

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Морозова Андрія Володимировича
на тему «Метод визначення характеристик динаміки та міцності
елементів конструкцій авіаційних газотурбінних двигунів з композиційних
матеріалів»
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 14 Електрична інженерія
за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування

Актуальність теми дисертації

Тема дисертаційної роботи Морозова Андрія Володимировича «Метод визначення характеристик динаміки та міцності елементів конструкцій авіаційних газотурбінних двигунів з композиційних матеріалів» є актуальною, оскільки для підвищення конкурентоспроможності вітчизняного двигунобудування на світовому ринку авіаційних послуг необхідно проведення нових наукових розробок та розроблення нових методів проектування, конструювання, виробництва та випробування.

Сучасні технології виробництва лопаток та лопатей авіаційних двигунів базуються на основі повністю автоматизованого процесу проектування. При використанні композитів для їх виробництва постає проблема оцінки величини статичної та динамічної міцності. Експериментальне визначення характеристик матеріалу являє собою складну задачу та потребує велику кількість матеріальних та людських ресурсів. Тому актуальною є проблема розробки експериментально верифікованих методів визначення характеристик композитів для їх використання на наступному етапі проектування конструкції.

Різноманітність теоретичних методів дослідження пружних та міцнісних характеристик композитів дозволяють аналізувати різні структури композитів, вплив способів їх навантаження на напружено-деформований стан, враховувати особливості їх взаємодії з іншими елементами конструкції. Тому вдосконалення цих методів та розробка нових дозволяють враховувати особливості роботи лопаток та лопатей двигунів, оптимізувати тривимірну структуру композиту та скорочувати час на проектування конструкцій.

Із застосуванням уточнених математичних моделей поведінки композитного матеріалу можна отримати більш оптимізовані конструкції елементів авіаційних двигунів, що забезпечить безпеку польотів, масову ефективність двигуна і конкурентоспроможність вітчизняної авіадвигунобудівної промисловості.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Обґрунтованість наукових положень дисертаційного дослідження Морозова А. В., їх переконливість, ґрунтовність висновків та рекомендацій, виконаних за результатами роботи, обумовлено використанням для їх одержання різнопланових методів дослідження. Дисертант використовував системний підхід до теоретичних, інтегрованих та чисельних напрямків досліджень на основі аналізу та узагальнення наукових напрацювань. Моделювання та інженерний аналіз властивостей матеріалу композитної лопаті за допомогою запропонованого методу чисельного розрахунку дозволяє оцінити характеристики міцності, пружності композиту, особливості напружено-деформованого стану, скоротити обсяг експериментальних досліджень.

Достовірність одержаних у дисертаційній роботі результатів, положень, висновків і рекомендацій підтверджено використанням загальноприйнятих методів аналізу та порівняння результатів з перевірними відкритими джерелами, а також впровадженням результатів дослідження в компанії АТ «Івченко-Прогрес», та у навчальний процес Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1) У подальшому розвитку метода аналізу характеристик динаміки та міцності роторних деталей авіаційних газотурбінних двигунів виготовлених із композиційних матеріалів.

2) У розробці нового чисельного методу визначення ефективних пружних характеристик композиційних матеріалів за відомими пружними властивостям структурних компонентів. Метод базується на математичному моделюванні представницьких елементів об'ємів для композиційних матеріалів різних структур армування.

3) У створенні нового чисельно-аналітичного методу визначення параметрів критерію міцності композиційних матеріалів, що враховує різницю меж міцності на розтяг та стиск. Метод базується на аналізі локальних напружень окремо для волокон і матриці

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Морозова А. В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 142 Енергетичне машинобудування та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми

енергетичне машинобудування.

Результати виконаного здобувачем дослідження свідчать про високий науковий рівень дисертації і методичну цінність проведеної роботи. Отримані автором результати вирішують сформовані в дисертації завдання і свідчать про теоретичне і практичне значення виконаних досліджень.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Морозова Андрія Володимировича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Дисертаційна робота викладена послідовно, має логічну структуру та доступна для розуміння, написана технічною мовою з використанням наукової термінології. Текст дисертації має достатній обсяг та проілюстрований рисунками та таблицями.

Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатку. Повний обсяг дисертації становить 160 сторінок, у тому числі основний текст на 148 сторінках, 14 таблиць, 82 рисунка, 148 найменувань літературних джерел та 1 додаток.

У **вступі** автор обґрунтував актуальність обраної теми дослідження, сформував мету і завдання дослідження, а також наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи та особистий внесок автора.

У **першому розділі** проаналізовано особливості сучасних конструкцій та технологій виготовлення лопаток вентилятора авіаційних двигунів та лопатей повітряного гвинта з композитів. Проведено огляд існуючих підходів щодо визначення ефективних пружних характеристик композиційних матеріалів, а також аналіз теоретичних методів гомогенізації композитів. Зроблено обґрунтування перспективності та ефективності використання чисельних методів розрахунку пружних характеристик композитів. Дисертант також проаналізував сучасні експериментальні методи визначення властивостей композитів та найпоширеніші критерії оцінки їх міцності.

У **другому розділі** автором було запропоновано спосіб визначення ефективних пружних характеристик композиту з різною структурою армування. Розрахунки проводилися із залученням припущення про гомогенну анізотропну структуру композиту з усередненими пружними властивостями. Виконано математичне моделювання представницьких елементів об'єму різної структури армування, для яких описано граничні умови. Увагу приділено розробці чисельної методики оцінки характеристик одно-, двох- та

тривимірного ортотропного композиту. Проведено низку чисельних експериментів щодо оцінки розподілу полів переміщень та напружень у волокнах та сполучному композиту. Перевагою розробленого методу є універсальність підходів, які адаптовані під вирішення задач чисельної гомогенізації композиційних матеріалів різної структури армування. Це практично дозволяє прогнозувати характеристики міцності та пружності для необхідних випадків навантажень і граничних умов конструкцій виготовлених із композитів, а також оптимізувати та раціонально проєктувати їх структуру на стадії розрахунків.

У **третьому розділі** автором було запропоновано спосіб визначення параметрів критерію міцності тривимірно армованих композитів. Проведено аналіз існуючих критеріїв міцності композитів. Запропоновано чисельну процедуру визначення параметрів критерія міцності для чого проведено чисельні експерименти моделювання навантаження композиту. Проведені чисельні експерименти вперше дозволили визначити всі границі міцності та коефіцієнти критерію міцності еквівалентного ортотропного матеріалу тривимірно армованого композиту. Слід відзначити, що запропонований метод потребує експериментальної верифікації отриманих результатів.

У **четвертому розділі** дисертант провів дослідження динамічних характеристик широкохордної лопатки вентилятора і лопаті повітряного гвинта. За допомогою серії чисельних експериментів за методикою, що запропоновано автором, проведено аналіз власних частот і форм коливань лопаток та лопатей для визначення їх впливу на напружений стан. За допомогою програмного пакету ANSYS здійснено чисельне визначення власних частот і форм коливань тривимірно армованої композиційної широкохордної лопатки вентилятора та лопаті повітряного гвинта.

У **п'ятому розділі** автором було проведено експериментальну верифікацію розроблених математичних моделей представницького елементу тривимірно армованого композиту. Моделювання було проведено шляхом випробування натурних зразків з вуглепластику на розтяг та чистий зсув з метою оцінки величини міцності та модуля пружності. Також здійснено експериментальну верифікацію моделі лопаті повітряного гвинта з метою дослідження перших п'яти власних форм і частот коливань натурної лопаті повітряного гвинта. Показано достатній рівень збіжності результатів чисельного та експериментального дослідження.

Завершується дисертація **висновками**, і яких узагальнено матеріали, отримані автором згідно проведенням дисертаційним дослідженням. Короткі висновки також мають після кожного розділу.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 5 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базах даних Scopus, 1 стаття у науковому виданні, проіндексованому у базах даних Scopus, що рекомендовані до друку Вченою радою Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ» та пройшли рецензування.

Також основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і отримали позитивну оцінку на XXV Міжнародному конгресі авіадвигунобудівників (Україна, м. Харків, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2020 р.); Міжнародній науково-технічній конференції 2021 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (Україна, м. Харків, Національний технічний університет «ХПІ», 2021 р.).

Наукові публікації здобувача містять опис наукових досліджень, проведених в рамках дисертаційного пошуку, аналізу сутності проблеми, методи і результати проведених досліджень, а також обґрунтовані висновки. В наукових публікаціях здобувача не виявлено порушень принципів академічної доброчесності, висновки є оригінальними.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. На стор. 91 зазначено, що проведено розрахунок властивостей тривимірно армованого композиту. Але на рис. 2.21, 2.22, 2.24-2.27 зображено тривимірний, але двомірно армований композит.

2. У роботі немає інформації (навіть у припущеннях) про те, чи оцінювався вплив термічного навантаження, хоча воно досить значно впливає на загальний напружено-деформований стан.

3. На початку розділу 3 йде мова про розробку “способу” розрахунку, хоча у назві та висновках записано про “метод”.

4. У розділі 5 не вказано, який композитний матеріал проходив випробування.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Морозова Андрія Володимировича на тему «Метод визначення характеристик динаміки та міцності елементів конструкцій авіаційних газотурбінних двигунів з композиційних матеріалів» виконана на високому науковому рівні, не

порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 13 Електрична інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Морозов Андрій Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

Рецензент:

Кандидат технічних наук, професор
кафедри композиційних конструкцій і
авіаційного матеріалознавства
Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут» _____

Ігор ТАРАНЕНКО

Підпис професора І. Тараненка підтверджую

Вчений секретар
Національного аерокосмічного
університету «ХАІ»,
канд техн. наук, доцент _____

Тетяна БОНДАРЄВА

М.П. «__» __червня__ 2025 року