

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут аерокосмічних технологій

Кафедра авіа-та ракетобудування

«На правах рукопису»  
УДК 629.7.067

«До захисту допущено»

В.о. завідувача  
кафедри \_\_\_\_\_ В. В. Кабанячий  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеню магістра**

зі спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка  
(код і назва спеціальності)

на тему: Програмний комплекс визначення ресурсу літальних апаратів

Виконав: студент VI курсу, групи АЛ-з91мп

\_\_\_\_\_ Овсянніков Ілля Валерійович \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_ к.т.м. Бондаренко О.М. \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_

(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

к.т.н. Камелін А.Б. \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень із праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**

Інститут аерокосмічних технологій  
(повна назва)

Кафедра авіа-та ракетобудування  
(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка  
(код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В. о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ В. В. Кабанячий  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Овсяннікову Іллі Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема дисертації:** Програмний комплекс визначення ресурсу літальних апаратів

**науковий керівник** \_\_\_\_\_ Бондаренко О.М. к.т.м.

**дисертації** (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «02» грудня 2020 р. №3436-с

**2. Термін подання студентом дисертації:** « 10 » грудня 2020 року

**3. Об'єкт дослідження:** Ресурс літального апарату

**4. Предмет дослідження:** Програмний комплекс для визначення ресурсу

**5. Перелік питань, які потрібно розробити:**

5.1. Аналіз літератури із методів розрахунку ресурсу авіаційних конструкцій.

5.2. Пошук і формування інтерфейсу та вводу вхідних даних.

5.3. Розрахунок елемента конструкції літального апарату в Fimap і аналізу медом кінцевих елементів структури вихідного файлу з даними.

5.4. Заповнення інтерфейсу формулами та номограмами для розрахунку ресурсу конструкції літального апарату.

5.5.. Розроблення конструкції літака для формування вхідних і вихідних даних програмного комплексу розрахунку ресурсу.

5.6. Формування блоку для завантаження до інтерфейсу результатів кінцевого елемента ресурсу.

5.7. Розробка стартап-проекту.

## 6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:

6.1. Аналітичний огляд методів розрахунку ресурсу авіаційних конструкцій.

6.2. Конструкції літального апарату.

6.3. Модель елемента силової конструкції літака для розрахунку ресурсу

6.4. Математична модель розрахунку ресурсу

6.4. Програмний інтерфейс.

6.5. Стартап-проект.

## 7. Орієнтовний перелік публікацій:

7.1. Стаття у фаховому виданні.

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

8. Дата видачі завдання: \_\_\_\_\_ р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз літератури із методів розрахунку ресурсу авіаційних конструкцій	01.09.2020	
2.	Вибір інтерфейсу для вводу вхідних даних.	20.09.2020	
3.	Розрахунок елемента конструкції літального апарату в Fimap і аналізу медом кінцевих елементів структури вихідного файлу з даними.	10.10.2020	
4.	Розроблення метода розрахунку ресурсу авіаційних конструкцій.	20.10.2020	
5.	Заповнення інтерфейсу формулами та номограмами для розрахунку ресурсу конструкції літального апарату	02.11.2020	
6.	Формування блоку для завантаження до інтерфейсу результатів кінцевого елемента ресурсу.	15.11.2020	
7.	Розробка стартап-проекту.	20.11.2020	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу.	10.12.2020	
9.	Перевірка на плагіат	10.12.2020	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

І.В.Овсянніков

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

М.О.Бондаренко

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

## Анотація

Метою роботи являється розробка програмного комплексу визначення ресурсу літального апарату.

У магістерській роботі розглянуто питання розрахунку ресурсу літальних апаратів та інтерфейсів для реалізації програмного комплексу його визначення за допомогою розрахунку конструкції літака методом кінцевих елементів використовуючи програмне забезпечення MSC/NASTRAN.

Дисертаційна робота складається з п'яти розділів: в першому розділі розглянуто основні методи проектування інтерфейсу та методи розрахунку надійності. Обрано в якості базової мову дсикрипторів С# та обрано статистичний метод оцінки ресурсу на основі експериментальних даних по стандартним зразкам. В другому розділі визначено замкнену та просту систему формул для розрахунків ресурсу на основі введення конструктивних коефіцієнтів, які також визначаються на основі статистичних даних та критерію подібності надійності. У третьому розділі описано проектування інтерфейсу. У четвертому розділі здійснено перевірку роботи інтерфейсу із використанням САД-систем для одержання вхідних даних для проектування і підтверджено точність запрограмованого методу розрахунку надійності. У п'ятому розділі представлений стартап проекту створення програмного інтерфейсу розрахунку надійності. В результаті аналізу ринку визначено переваги використання розробленого програмного забезпечення.

Магістерська робота складається з 78 сторінок, рисунків, бібліографічних джерел, додатка.

Ключові слова: ресурс літального апарату , програмний комплекс для визначення ресурсу.

## Зміст

Вступ.....	7
1. Аналіз літератури із методів розрахунку ресурсу авіаційних конструкцій.....	9
Висновки по першому розділу.....	20
2. Метод розрахунку довговічності (ресурсу) при багатоциклічній втомі ЛА.....	21
Висновки по другому розділі.....	38
3. Розрахункова модель елемента силової конструкції літака для розрахунку ресурсу.....	39
Висновок по розділу .....	57
4. Розробка програмного інтерфейсу для визначення ресурсу ЛА.....	58
Висновок по розділу .....	63
5. Розроблення стартап-проекту .....	64
5.1 Опис ідеї проекту .....	64
5.2. Аналіз потенційних техніко-економічних переваг.....	65
5.3. Технологічний аудит ідеї проекту.....	66
5.4. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	67
5.5. Визначення потенційних груп клієнтів .....	68
5.6. Аналіз ринкового середовища .....	68
5.7. Аналіз пропозиції.....	70
5.8. Перелік факторів конкурентоспроможності .....	72
5.9. Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту .....	73
5.10. SWOT-аналіз.....	74
5.11. Опис цільових груп потенційних клієнтів.....	74
5.12. Вибір стратегії конкурентної поведінки.....	75
5.13. Формування маркетингової концепції.....	77
Висновки до п'ятого розділу.....	78

					АЛЗ91МП06 10.01.01.00 ПЗ					
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Програмний комплекс визначення ресурсу літальних апаратів			Літ.	Аркуш	Аркуші
Розроб.		Овсянніков І.В.								
Перевір.		Бондаренко О.М.								
Т. контр.										
Н. контр.		Поваров С.А.						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АРБ гр. АЛЗ-91мп		
Затв.		Кабанячий В.В.								

Висновок .....	79
Список використаних джерел .....	80
Додаток А Тексти програмного коду .....	82

## **Висновок**

Темою дипломної роботи є «Програмний комплекс визначення ресурсу літальних апаратів».

У магістерській роботі розглянуті питання оцінки ресурсу літального апарату та створення програмного комплексу для його визначення .

У процесі виконання роботи було проведено вивчення двох методів визначення ресурсу. Було переглянуто та проаналізовано існуючі підходи, такі як моделювання розвитку дефектів (пори, тріщини і т.д) з урахуванням зміни граничних умов в даному елементі конструкції і перестроювання сітки при зміні розмірів дефекту та оцінка ступеня пошкодження без врахування дефектів і їх зростання.

На основі проведеної роботи було висунуто методика оцінки ресурсу конструкції, що дає змогу в подальшому створити програмний комплекс на її основі.

Роботу програмного комплексу було перевірено на прикладі літака АН-24. Для цього розроблено контурну модель крила літака, розраховано її на міцність методом кінцевих елементів, знайдено критичні місця та визначені критичні напруження (рис.1.), які занесено до інтерфейсу. Розрахунковим шляхом змодельовано цикл Земля-повітря-земля (ЗПЗ) по яким розраховано часове пошкодження та складено криві інтегральної повторюваності. Одержане значення ресурсу було порівняно із даними регламенту технічного обслуговування літака. Виявлено деяке перевищення обчисленого ресурсу над зазначеним в регламенті, яке в подальшому планується усунути по мірі накопичення розрахункового та фактичного матеріалу і калібрування коефіцієнтів математичної моделі, закладеної в інтерфейсі.

### **Список використаних джерел**

- 1.Болотин, В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
- 2.Проников А.С. Параметрическая надежность машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э Баумана, 2002. – 560 с.
- 3.Морозов Е.М., Г.П. Никиш ко в. Метод конечных элементов в механике разрушения в. – М.: Наука, 1980. – 256 с.
- 4.Карзов Г.П., Марголин Б.З., Швецова В. А. Физико-механическое моделирование процессов разрушения – СПб.: Политехника, 1993. – 391с.
- 5.Newman J.C. Jr. FASTRAN-II – A fatigue crack growth structural analysis program// NASA TM 104159, February 1992. – 21 p.
- 6.Newman J.C. Jr. Finite-element analysis of crack growth under monotonic and cyclicloading// Cyclic stress-strain and plastic deformation aspects of fatigue crack growth, ASTMSTP 63 American Society for Testing and Materials. – 1977. – p. 56 – 80.
- 7.Gullerud A.S., Dodds R.H. Jr., Hampton R.W., Dawicke D.S. 3-D finite element modeling of ductile crack growth in thin aluminum materials// Fatigue and Fracture Mechanics: 30th Volume/ eds. K.L. Jerina, P.C. Paris, American Society for Testing and Materials. – 1998. – p.104 – 111
- 8.Казаков Д.А., Капустин С.А., Коротких Ю.Г. Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов и конструкций. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 1999. – 226 с.
- 9.ANSYS theoretical manual.
- 10.ABAQUS User's Manuals. Version 5.5//Hibbit, Karlsson and Sorensen, Inc., 1995
- 11.MSC/NASTRAN User's Manuals. Version 70.5//MacNeal-Schwendler Corp., 1999
- 12.Hanq D.A., Walters A.J., Beuth J.L. Development of an object-oriented fatigue tool//Engineering with computers. – V. 16, 2000. – p. 131 – 144/



13. Болотин В. В., Чернов В. К. Расчеты на надежность и долговечность машин, содержащих большое число ОДНОТИПНЫХ элементов. - В КН.: Расчеты на прочность. М.: Машиностроение, 1970, вып. 21, с. 78-96.
14. Гучинський Р.В. Прогнозування розвитку тріщин втомі на основі чисельного методу накопичення пошкодження. Санкт-Петербург – 2016 р.
15. Вікіпедія: адреса [https://uk.wikipedia.org/wiki/Границя\\_витривалості](https://uk.wikipedia.org/wiki/Границя_витривалості)
17. Форрест, П. Усталость металлов. – М.: Машиностроение, 1968. – 352 с.
18. Трощенко, В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. – Киев: Наукова думка, 1981. – 344 с
19. Basquin O.H. The exponential law of endurance test//Proc. Am. Soc. For testing Materials. – 1910, V. 10
20. Расчеты на прочность деталей машин: Справочник/Биргер И.А., Шор Б.Ф., Иосилевич Г.Б.. – М. Машиностроение, 1993. – 640 с
21. Когаев, В.П. Расчеты на прочность при напряжениях переменных во времени. – М.: Машиностроение, 1993. – 364 с.
23. Failure of Materials Under Combined Repeated Stresses with Superimposed Stresses:  
Tech. Note / NASA; G. Sines – 3495. – Langley, 1955. – 23 p
24. Беляев Н.М. В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 608 с.
25. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. – М.: Высш. шк., 1995. – 560с.
26. Агамиров Л.В., Райхер В.Л. “Вероятностные методы расчета показателей надежности авиационных конструкций при переменных нагрузках” – Москва 2018 – 203 ст.