

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут аерокосмічних технологій
Кафедра авіа- та ракетобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – **134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»**

Освітньо-професійна програма «Літаки і вертольоти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Володимир КАБАНЯЧИЙ

« ____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту
Живіцькому Максиму Віталійовичу

1. Тема дисертації «Панель крила літака із композиційних матеріалів», науковий керівник дисертації Сухов Віталій Вікторович, д.т.н., професор кафедри, затверджені наказом по університету від « 04 » грудня 2020 р. № 3455-с

2. Термін подання студентом дисертації 10 грудня 2020 р.

3. Об'єкт дослідження Панель крила із композиційних матеріалів

4. Вихідні дані Злітна маса: $m_{зд} = 45000$ кг.

Параметри крила: $L = 29$ м, $S_{кр} = 127$ м², $b_0 = 5,45$ м, $b_k = 1,65$ м.

Матеріал панелі: Композиційний матеріал.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

5.1. Аналіз стану проблеми. Композиційні матеріали. Їх переваги та недоліки.

5.2. Технологічні процеси виготовлення елементів конструкції з КМ.

5.3. Вибір КСС крила і його елементів, в тому числі геометричних параметрів. Вибір навантажень, діючих на крило.

5.4. Вибір конструктивних параметрів панелі крила.

5.5. Реалізація алгоритму.

5.6. Аналіз результатів розрахунку. Розробка конструкції панелі.

5.7. Технологія виготовлення панелі.

5.8. Розробка стартап-проєкту.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

6.1. Аналіз стану проблеми.

6.2. Розрахункова модель панелі крила.

6.3. Вибір навантажень на крило.

6.4. Аналіз результатів розрахунку.

6.5. Конструкція панелі.

6.6. Технологія виготовлення панелі.

7. Орієнтовний перелік публікацій

7.1. Доповідь на науково-технічній конференції з публікацією тез.

8. Дата видачі завдання: 01.10. 2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз стану проблеми. Композиційні матеріали. Їх переваги та недоліки.	до 29.11.2019 р.	
2.	Технологічні процеси виготовлення елементів конструкції з КМ.	до 01.02.2020 р.	
3.	Вибір КСС крила і його елементів, в тому числі геометричних параметрів. Вибір навантажень, діючих на крило.	до 20.03.2020 р.	
4.	Вибір конструктивних параметрів панелі крила.	до 01.07.2020 р.	
5.	Реалізація алгоритму розрахунку.	до 30.09.2020 р.	
6.	Аналіз результатів розрахунку. Розробка конструкції панелі.	до 31.10.2020 р.	
7.	Технологія виготовлення панелі.	до 30.11.2020 р.	
10.	Розробка стартап-проєкту.	до 07.12.2020 р.	
11.	Оформлення ПЗ та ілюстраційного матеріалу.	до 10.12.2020 р.	
12.	Перевірка на плагіат.	до 10.12.2020 р.	

Студент

Максим Живіцький

Науковий керівник

Віталій Сухов

РЕФЕРАТ

Актуальність теми.

Принципове значення заміни традиційних конструкційних матеріалів на багат шарові композиційні матеріали полягає в тому, що замість металів із однаковими у всіх напрямках властивостями, з'являється можливість використання нових матеріалів із властивостями, що відрізняються залежно від орієнтації наповнювача. Незважаючи на високі фізично-механічні показники багат шарових композиційних матеріалів, використання їх в машинобудуванні, особливо в авіабудуванні, вимагає врахування притаманних їм специфічних особливостей, як-от ймовірність присутності прихованих дефектів у вигляді порушення цілісності матеріалу по поверхням розділу окремих шарів. Достовірно оцінити несучу здатність елементів конструкцій, що мають технологічні дефекти, можна тільки розрахунково-експериментальним шляхом.

Таким чином, розробка методів оцінки міцності композиційних матеріалів, математичних моделей деформації й міжшарового руйнування, розвиток методів експериментального дослідження деформаційних і міцнісних властивостей конструкційних композиційних матеріалів, оцінка небезпеки технологічних і експлуатаційних дефектів, що виникають в елементах конструкцій, можливість їх локального зміцнення можна вважати надзвичайно важливими і актуальними завданнями.

В роботі проведено розрахунок панелі крила з композиційних матеріалів із різними властивостями та обрано оптимальний варіант.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота пов'язана з науковими програмами, планами та темами, що розробляються на кафедрі.

Мета та завдання дослідження.

Метою роботи є розрахунок панелі крила з композиційних матеріалів із різними властивостями й вибір оптимального варіанту.

Для реалізації поставленої мети, необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести порівняльний аналіз механічних властивостей різних полімерних композиційних матеріалів, що забезпечують можливість створення конструкції із заданими вимогами.
2. Розробити геометричні та математичні моделі для розрахунку панелі крила з композиційних матеріалів, оцінки міцності та жорсткості конструкції з полімерних композиційних матеріалів.
3. Виконати розрахунок панелі крила з композиційних матеріалів із різними властивостями та вибрати оптимальний варіант.

Композиційні матеріали є об'єктом дослідження, а предметом даної роботи є панель крила з композиційних матеріалів.

Особистий внесок здобувача: дослідження властивостей композиційних матеріалів; вибір оптимального матеріалу для виготовлення панелі крила.

Структура і обсяг роботи.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаної літератури. Загальний обсяг дисертації становить 98 сторінок. Робота включає 33 рисунка, 28 таблиць, список використаної літератури з 20 найменувань.

Апробація результатів магістерської дисертації проводилась у наукових конференціях. Перелік представлено нижче.

Живіцький М.В. Basic construction materials applicable in modern aircraft industry // Науково-технічна конференція студентів, аспірантів, докторантів та молодих учених «Інноваційні технології – 2020» (25 – 26 листопада 2020 р.), НАУ, Інститут новітніх технологій та лідерства. – С. 148 – 152.

Живіцький М.В., Сухов В.В. Використання вакуумної дифузії для отримання виробів із композиційних матеріалів // II Міжнародна науково-практична конференція студентів та молодих вчених «Авіа-ракетобудування : перспективи та напрямки розвитку» (2 грудня 2020 р.), Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ІАТ. – С. 26 – 28.

Ключові слова: композиційний матеріал, панель крила, міцність, жорсткість.

ABSTRACT

Actuality of the theme.

The fundamental importance of replacing traditional structural materials with multilayer composite materials lies in the fact that instead of metals with the same properties in all directions it is possible to use new materials with properties that differ depending on the orientation of the filler. Despite the high physical and mechanical properties of multilayer composite materials, their use in mechanical engineering, especially in aircraft construction, requires consideration of their inherent specific features, such as the probability of the presence of hidden defects in the form of violation of the integrity of the material on the interfaces of the individual layers. The bearing capacity of structural elements with technological defects can be reliably estimated only by calculation and experiment.

Thus, the development of methods for assessing the strength of composite materials, mathematical models of deformation and interlayer fracture, development of methods for experimental study of deformation and strength properties of structural composite materials, risk assessment of technological and operational defects arising in structural elements, the possibility of their local strengthening can be considered extremely important and current tasks.

The calculation of the wing panel made of composite materials with different properties was made in the paper. The best option was selected.

The connection of the paper with research programs, plans and themes.

The paper is related to research programs, plans and themes that are being developed at the department.

The purpose and the objectives of the study.

The purpose of the study is the calculation the wing panel made of composite materials with different properties and the selection of the best option.

To achieve this goal, it is necessary to solve the following objectives:

1. To carry out the comparative analysis of mechanical properties of various polymeric composite materials which provide a possibility of creation of a design with given requirements.

2. To develop geometric and mathematical models for calculation of the wing panel made of composite materials, an estimation of durability and rigidity of a design made of polymeric composite materials.

3. To make a calculation of the wing panel made of composite materials with different properties and to select the best option.

The composite materials are the object of the research, and the subject of this work is a wing panel made of composite materials.

The applicant's personal contribution: the research of properties of composite materials; selection of the optimal material for the manufacture of the wing panel.

The structure and the volume of the paper.

The paper consists of an introduction, four chapters, conclusions and a list of references. The total volume of the dissertation is 98 pages. The work includes 33 figures, 28 tables, a list of references from 20 items.

The approbation of the results of the master's dissertation was carried out in the scientific conferences. The list is presented below.

Zhyvitskyi M.V. Basic construction materials applicable in modern aircraft industry // The scientific and technical conference of students, graduate students, doctoral students and young scientists «Innovative technologies – 2020» (November 25 – 26, 2020), NAU, Institute of New Technologies and Leadership. – P. 148 – 152.

Zhyvitsky M.V., Sukhov V.V. The use of vacuum diffusion to obtain products from composite materials // Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists «Avia- and rocket production: trends and directions» (December 2, 2020), National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», IAT . – P. 26 – 28.

Keywords: composite material, a wing panel, strength, rigidity.

ЗМІСТ

СПИСОК ТЕРМІНІВ І СКОРОЧЕНЬ	10
ВСТУП	11
1. Аналіз стану проблеми	13
1.1. Історія розвитку композиційних матеріалів.....	13
1.2. Сучасне застосування композиційних матеріалів у світовому літакобудуванні.....	14
1.3. Класифікація композиційних матеріалів.....	19
1.3.1. Класифікація КМ за матеріалом матриці.....	19
1.3.2. Класифікація КМ за геометрією армуючих елементів.....	20
1.3.3. Класифікація КМ за структурою і розташуванням компонентів.....	21
1.3.4. Класифікація матричних КМ за схемою армування, конструкційний принцип.....	21
1.3.5. Класифікація КМ за методами отримання (технологічний принцип).....	22
1.3.6. Класифікація КМ за призначенням та за типом матриці.....	23
1.4. Переваги та недоліки КМ.....	36
1.4.1. Переваги.....	36
1.4.2. Недоліки.....	36
Висновки до розділу.....	38
2. Розробка алгоритму вибору конструктивних параметрів панелі крила	39
2.1. Алгоритм виконання	42
2.2. Вибір навантажень на крило	42
2.3. Вказівки до виконання розрахунку.....	42

					АЛмп9103.10.23.03.00 ПЗ		
Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата			
Розроб.		Живіцький			Панель крила літака із композиційних матеріалів		
Перевір.		Сухов В.В.					
Т. Контр.							
Н. Контр.		Поваров С.А.					
Затв.		Кабанячий					
					Лім.	Аркуш	Аркушів
						8	98
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АРБ гр. АЛ-91мп		

2.3.1. Особливості проектування панелей з композиційних матеріалів.....	43
2.3.2. Визначення необхідної кількості шарів ПКМ.....	43
2.3.3. Формування пакета.....	45
2.3.4. Визначення механічних характеристик пакета.....	49
2.3.5. Визначення діючих напружень в пакеті.....	50
2.3.6. Вибір висоти стільникового заповнювача.....	51
2.4. Результати розрахунку.....	53
2.5. Перевірочний розрахунок.....	54
2.6. Розробка конструкції панелі.....	56
Висновки до розділу.....	56
3. Технологічні процеси виготовлення елементів конструкції з КМ та їх збірка.....	57
3.1. Загальна характеристика методів виробництва композиційних матеріалів.....	57
3.2. Технологічне оснащення для виготовлення виробів із композиційних матеріалів.....	60
3.3. Технології виготовлення КМ. Просочення армуючих елементів.....	71
3.4. Виготовлення панелі крила методом вакуумної інфузії.....	78
Висновки до розділу.....	82
4. Розробка стартап-проекту.....	83
4.1. Опис ідеї проекту.....	83
4.2. Технологічний аудит проекту.....	84
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	84
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	90
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	92
Висновки до розділу.....	94
ВИСНОВКИ.....	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	97

ВИСНОВКИ

Серед нових матеріалів, що використовуються в сучасній авіації, особливе значення мають композиційні матеріали, які являють собою штучно створений неоднорідний суцільний матеріал, що складається з двох або більше компонентів, окремих волокон або інших складових та матриці, що їх сполучає, з чіткою межею розділу між ними. За своїми характеристиками КМ відрізняються від властивостей його складових. Компоненти КМ не розчиняються чи поглинають одне одного, вони добре сумісні між собою.

Композиційні матеріали характеризуються низкою різноманітних властивостей, раціональне поєднання яких дозволяє виготовляти оптимальні авіаційні конструкції. Унікальні властивості КМ збільшують міцність деталей, знижують їх вагу й схильність до корозії, а також дозволяють скоротити кількість деталей.

З описаних методів обрано метод вакуумної інфузії. Вакуумна інфузія на сьогодні є найбільш перспективною технологією отримання композиційних матеріалів. Використання вакуумної інфузії як процесу для отримання виробів з КМ обумовлене низкою причин:

- Отримання КМ з високим вмістом армуючого матеріалу;
- Низька пористість;
- Відсутність матеріалів з малим терміном життя (препрегів), час підготовки і складання вакуумного мішка необмежений;
- Відсутність необхідності в дорогих автоклавах або пресах і інжекційних системах;

Можливість виготовлення великих деталей цілком без поділу на складові частини.

Сучасні композиційні матеріали характеризуються не тільки широким спектром механічних, фізичних і хімічних властивостей, а й здатністю до спрямованої їх зміни відповідно до призначення конструкції. Анізотропний характер властивостей КМ означає, що вони можуть мати як високі механічні

характеристики, так і низькі. Тому, ефективна реалізація переваг цих матеріалів у конструкціях вимагає вирішення комплексу завдань, пов'язаних із вибором взаємно узгоджених вихідних компонентів, із визначенням раціональної структури матеріалу, що відповідає полю зовнішніх навантажень та інших впливів, з урахуванням його особливостей і технологічних обмежень.

Проведено розрахунок пакета з композиційних матеріалів з різними характеристиками. Найбільш вдалим виявився пакет з КМ марки КМУ-3Е. Схема укладання пакету: $0^\circ, +45^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 90^\circ, 0^\circ, -45^\circ, +45^\circ \mid -45^\circ, -45^\circ, 0^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 90^\circ, +45^\circ, 0^\circ$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник по композиционным материалам: в 2-х книгах / под редакцией Дж. Любин / – М.: Машиностроение, 1988. – 448 с.
2. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 264 с.
3. Свирская С.Н. Строение и классификация полимеров: метод. Пособие // С.Н. Свирская, И.Л. Трубников. – Ростов: Издво. Южного федерального университета, 2007. – 22 с.
4. Каргин В.А. Энциклопедия полимеров. Том 1. (А-К). – М. : Советская энциклопедия, 1972. – 609 с.
5. Бондалетова Л. И., Бондалетов В. Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1) // Томский политехнический университет, 2013. – с. 14 – 19.
6. Шевченко В.Г. Основы физики полимерных композиционных материалов: учеб. пособие // В.Г. Шевченко. – М. : Изд-во Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, 2010. – 98 с.
7. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учебное пособие вузов // М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин; под ред. А.А. Берлина. – Спб. : Профессия, 2008. – 560 с.
8. Тялина Л.Н., Минаев А.М., Пручкин В.А. Новые композиционные материалы // ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 80 с.
9. Рогов В.А., Шкарупа М.И., Велис А.К. Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования, 2011 . – №2. – с. 44 – 46.
10. Алексеев А.Г., Корнев А.Е. Магнитные эластомеры. М.: Химия, 1987. – 240 с.
11. Антонов А.З., Панина Л.В., Сарычев А.К. Высокочастотная магнитная проницаемость композитных материалов, содержащих карбонильное железо // ЖТФ, 1989. – т. 59. – №6. – с. 88 – 94.

12. V. Soloshenko. Conceptual design of civil airplane composite wingbox structures / V. Soloshenko // Materials of the 29-th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (St. Petersburg, Russia, September 7-12, 2014). – P. 1 – 10.
13. Graeme J. Kennedy, Joaquim R. R. A. Martinsy. A Comparison of Metallic and Composite Aircraft Wings Using Aerostructural Design Optimization // American Institute of Aeronautics and Astronautics. – Published Online: 11 Sep. 2012. – P. 1 – 31.
14. Zhao Qun, Ding Yunliang, Jin Haibo. A Layout Optimization Method of Composite Wing Structures Based on Carrying Efficiency Criterion // Chinese Journal of Aeronautics. – №24, 2011. – P. 425 – 433.
15. Архипов О.Г. Лекція 10. Загальна характеристика методів виробництва композитів.
16. Архипов О.Г. Лекція 11. Технології виготовлення КМ. Пропитка армувальних елементів.
17. Атапин В.Г., Пель А.Н., Темников А.И. Сопротивление материалов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006.- 556 с. («Учебники НГТУ»).
18. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. – Москва: Изд-во НОТ, 2008. – 822 с.
19. Попов Ю.И., Резниченко В.И. Проектирование и изготовление узлов и деталей планера самолета из композитных материалов: Учебное пособие по курсовому проектированию. – М.: МАИ, 1994 г. – 68 с.
20. Трунин Ю.П., Ушаков А.Е. Некоторые вопросы оценки и обеспечения эксплуатационной живучести конструкций планера самолета, выполненных из композиционных материалов. – В кн.: Проектирование, расчет и испытания конструкций из композиционных материалов: Руководящие технические материалы. – М.: Изд. ЦАГИ, 1984, вып. X.[5, С.387].