

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

Інститут аерокосмічних технологій

Кафедра авіа- та ракетобудування

«На правах рукопису»

УДК 629.735.33

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Володимир КАБАНЯЧИЙ

« ___ » _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Літаки та вертольоти»

зі спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

**на тему: «Дослідження балансувальних втрат літального
апарата схеми «тандем»»**

Виконав:

студент VI курсу, групи АЛ-91мп

Білоус Ілля Ігорович _____

Керівник:

Професор, д.т.н., в.о. завідувача кафедри

Кабанячий Володимир Володимирович _____

Рецензент:

Професор, д.ф.-м.н., професор кафедри СКЛА,

Чепілко М.М. _____

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

Студент _____

Київ – 2020 року

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
Білоусу Іллі Ігорович

1. Тема дисертації «Дослідження балансувальних втрат літального апарата схеми «тандем»», науковий керівник дисертації Кабанячий Володимир Володимирович, д.т.н., професор, затверджені наказом по університету від «04» грудня 2020 р. № 3455-с

2. Термін подання студентом дисертації 10 грудня 2020 р.

3. Об'єкт дослідження Процес обтікання повітрям літального апарата схеми «тандем»

4. Вихідні дані Швидкість потоку - 30 м/с;
Відхилення руля висоти - $\delta_B = -20^\circ \dots +20^\circ$;
Кути атаки - $\alpha = -12,8^\circ \dots 20,2^\circ$ з кроком у 1° .

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

5.1. Огляд та аналіз ЛА схеми «тандем».

5.2. Огляд та вибір методів визначення балансувальних втрат.

5.3. Розрахунок аеродинамічних характеристик ЛА методами обчислювальної аеродинаміки.

5.4. Порівняння результатів та оцінка ефективності рулів висоти.

5.5. Виведення рекомендацій щодо оцінки балансування ЛА схеми «тандем».

5.6. Розробка стартап-проекту.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

6.1. Огляд аналогів

6.2. Загальний вигляд літака «А-8»

6.3. Результати випробування в аеродинамічній трубі

6.4. Розрахунок аеродинамічних характеристик ЛА методами обчислювальної аеродинаміки

6.5. Порівняння результатів розрахунку з експериментом в аеродинамічній трубі

6.6. Оцінка ефективності рулів висоти

7. Орієнтовний перелік публікацій

7.1. Стаття у фаховому виданні.

7.2. 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.	Огляд аналогів та їх аналіз за розташуванням органів керування.	до 15.09.2020 р.	
2.	Огляд та вибір методів визначення балансувальних втрат.	до 31.10.2020 р.	
3.	Розрахунок аеродинамічних характеристик ЛА методами чисельної аеродинаміки.	до 15.10.2020 р.	
4.	Порівняння результатів розрахунку з експериментом в аеродинамічній трубі.	до 30.10.2020 р.	
5.	Оцінка ефективності рулів висоти.	до 10.11.2020 р.	
6.	Виведення рекомендацій щодо оцінки балансування ЛА схеми «тандем» числовим методом.	до 20.11.2020 р.	
7.	Підготовка статті до публікації.	до 30.11.2020 р.	
8.	Розробка стартап-проекту.	до 07.12.2020 р.	
9.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу.	до 10.12.2020 р.	
10.	Перевірка на плагіат.	до 10.12.2020 р.	

Студент

Ілля БІЛОУС

Науковий керівник

Володимир КАБАНЯЧИЙ

Анотація

Пояснювальна записка до магістерської дисертації «Дослідження балансувальних втрат літального апарата схеми «тандем»» містить 83 сторінки тексту, 51 ілюстрацію та 14 бібліографічних посилань.

Метою роботи є дослідження балансувальних втрат літального апарата схеми «тандем» на основі оцінки ефективності його органів керування.

Проведено огляд аналогів літальних апаратів аеродинамічної схеми «тандем» та визначено її переваги і недоліки.

Виконано розрахунок аеродинамічних характеристик літального апарата «А-8» схеми «тандем» при певних відхилення руля висоти, який розташовано на передньому крилі, за допомогою програмного забезпечення XFRLR5. Порівняно результати розрахунку із результатами експерименту в аеродинамічній трубі.

Проаналізовано величину ступеня поздовжньої стійкості літака та вплив відхилення руля висоти вниз і вгору на коефіцієнт підйімальної сили та коефіцієнт моменту тангажа при кутах атаки в експлуатаційному діапазоні (2° та 6°). Кількісно визначено вплив інтерференції крил на ефективність рулів висоти. Розраховано балансувальні втрати для горизонтального польоту при максимальній аеродинамічній якості.

Надано рекомендації щодо доцільності використання загалом програмного забезпечення XFRLR5 та зокрема конкретних математичних моделей при оцінці ефективності рулів висоти, розташованих на передньому крилі літального апарата схеми «тандем».

Ключові слова: балансувальні втрати, ефективність рулів висоти; літальний апарат схеми «тандем», XFRLR5.

Abstract

The explanatory note to the master's dissertation «Research of tandem-scheme aircraft balancing losses» contains 83 pages of text, 51 illustrations and 14 bibliographic references.

The aim of the work is to study the balancing losses of the aircraft of the tandem scheme based on the assessment of the effectiveness of its controls.

A review of analogs of aircraft of the aerodynamic scheme "tandem" and identified its advantages and disadvantages.

The calculations of aerodynamic characteristics for a tandem-scheme aircraft "A-8" with a selected forward wing elevator angle using XFLR5 software. The results are compared with wind-tunnel data.

The analysis included longitudinal stability evaluation and an investigation of the impact of elevator position (in the range from 2° to 6°) on lift and pitching moment. On top of that, the impact of wing-wing interference on the elevator effectiveness is taken into account as well: the effect on lift coefficient is slimer, while the effect on pitching moment is larger compared to a typical, isolated, wing.

Additionally the paper focuses on recommendations on whether XFLR5 software is practically suitable for solving the problem and, especially, on specific theoretical models when evaluating the forward wing elevator effectiveness for tandem-scheme aircraft.

Key words: balancing losses, efficiency of rudders; tandem-scheme aircraft, XFLR5.

ЗМІСТ

Списки термінів та умовних скорочень	7
Вступ. Актуальність теми та її практичне значення	8
1.Огляд та аналіз ЛА схеми «тандем»	10
1.1. Аеродинамічна схема «тандем»	10
1.2. III-Тандем	11
1.3. Mignet Pou-du-ciel	13
1.4. Quickie Rutan	15
1.5. Scaled Composites Proteus.....	18
1.6. Sunny Boxwing	21
1.7. Soar Dragon	23
1.8. Пілум.....	24
1.9. А-8	26
Висновки по розділу	29
2.Огляд та вибір методів визначення балансувальних втрат.....	30
2.1. Експериментальний метод.....	30
2.2. Чисельні методи.....	35
2.3. Аналітичний розрахунок	40
Висновки по розділу	44

					АЛ91мп01.14.00.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Білоус І.І.			Дослідження балансувальних втрат літального апарата схеми «тандем»	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кабанячий В.В.					5	83
Н. Контр.		Поваров С.А.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АРБ		
Затверд.		Кабанячий В.В.				АЛ-91мп		

3.Розрахунок аеродинамічних характеристик ЛА методами обчислювальної аеродинаміки	45
Висновки по розділу	59
4.Порівняння результатів та рекомендації щодо балансування літального апарата схеми «тандем».....	60
4.1. Порівняння результатів та оцінка ефективності рулів висоти.	60
4.2. Виведення рекомендацій щодо оцінки балансування ЛА схеми «тандем» числовим методом.....	68
Висновки по розділу	69
5.Розробка стартап-проекту	70
5.1. Опис ідеї проекту.....	70
5.2. Технологічний аудит проекту	71
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	72
5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	77
5.5. Розробка маркетингової програми стартап-проекту	78
Висновки по розділу	79
ВИСНОВКИ	80
Список використаних джерел.....	82

ВИСНОВКИ

В першому розділі проведено огляд літальних апаратів на базі нетрадиційної аеродинамічної схеми «тандем» протягом всього часу активного розвитку авіаційної техніки. Визначено засади для використання такого типу компонування, його переваги та недоліки у порівнянні з іншими схемами. З'ясовано, що у літальних апаратів тандемної схеми наявна перевага у діапазоні центрування та повздовжньої стійкості. Проте вони мають посередню шляхову стійкість і значний рознос маси по повздовжній осі.

В другому розділі проведено огляд методів знаходження аеродинамічних коефіцієнтів літального апарату схеми «тандем» для визначення ефективності його органів керування та балансувальних втрат. Найбільш точним та ефективним методом є проведення експериментів в аеродинамічній трубі. Проте такий спосіб вимагає значного запасу грошових ресурсів та часу на його виконання та обробку результатів. Аналогом є обчислювальна аеродинаміка – спеціальні пакети програмного забезпечення, які дозволяють моделювати процеси обтікання за допомогою комп'ютерної техніки.

В третьому розділі виконано розрахунок аеродинамічних коефіцієнтів при різному відхиленні рулів висоти літального апарату «А-8» схеми «тандем» для системи двох крил за допомогою метода вихрової решітки з підковоподібними (VLM1) та кільцевими вихорами (VLM2) та його ізольованого крила. Результат розрахунку представлений графіками залежності основних аеродинамічних коефіцієнтів: $c_y(\alpha)$, $c_y(c_x)$, $m_z(\alpha)$, $K(\alpha)$.

В четвертому розділі проведено порівняння результатів розрахунку аеродинамічних коефіцієнтів літака «А-8», які отримано за допомогою програми XFLR5, із результатами експерименту в аеродинамічній трубі. Було кількісно встановлено вплив інтерференції крил (скіс потоку на задньому крилі) на ефективність РВ: Δc_y менше на 17%, а Δm_z більше на 26%, чим для ізольованого крила. Для оцінки ефективності рулів висоти відносно коефіцієнту підйимальної сили та моменту тангажа при малих кутах відхилення руля вниз (до 10°) можна рекомендувати математичну модель

кільцевих вихорів (VLM2 або Ring Vortex), але в жодному разі не підковоподібних вихорів (VLM1 або Horseshoe Vortex).

В п'ятому розділі розроблено стартап проект щодо проектування та виробництва безпілотних літальних апаратів схеми «тандем». Визначено основних конкурентів ринку та потенційних клієнтів. Описано слабкі та сильні сторони ідеї та розроблено стратегічний план реалізації.

Подальший напрямок досліджень полягає у визначенні ефективності рулів висоти за допомогою аналітичного методу та високорівневого числового методу (*Ansys*) і порівняння отриманих даних з експериментальними.

Список використаних джерел

1. Тандем (аэродинамическая схема) [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Тандем_\(аэродинамическая_схема\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Тандем_(аэродинамическая_схема))
2. Предаченко К.О., Хоминич О.А. Перспективные направления исследований по изучению весовых, жесткостных, аэродинамических и летно-технических характеристик летательных аппаратов замкнутой аэродинамической схемы [Текст] / К.О. Предаченко, О.А. Хоминич – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2016.
3. Ш-Тандем [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<https://ru.wikipedia.org/wiki/Ш-Тандем>
4. НМ-14 Pou du ciel [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.airwar.ru/enc/law1/hm14.html>
5. Rutan Quickie [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.airwar.ru/enc/la/quickie.html>
6. Scaled Composites Proteus [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
https://ru.wikipedia.org/wiki/Scaled_Composites_Proteus
7. Пілум [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<https://adrones.com.ua/drones/pilum/>
8. Летательные аппараты [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://aeroclub.com.ua/?module=articles&c=La&b=3&a=2>
9. Прицкер Д.М. Аэродинамика [Текст] / Д.М. Прицкер, Г.И. Сахаров. – М. : Машиностроение, 1968. – 306 с.
10. Vortex lattice method [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
[https://en.wikipedia.org/wiki/Vortex_lattice_method#:~:text=The%20Vortex%20lattice%20method%2C%20\(VLM,aerodynamic%20education%20at%20university%20level.](https://en.wikipedia.org/wiki/Vortex_lattice_method#:~:text=The%20Vortex%20lattice%20method%2C%20(VLM,aerodynamic%20education%20at%20university%20level.)
11. Кривохатько І.С., Сухов В.В. Аналітичне та експериментальне визначення аеродинамічних характеристик літального апарата схеми

«тандем» [Текст] / І.С. Кривохатко, В.В. Сухов – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2014.

12. Xflr5. Analysis of foils and wings operating at low Reynolds numbers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://engineering.purdue.edu/~aerodyn/AAE333/FALL10/HOMEWORKS/HW13/XFLR5_v6.01_Beta_Win32%282%29/Release/Guidelines.pdf
13. Экспериментальные исследования аэродинамических характеристик натурального сверхлегкого летательного аппарата А-8 в аэродинамической трубе Т-101 ЦАГИ [Текст] / Научно-технический отчет. Инв. № 5152. – ЦАГИ, 1987.
14. Kryvokhatko, I. S. Tandem-scheme Aircraft Controllability [Text] / I. S. Kryvokhatko // Actual Problems of Unmanned Air Vehicles Developments Proceedings (APUAVD), 2019 IEEE 5th International Conference, Kyiv, 22-24 Oct. 2019. – Kyiv, 2019. - P. 149-152.