

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U000229

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 10-01-2024

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: № 67-уч від 19.01.2024



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ху Чжен --

2. Zheng Hu

Кваліфікація: 134

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 134

Назва наукової спеціальності: Авіаційна та ракетно-космічна техніка

Галузь / галузі знань: механічна інженерія

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Авіаційна та ракетно-космічна техніка

Дата захисту: 21-12-2023

Спеціальність за освітою: інженер-дослідник

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

### III. Відомості про організацію, де відбувся захист

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ID 3236

**Повне найменування юридичної особи:** Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02066769

**Місцезнаходження:** вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

**Повне найменування юридичної особи:** Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02066769

**Місцезнаходження:** вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### V. Відомості про дисертацію

**Мова дисертації:** Англійська

**Коди тематичних рубрик:** 55, 55.47, 55.47.05, 55.09.43

**Тема дисертації:**

1. Проектування композитних балкових елементів літальних апаратів з використанням топологічної оптимізації та з урахуванням технологічних обмежень
2. Designing of aircraft composite beam elements using the method of topological optimization and technological restrictions of manufacturing

**Реферат:**

1. Безперервні волокнисті композити привертають велику увагу в академічних колах і широко використовуються в різних галузях промисловості, завдяки високим відносним характеристикам міцності та жорсткості, унікальним конструктивним та функціональним властивостям, особливо в відповідальних елементах літальних апаратів, таких як авіаційні балкові елементи. Однак, зростаючі вимоги до зменшення маси конструкції, висування інших спеціальних вимог до конструкцій аерокосмічній галузі потребують переосмислення методів проектування композитних структур. Традиційні методи проектування, які спрямовані на оптимізацію шарів композита (оптимізація кутів армуючого матеріалу, товщина та послідовності укладання шарів), не можуть в повній мірі задовольнити сучасним потребам на етапі

проектування композитної конструкції. Топологічної оптимізація – це передовий метод структурного проектування, який отримав широке визнання в науковій та інженерній сферах та додатках. Цей метод дозволяє проводити оптимізацію конструкції, зменшуючи вагу конструкції, частково змінюючи її геометрію та водночас залишаючи високими механічні характеристики конструкції. Топологічна оптимізація ізотропних матеріалів є добре дослідженою областю, яка широко використовується в промисловості. Однак, в галузі армованих волокнистих композитів цей метод вважається перспективним хоча все ще знаходиться на дослідницькій стадії. Крім того, відкритими залишаються й питання технології виробництва оптимізованих композитних конструкцій, особливо коли процеси проектування, оптимізації й виробництва йдуть пліч-о-пліч і накладаються певні технологічні обмеження. Тому метою дисертації є мінімізація маси авіаційних композитних балкових конструкцій на основі теорії шаруватих композитів та методу топологічної оптимізації з урахуванням технологічних обмежень. Об'єктом дослідження є авіаційні композитні балкові конструкції, такі як лонжерони, нервюри та ін. Предметом дослідження є проектування композитних балкових конструкцій методом топологічної оптимізації з урахуванням технологічних обмежень. Теоретична частина роботи ґрунтується на базових теоріях механіки армованих матеріалів, теорії скінченних елементів, теорії топологічної оптимізації, а також теорії вібрації. Розроблені системи кінцевих елементів і оптимізації в розділах 2 і 5 реалізовані за допомогою розробленого програмного коду в середовищі MATLAB. Алгоритм оптимізації, який використовується в цій роботі, включає алгоритми MMA, GCMMA та IDSA. У розділах 3 та 4 процес топологічної оптимізації реалізується за допомогою комерційного програмного продукту Altair-Inspire, моделювання кінцевих елементів реалізується комерційним програмним забезпеченням ANSYS. Здійсненість та ефективність запропонованої оптимізаційної системи перевіряються чисельними прикладами та моделюванням методом кінцевих елементів. Наукова новизна отриманих результатів. 1. Вперше запропоновано гібридну багаторівневу оптимізаційну схему для одночасного проектування та топологічної оптимізації орієнтації волокна композитної конструкції. Гібридний багаторівневий метод дозволяє уникнути поганої збіжності та локальних оптимумів при оптимізації шаруватих пластин. В запропонованому методі одночасно розглядається оптимізація матеріалу так і конфігурації, крім того закладається теоретична основа для оптимального проектування конструкцій з шаруватих балок постійної жорсткості. 2. Вперше для композитних балкових конструкцій синтезовано новий метод проектування, який поєднує в собі існуючі методи проектування, топологічної оптимізації та технологію виробництва. Також, було надано концептуальне рішення для системи автоматизованого намотування. Запропонований метод дає новий поштовх для інтеграції проектування й виробництва композитних балкових конструкцій. 3. Вперше досліджено топологічну оптимізацію шаруватих композитних структур при гармонічних збудженнях навантаженнях. Було запропоновано новий метод розрахунку гармонійного навантаження композитних структур, який забезпечує ефективне рішення для топологічної оптимізації композитних конструкцій під впливом гармонічного силового впливу. Результати дослідження, наведені в дисертації, покращують практичність методу топологічної оптимізації, розширює діапазон застосування, надає важливу теоретичну значущість і закладає необхідну дослідницьку базу для застосування полегшеного проектування волокнисто-армованих композитних конструкцій в інженерних конструкціях.

2. By virtue of high strength and stiffness to weight ratio, outstanding designability and functionality, the continuous fiber-reinforced composites have attracted extensive attention in academic circles and have been widely used in various industrial departments, especially in aircraft structural parts, such as aircraft composite beam elements. However, with the increasing demands of lightweight and other special performance requirements of structures in aerospace industry, the traditional design methods based on ply optimization (such as fiber angle, thickness and stacking sequence optimization) cannot fully meet the above requirements sufficiently. Topology optimization is an advanced structural design method widely recognized by academia and engineering, which can maintain mechanical performance while reducing the weight of the structure. Topology optimization using isotropic materials is a well-researched area and has been widely used in industry. However, topology optimization of fiber-reinforced composite structures is still in the exploratory stage and has become a hot spot in recent years. In addition, the issues of technology for the production of optimized composite structures remain open, especially

when the processes of design, optimization and production go side by side and certain technological limitations are imposed. Therefore, the purpose of this dissertation is to mass minimization of the aircraft composite beam structures, based on the composite laminate theory and the method of topological optimization with consideration of the technological restrictions. The object of research is the aircraft composite beam structures, such as spars, ribs, etc. The subject of research is the design of composite beam structures using the topology optimization method with consideration of technological restrictions. The theoretical part of the work is based on the mechanics of composite materials, the theory of finite element, the theory of topology optimization, and the theory of vibration. The developed finite elements and optimization frameworks in Chapters 2 and 5 are implemented using self-programmed MATLAB code. The optimization algorithm used in this work includes MMA, GCMMA, and IDSA algorithms. In Chapters 3 and 4, the topology optimization process is performed by the commercial software Altair-Inspire, the finite element simulation is implemented by the commercial software ANSYS. The feasibility and effectiveness of the proposed optimization framework are verified by numerical examples and finite element simulation. The scientific novelty of the obtained results 1. For the first time, a hybrid multilevel optimization scheme was proposed for the simultaneous optimization design of the fiber orientation and the structural topology. The hybrid multilevel method can avoid the poor convergence and local optima behaviors in the optimization of laminated plates. This proposed method considers both the material and topological configuration design, and lays a theoretical foundation for the optimal design of constant stiffness laminated beam structures. 2. For the first time, a novel design method that combines topology optimization approach and RFW technology were developed for composite beam structures. And the conceptual design of the RFW system for manufacturing the optimized structures was also presented. This proposed method provides a new idea for the integration of design and manufacture of composite beam structures. 3. For the first time, topology optimization of laminated composite structures under harmonic excitations was studied. A novel method for calculating the harmonic response of composite laminates was proposed, which provides an effective solution for the topology optimization of composite structures under harmonic force excitations. The work of this dissertation improves the practicability of the topology optimization method, expands the application range, provides important theoretical significance and lays a necessary research foundation for the application of lightweight design of fiber-reinforced composite structures in engineering structures.

**Державний реєстраційний номер ДіР:** 0118U003049

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Нові речовини і матеріали

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій високотехнологічного розвитку транспортної системи, ракетно-космічної галузі, авіа- і суднобудування, озброєння та військової техніки

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

**Публікації:**

- Wang H., Qin G., Hu Z., Lin F., Wu Z., Han X. A Structural Topology Optimal Design Approach to Machining Deformation Control for Aeronautical Monolithic Components. *Jixie Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2019, 55(21):127-138.
- Hu Z., Vambol O. Topological designing and analysis of the composite wing rib. *Aerospace Technic and Technology*, 2020 (6): 4-14.
- Sun S., Yang W., Hu Z. Multi-objective optimization of sheet metal forming based on dynamic genetic neural network and grey relativity. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2020, 26 (12): 3399-3407.
- Hu Z., Vambol O., Sun S. A hybrid multilevel method for simultaneous optimization design of topology and discrete fiber orientation. *Composite Structures*. 2021. 266: 113791.
- Hu Z. A review on the topology optimization of the fiber-reinforced composite structures. *Aerospace Technic and Technology*, 2021, 3(171): 54-72.

- Hu Z., Vambol O., Sun S., Zeng Q. Development of a topology optimization method for the design of composite lattice ring structures. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2021, 4(1(112)):6-13.
- Sun S., Chen Y., Hu Z. Optimization design of the orientation for FDM forming parts with stability constraints. Computer Integrated Manufacturing Systems. 2022, № 9-10, p. 5835-5854.
- Hu Z., Sun S., Vambol O., Tan K. Topology optimization of laminated composite structures under harmonic force excitations. Journal of Composite Materials. 2022; 56(3):409-420.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** технології; матеріали; методи, теорії, гіпотези

**Соціально-економічна спрямованість:** створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту; економія матеріалів

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:** 0118U003049

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Вамболь Олексій Олександрович
2. Oleksii -. Vambol

**Кваліфікація:** к. т. н., доц., 05.07.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-1719-8063

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02066769

**Місцезнаходження:** вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Сметанкіна Наталя Володимирівна
2. Nataliia V. Smetankina

**Кваліфікація:** д. т. н., с.н.с., 01.02.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-9528-3741

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534570

**Місцезнаходження:** вул. Пожарського, буд. 2/10, Харків, Харківський р-н., 61046, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Кулик Олексій Володимирович

2. Oleksii V. Kulyk

**Кваліфікація:** к. т. н., доц., 05.07.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-2913-4462

**Додаткова інформація:**

;https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35847695900;https://scholar.google.com/citations?hl=en  
&user=En7dvNcAAAAJ

**Повне найменування юридичної особи:** Дніпровський національний університет імені Олеся  
Гончара

**Код за ЄДРПОУ:** 02066747

**Місцезнаходження:** проспект Гагаріна, буд. 72, Дніпро, Дніпровський р-н., 49010, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Рецензенти****Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Шевцова Марина Анатоліївна

2. Marina A. Shevtsova

**Кваліфікація:** к. т. н., професор, 05.07.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-3176-5017

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний аерокосмічний університет ім. М. Є.  
Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02066769

**Місцезнаходження:** вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Тараненко Ігор Михайлович

2. Igor M. Taranenko

**Кваліфікація:** к. т. н., професор, 05.07.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-9554-0162

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02066769

**Місцезнаходження:** вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Філіпковський Сергій Володимирович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Філіпковський Сергій Володимирович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Дмитренко Євгенія Валеріївна

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна