

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Морозова Андрія Володимировича

«Метод визначення характеристик динаміки та міцності елементів конструкцій

авіаційних газотурбінних двигунів з композиційних матеріалів»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 14 – Електрична інженерія

за спеціальністю 142 – Енергетичне машинобудування

Актуальність теми дослідження.

В сучасних умовах наукового розвитку провідні двигунобудівні компанії в конструкціях робочих лопаток вентилятора та лопатей повітряних гвинтів використовують полімерні композиційні матеріали. Мала питома вага композитів, підвищена питома міцність і жорсткість забезпечують низький рівень напружень та деформацій, що дозволяє розв'язати задачу створення високонавантажених конструкцій авіаційних двигунів з композитів. Оскільки композити є анізотропними, у разі збільшується кількість параметрів, що використовуються при проектуванні деталей в якості незалежних розрахункових характеристик матеріалу. Отже, в разі збільшується обсяг обов'язкових теоретичних і експериментальних досліджень при формуванні властивостей матеріалу. Існують достатньо ефективні підходи до оцінки потрібних властивостей, але вони використовуються для окремих типів структур композитів та визначених умовах навантаження. Для складної тривимірної структури композиту з можливістю оцінки складного напружено-деформованого стану постає потреба в розробці більш гнучких та універсальних підходів.

Отже, проблема забезпечення статичної та динамічної міцності конструкцій, виготовлених із полімерних композитів тривимірної структури армування, є актуальною для авіаційного двигунобудування.

Саме тому дисертаційна робота Морозова Андрія Володимировича, яка спрямована на розробку науково-обґрунтованого підходу для визначення характеристик динаміки та міцності роторних деталей авіаційних газотурбінних двигунів по відомим властивостям структурних компонентів композиційних

матеріалів актуальна та створить науково-технічну основу для розробки композитних конструкцій перспективних авіаційних двигунів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Наукові положення та висновки і рекомендації, наведені в дисертаційній роботі Морозова Андрія Володимировича, в достатній мірі обґрунтовані як у науковому, так і у технічному плані. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на фундаментальних підходах механіки суцільних середовищ. У дослідженнях використовувалися – метод геометричного моделювання; метод скінченних елементів; методи аналізу і порівняння; тензометричний, резонансний і метод вільних коливань. У дослідженнях використовувалося ліцензійне програмне забезпечення.

Дослідження виконані з використанням математичного апарату та сучасного комп'ютерного моделювання. Результати перевірені шляхом проведення практичних експериментів, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується результатами відповідних експериментальних досліджень.

Наукові дослідження застосовані під час створення методів визначення ефективних пружних та міцностних характеристик композиційних матеріалів тривимірної структури армування, а також під час проведення експериментальних досліджень зразків з композиційного матеріалу та натурної лопаті повітряного гвинта.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

– розроблено новий метод визначення ефективних пружних характеристик композиційних матеріалів за відомими пружними властивостями структурних

компонентів, який базується на математичному моделюванні представницьких елементів об'ємів для композиційних матеріалів різних структур армування; визначено ефективні пружні сталі тривимірно армованого композиційного матеріалу;

– створено новий метод визначення параметрів критерію міцності композиційних матеріалів, який враховує різницю меж міцності на розтяг та стиск і базується на чисельно-аналітичному аналізі локальних напружень окремо для волокон і матриці. Визначено розрахункові границі міцності та коефіцієнти критерію міцності тривимірно армованого композиційного матеріалу;

– набув подальшого розвитку метод аналізу характеристик динаміки та міцності роторних деталей авіаційних газотурбінних двигунів, які виготовлені із композиційних матеріалів; особливістю методу є те, що ефективні пружні характеристики композиційних матеріалів визначаються чисельним методом та використовуються для роторних деталей в якості розрахункових характеристик еквівалентного гомогенного ортотропного матеріалу, властивості якого задаються в локальних системах координат скінчених елементів в напрямку просторової геометрії конструкції.

Значущість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Практична цінність полягає у використанні результатів досліджень на підприємстві АТ «Івченко-Прогрес» для дослідження особливостей напружено-деформованого стану деталей з композиційних матеріалів, що підтверджено Актом про впровадження результатів дисертаційного дослідження.

Також отримані наукові результати можуть бути використані в організаціях, що спеціалізуються на дослідженні статичної та динамічної міцності конструкцій, виготовлених з композиційних матеріалів.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати досліджень опубліковані у 5 наукових працях, серед яких: 4 статті у наукових фахових виданнях України, одна з яких реферується в

наукометричній базі даних Scopus, одна публікація в неперіодичному виданні, яке реферується в наукометричній базі даних Scopus.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Морозова Андрія Володимировича складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатку.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, показана її наукова і практична цінність, сформульовані мета і задачі дослідження, які необхідно вирішити для її досягнення, приведена апробація дисертаційної роботи і публікації.

В **першому розділі** виконано аналіз проблеми впровадження деталей із композиційних матеріалів в конструкцію авіаційних двигунів на прикладі широкохордної лопатки вентилятора та лопаті повітряного гвинта. Представлено загальну схему дослідження в дисертаційній роботі. Проведено обґрунтування використання теоретичних методів визначення характеристик пружності та міцності в композитах складної структури армування.

У **другому розділі** розроблено метод визначення ефективних пружних характеристик композиційних матеріалів різної структури армування. Представлено загальну схему метода та виконано математичне моделювання представницьких елементів об'єму різної структури армування, для яких описано граничні умови. За допомогою проведення серії чисельних експериментів визначено ефективні пружні характеристики еквівалентного гомогенного матеріалу для композиційних матеріалів різних структур армування.

В **третьому розділі** розроблено метод визначення параметрів міцності тривимірно армованого композиційного матеріалу, який враховує різницю границь міцності при розтягу і стиску. Представлено загальну схему метода та виконано математичне моделювання представницького елемента об'єму. За допомогою проведення серії чисельних експериментів визначено всі границі міцності та коефіцієнти критерію міцності еквівалентного ортотропного матеріалу тривимірно армованого композиційного матеріалу.

В **четвертому розділі** розроблено підхід до чисельного визначення динамічних характеристик деталей з композиційних матеріалів. Його особливістю є те, що ефективні пружні властивості композиційного матеріалу для розрахунків потрібно знаходити за допомогою процедури чисельної гомогенізації композиційних матеріалів різної структури армування. Ортотропні властивості еквівалентного гомогенного матеріалу потрібно задавати в локальних системах координат скінченних елементів відповідно до просторової геометрії конструкцій. Здійснено чисельне визначення власних частот і форм коливань тривимірно армованої композиційної широкохордної лопатки вентилятора та лопаті повітряного гвинта.

В **п'ятому розділі** здійснено верифікацію методу визначення ефективних пружних характеристик композиційних матеріалів різної структури армування. Виконано верифікацію методу визначення параметрів критерію міцності тривимірно армованого композиційного матеріалу. Проведено верифікацію методу визначення динамічних характеристик лопаті повітряного гвинта.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел із 148 найменувань досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

Додаток містить акт впровадження результатів наукових досліджень дисертації на підприємстві АТ «Івченко-Прогрес».

Академічна доброчесність

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У четвертому розділі розглянуто особливості застосування та програмної реалізації методу скінченних елементів для розрахунку конструкцій з композиційних матеріалів. У практичному застосуванні метода скінченних елементів часто виникає явище, що має назву «ефект запирання». Тобто оптимальна швидкість збіжності розв'язку не досягається, доки розбиття сітки не досягає певного граничного значення. Це суттєво збільшує порядок розв'язувальної системи рівнянь. У роботі не зазначено, чи виникав такий ефект у практичних розрахунках конструкцій та як здійснювався контроль точності розв'язку.

2. У п'ятому розділі з метою верифікації експериментально досліджено динамічні характеристики лопаті повітряного гвинта. Встановлено, що для частоти четвертої форми власних коливань виникає найбільша розбіжність між розрахунковим та експериментальним значенням (Таблиця 5.3), але не надано пояснення виникнення цієї розбіжності.

3. В тексті дисертації не вказано, які саме програмні засоби використовувались автором для обробки експериментальних даних.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Морозова Андрія Володимировича «Метод визначення характеристик динаміки та міцності елементів конструкцій авіаційних

газотурбінних двигунів з композиційних матеріалів» за своїм змістом відповідає галузі знань 14 – Електрична інженерія та спеціальності 142 – Енергетичне машинобудування. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв’язує важливу науково-практичну задачу, яка полягає в розробці теоретичних методів дослідження пружних та міцносних властивостей композиційних матеріалів по відомим властивостям структурних компонентів. Визначені характеристики використовуються для дослідження міцності елементів конструкцій авіаційних газотурбінних двигунів з композиційних матеріалів.

Подана дисертаційна робота відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», який затверджено Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Морозов Андрій Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 14 – Електрична інженерія за спеціальністю 142 – Енергетичне машинобудування.

Офіційний опонент:

Завідувачка відділом вібраційних і
термоміцнісних досліджень
Інституту енергетичних машин і систем
ім. А. М. Підгорного НАН України,
докторка технічних наук, професорка

Наталя СМЕТАНКІНА

11.06.2025 р.