергія
Олександровича**

Дисертаційна робота Пашенка Сергія Олександровича «Розв'язання тривимірних задач терморадіаційної повзучості елементів конструкцій» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 01.02.04- механіка деформівного твердого тіла. Дисертація є завершеною науково-дослідною

роботою, яка розв'язує важливу наукову задачу оцінювання напружено-деформованого стану та пошкоджуваності тривимірних елементів при спільній дії теплових, силових та радіаційних полів. Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами, затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19.08.2015; № 1159 від 30.12.2015; № 567 від 27.07.2016) щодо кандидатських дисертацій. Здобувач Пащенко Сергій Олександрович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04- механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент, провідний науковий співробітник
відділу міцності і надійності механічних систем
Інституту технічної механіки НАН України та
Державного космічного агентства України,
доктор технічних наук, професор


В.П.Пошивалов

Підпис професора Пошивалова В.П. засвідчую
Учений секретар
Інституту технічної механіки НАН України та
Державного космічного агентства України,
кандидат технічних наук




О.М.Маркова