

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

Інститут аерокосмічних технологій

Кафедра авіа-та ракетобудування

«На правах рукопису»
УДК 629.7.02

«До захисту допущено»

В.о. завідувача
кафедри _____ Володимир 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: Експериментальний літак з арковим крилом

Виконав: студент VI курсу, групи АЛ-з91мп

_____ Нечас Дмитро Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник

_____ к.т.н., Зінченко Д.М.

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

_____ (підпис)

Консультант _____

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

_____ (підпис)

Рецензент Ст.викладач каф. СКЛА, 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
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

Нечас Дмитро Віталійович

1. Тема дисертації «Експериментальний літак з арковим крилом», науковий керівник дисертації Зінченко Д.М., доцент, к.т.н., доцент кафедри, затверджені наказом по університету від «__»місяць 2020 р. № _____¹
2. Термін подання студентом дисертації 10 грудня 2020 р.
3. Об'єкт дослідження Експериментальний літак з арковим крилом
4. Вихідні дані Висота польоту – від 30м;
5. Перелік завдань, які потрібно розробити
- 5.1. Аналіз стану завдання. Постановка рішення наукової задачі.
- 5.2. Розрахункові дослідження аеродинамічних характеристик аркового крила.
- 5.3. Дослідження аеродинамічних характеристик літального апарату з

замкнутим крилом.

5.4. Розробка стартап-проекту.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

6.1. Огляд результатів наукових досліджень.

6.2. Огляд наукових праць.

6.3. Особливості літака з арковим крилом.

6.4. Планування обчислюваного експерименту.

6.5. Аналіз результатів математичного моделювання літака з арковим крилом.

6.6. Креслення стапеля складання аркового крила .

7. Орієнтовний перелік публікацій

7.1. Стаття у фаховому виданні.

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

8.Дата
2019

видачі

завдання

01.10.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналітичний огляд сучасних робіт по розробці літаків з аркового крилом	до 15.09.2020 р.	
2.	Методика розрахунку аеродинамічних характеристик аркового крила.	до 31.10.2020 р.	
3.	Розробка розрахункової моделі аркового крила.	до 15.10.2020 р.	
4.	Розрахунок аеродинамічних характеристик аркового крила. Дослідження оптимального розташування гвинта.	до 30.10.2020 р.	
5.	Визначення параметрів поздовжньої стійкості аркового крила.	до 10.11.2020 р.	
6.	Порівняння аеродинамічних характеристик аркового та звичайного крила.	до 20.11.2020 р.	
7.	Розробка експериментальної моделі аркового крила.	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

Дмитро НЕЧАС

Науковий керівник
ЗІНЧЕНКО

Дмитро

Реферат

Магістерська дисертація: “Експериментальний літак з арковим крилом”, 113 сторінок, 71 рисунків, таблиць 12, посилань 28.

Актуальність: досліджень визначається потребою в удосконаленні експлуатаційних характеристик транспортних засобів, більш ефективному вирішенні основного транспортного завдання за допомогою літальних апаратів (ЛА).

Мета досліджень:

Мета роботи полягає в збільшенні максимальних несучих властивостей ЛА шляхом дослідження форми крил малого подовження, обтічних струменів повітряного гвинта. Для досягнення поставленої мети вирішуються дисертаційні дослідження, які передбачують визначення залежностей аеродинамічних характеристик несучої поверхні малого подовження від спільного впливу на досліджувану поверхню приєднаних вихорів, струменів працюючого гвинта, тунельного ефекту.

Для вирішення дисертаційної задачі необхідно вирішити такі завдання:

- Визначити залежність аеродинамічних характеристик аркового крила, при спільному впливі на досліджувану поверхню приєднаних вихорів, струменів працюючого гвинта, тунельного ефекту;
- Виконати оцінку прийнятності методів обчислювальної аеродинаміки для моделювання обтікання поверхні БПЛА із арковим крилом, визначено особливості створення розрахункових моделей для розглянутих чисельних методів;

Об'єкт дослідження - літак з арковим крило.

Вхідні данні: висота польоту – до 4200м, довжина літака: 7,31 м, висота літака: 2,5 м, нормальна підйомна маса: 820 кг, максимальна підйомна маса: 900 кг, максимальная швидкість: 225 км/ч, дальність польоту: 530 км, довжина розбігу: 70 м.

Методи дослідження - метод кінцевих елементів, розв'язання системи рівнянь Нав'є-Стокса, панельно-вихровий метод симетричних особливостей, методи статистичного аналізу.

Ключові слова: аркове крило, літак, гвинт, замкнуте аркове крило, рушій, потік повітря, обтікання, панельно-вихровий метод.

Abstract

Master's dissertation: "Experimental aircraft with an arched wing", 113 pages, 71 figures, tables 12, references 28.

Relevance: research is determined by the need to improve the performance of vehicles, more efficient solution of the main transport problem with the help of aircraft.

The purpose of research:

The purpose of the work is to increase the maximum load-bearing properties of the aircraft by studying the shape of the wings of small elongation, streamlined jets. To achieve this goal, dissertation research is solved, which involves determining the dependences of the aerodynamic characteristics of the bearing surface of small elongation on the joint impact on the studied surface of the connected vortices, jets of the working propeller, the tunnel effect.

To solve the dissertation problem it is necessary to solve the following tasks:

- To determine the dependence of the aerodynamic characteristics of the arched wing, with the joint impact on the investigated surface of the connected vortices, jets of the working propeller, the tunnel effect;

- To evaluate the acceptability of the methods of computational aerodynamics for modeling the flow of the surface of the UAV with an arched wing, identified the features of creating calculation models for the considered numerical methods;

The object of study - an aircraft with an arched wing.

Input data: flight altitude - up to 4200m, aircraft length: 7.31 m, aircraft altitude: 2.5 m, normal lifting weight: 820 kg, maximum lifting weight: 900 kg, maximum speed: 225 km / h, flight range: 530 km, run length: 70 m.

Research methods - finite element method, solution of the system of Navier-Stokes equations, panel-vortex method of symmetric features, methods of statistical analysis.

Key words: arched wing, plane, propeller, closed arched wing, propulsion, air flow, flow, panel-vortex method.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ЗАВДАННЯ. ПОСТАНОВКА РІШЕННЯ ЗАДАЧІ дисертаційного дослідження.....	14
1.1 Аналіз теоретичних і експериментальних робіт, присвячених аеродинамічній компоновці літального апарату з арковим крилом.....	14
1.2. Класифікація замкнутих крил.....	17
1.3. Обґрунтування аеродинамічного компонування аркового крила.....	31
1.4. Постановка рішення наукової задачі.....	37
Висновки по розділу 1.....	39
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АРКОВОГО КРИЛА.....	41
2.1. Моделювання обтікання літального апарату за допомогою панельно-вихрового методу.....	41
2.2. Моделювання обтікання літального апарату за допомогою методу кінцевих елементів.....	48
2.2.1. Система рівнянь методу кінцевих елементів.....	48
2.2.2. Модель турбулентності К-ε.....	53
2.2.3. Модель турбулентності (SST модель).....	64
2.3. Планування чисельного експерименту.....	67
2.3.1. Розрахункові моделі для панельно-вихрового методу.....	67
2.3.2. Розрахункові моделі для методу кінцевих елементів.....	68
2.4. Аналіз результатів.....	69
2.4.1. Результати моделювання обтікання замкнутого аркового крила за допомогою панельно-вихрового методу.....	69
2.4.2. Результати моделювання обтікання замкнутого.....	73

					<i>АЛзмп9105 16.00.00.00 ПЗ</i>						
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата							
Розроб.		<i>Нечас Д.В.</i>			Експериментальний літак з арковим крилом						
Перевір.		<i>Зінченко Д.М</i>									
Т.контр.											
Н. Контр.											
Затв.											
					<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: small;">Літ.</td> <td style="font-size: small;">Аркуш</td> <td style="font-size: small;">Аркуші</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">113</td> </tr> </table>	Літ.	Аркуш	Аркуші		6	113
Літ.	Аркуш	Аркуші									
	6	113									
					<i>КПІ ім.Ігоря Сікорського Каф. АРБ гр. АЛ-391-мп</i>						

аркового крила за допомогою методу кінцевих елементів.....	73
2.4.3. Порівняння результатів панельно-вихрового методу і методу кінцевих елементів.....	76
Висновки по розділу 2.....	78
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ.....	81
ХАРАКТЕРИСТИК ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ІЗ ЗАМКНУТИМ.....	81
АРКОВИМ КРИЛОМ.....	81
3.1. Моделювання взаємодії впливу замкнутого аркового крила ЛА і струменя рушія.....	81
3.2. Очікуване поліпшення експлуатаційних характеристик літальних апаратів з високонесущим крилом малого подовження.....	91
3.2.1. Критерії оцінки.....	92
3.2.2. Особливості аеродинаміки крила малого подовження.....	94
3.2.3. Порівняння з класичною схемою.....	97
3.3. Обґрунтування параметрів компонування літаючої моделі.....	100
3.3.1. Особливості концептуального проектування безпілотного літального апарату.....	100
Висновки по розділу 3.....	101
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	103
4.1 Опис ідеї проекту.....	103
4.2. Технологічний аудит проекту.....	103
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	104
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	105
4.5 Розробка маркетингової програми стартап-проекту.....	107
Висновки по розділу 4.....	108
ВИСНОВКИ.....	109
Список використаної літератури.....	111

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі викладені теоретичне узагальнення і вирішення актуальної наукової задачі - визначення залежностей аеродинамічних коефіцієнтів замкнутої поверхні з працюючим повітряним гвинтом, що дозволяє вирішувати завдання аеродинамічного проектування перспективних компоновок ЛА з реалізацією режиму короткого зльоту і посадки, реалізована методика аеродинамічного проектування, що має істотне значення для підвищення точності розрахунку аеродинамічних характеристик нових компоновок замкнутих крил при проектуванні перспективних літальних апаратів.

Теоретичне значення отриманих результатів полягає у визначенні закономірностей впливу параметрів конструювання замкнутого аркового крила з працюючою силовою установкою на його аеродинамічні характеристики.

Практичне значення отриманих результатів полягає в отриманні залежності аеродинамічних коефіцієнтів замкнутого аркового крила можуть бути використані при визначенні основних льотно-технічних характеристик ЛА із замкнутим крилом, розрахунку аеродинамічних навантажень, що діють на конструкцію ЛА із замкнутим крилом і працюючим двигуном.

Запропонована методика досліджень аеродинамічних характеристик ЛА із замкнутим крилом може бути використана в процесі дослідження аеродинамічних характеристик замкнутих крил, гвинтових рушіїв і інших замкнутих аеродинамічних поверхонь. Результати дисертаційної роботи можуть бути застосовані при розробці перспективних ЛА з коротким злетом і посадкою і впроваджені в навчальний процес вивчення дисципліни «Сучасне проектування літального апарату».

На підставі виконаних досліджень зроблені наступні висновки:

Запропонована аеродинамічна компоновка ЛА із замкнутим арковим крилом, що дозволяє істотно збільшити несучі властивості крила, реалізувати високі максимальні значення C_{ua} і одночасно дозволяє реалізувати політ на значеннях кута атаки, істотно перевищують аналогічні значення критичного кута атаки для літаків класичної схеми. При цьому на швидкостях польоту,

відповідних крейсерським режимам, досягається рівень аеродинамічного якості, відповідний ЛА класичної схеми, а завдання балансування з достатньою ефективністю вирішується за допомогою класичного оперення;

На підставі результатів параметричних досліджень визначені параметри компоновки, що дозволяють істотно збільшити співвідношення максимальної і мінімальної швидкостей польоту ЛА. При цьому показано, що в порівнянні з класичною схемою транспортна ефективність, дальність і швидкість польоту збільшуються;

Визначено залежності аеродинамічних коефіцієнтів замкнутого аркового крила від швидкості польоту, режиму роботи силової установки і положення крила щодо потоку повітря;

Розроблені розрахункові моделі для моделювання обтікання замкнутого аркового крила з застосуванням методів обчислювальної аеродинаміки - панельно-вихровим методом і методом кінцевих елементів.

На підставі порівняльного аналізу результатів математичного моделювання виконано оцінку прийнятності використання чисельних методів, запропонований алгоритм формування розрахункової моделі для розрахункових досліджень компоновок замкнутих крил;

Розроблена методика експериментальних досліджень аеродинамічних характеристик замкнутих крил дозволяє виконати фізичне моделювання обтікання досліджуваного об'єкта такого типу, визначати характер обтікання досліджуваної моделі і її аеродинамічні характеристики;

Експериментально підтверджено, що вплив аркової передньої кромки на процес обтікання замкнутого аркового крила дозволяє реалізувати безвідривне обтікання несущої поверхні в широкому діапазоні кутів атаки, аж до падіння, ніж підтверджуються гіпотезами, прийняті нами на початку дисертаційного дослідження - реалізація високих несущих властивостей і великих значень критичного кута атаки, можливість досягнення в одній аеродинамічній компоновці малих мінімальних швидкостей польоту і високих крейсерських швидкостей польоту.

Список використаної літератури

1. Zafirov D. Closed Wing Aircraft Classification [Текст] / Dимо Zafirov. // Technical University-Sofia, Branch of Plovdiv. – 2014. – Vol. 3.
2. Prandtl L. Indiced Drag of Multiplanes [Текст] / Prandtl L. // NASA TN 182. – 1924.
3. Fredaini A. The Prandtl Wing [Текст] / Aldo Fredaini // V.K.I. Lecture Series, Pisa University – Italy. June 06-10 – 2005.
4. Wolkovitch, J. Joined-Wing Research Airplane Feasibility Study [Текст] / Wolkovitch J. // AIAA Paper 84-2471. – 1984.
5. Ligeti Stratos – сверхлегкий ЛА с сочлененным крылом и нелегкой судьбой [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://thexhs.livejournal.com/10740.html> . – 15.03.2014.
6. Gallman J. W. Design Synthesis and Optimization of Joined-Wing Transports [Текст] / J. W. Gallman, I. M. Kroo, S. C. Smith. // AIAA-90-3197. – 1990.
7. Zafirov D. UAV Research and Development in the Plovdiv Branch of Technical University-Sofia (a Survey) [Текст] / D. Zafirov, H. Panayotov. //Journal of the Technical University – Sofia, Plovdiv branch, Bulgaria, International Conference TECHSYS. – 2013. – Vol. 19.
8. Кондратьев В. П. Самолет своими руками [Текст] / В. П. Кондратьев, Л. Ф. Яснопольский. // М. Патриот. – 1993. – С. 208.
9. Kuhemann D. F.R.S.. The aerodynamic design of aircraft [Текст] / D. Kuhemann // Pergamon Press Inc. Oxford OX3 0BW, England. – 1985.– С. 175.
10. Woodward F. A. An improved method for the aerodynamic analysis of wing-body-tail configurations in subsonic and supersonic flow [Текст] / F. A. Woodward // PI., Theory and Application NASA CR– 2228, p. 1, N 73-25045.
11. Вернигора В. Н. Расчет потенциальных течений около крыльев и несущих конфигураций крыло-фюзеляж [Текст] / В. Н. Вернигора, В. С. Ираклионов, Г. А. Павловец. // Труды ЦАГИ. – 1976. – вып 1803/

12. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа [Текст] / Л.Г. Лойцянский // М.: ГИТТЛ. – 1970.
13. Piomelli U. Large-Eddy Simulations of Turbulent Flows, from Desktop to Supercomputer (Invited Talk) [Текст] / U. Piomelli, A. Scotti, E. Balaras. // – 2002.
14. Mohammadi B. Analysis of the K-Epsilon turbulence model [Текст] / B. Mohammadi, O. Pironneau. // М. John Wiley & Sons. – 1994.
15. Анучин М.Г. Применение $k\varepsilon$ -модели для описания приземного слоя атмосферы [Текст] / М.Г. Анучин, В.Е. Неуважаев, И.Э. Паршуков. // Математическое моделирование физических процессов. – 2001. – вып 2. – С. 11-27.
16. Неуважаев В.Е. Расчет гравитационного турбулентного перемешивания по k - ε модели [Текст] / В.Е. Неуважаев, В.Г. Яковлев. // ВАНТ сер. Теоретическая и прикладная физика. – 1988. – вып. 1. – С. 28-36.
17. Авраменко М.И. О k - ε модели турбулентности [Текст] / М.И. Авраменко. // Препринт РФЯЦ-ВНИИ технической физики им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия. – 2005. – № 224.
18. Menter F. R. Zonal two-equation k - ε turbulence models for aerodynamic flows [Текст] / F. R. Menter // AIAA-Paper – 2906. – 1993.
19. Bradshaw P. Calculation of boundary layer development using the turbulent energy equation [Текст] / P. Bradshaw, D. H. Ferriss, N. P. Atwell. // J. Fluid Mech. – 1967. – v. 28. – pp. 593-616.
20. Menter F. R. Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model, Turbulence, Heat and Mass Transfer 4. [Текст] / F. R. Menter, M. Kuntz, R. Langtry. //ed: K. Hanjalic, Y. Nagano, and M. Tummers, Begell House. – 2003. – pp. 625 - 63
21. Mcdevitt J.B. Static and Dynamic Measurements on a NASA 0012 Airfoil in the Ames High Reynolds Number Facility [Текст] / B.J. Mcdevitt, A.F. Okuno. // United States, NASA Technical Paper 2485. – 1985.

22. Rogério F.F. An experimental study on wingtip devices for agricultural aircraft [Текст] / F.F. Rogério, M. Fernando. // ICAS 2000 CONGRESS.
23. Рахмати Ахмад. Расчетная оценка аэродинамических характеристик БПЛА с вертикальным взлетом [Текст] / А. Рахмати, Д. Н. Зинченко. // Сборник научных трудов Харьковского университета воздушных сил. – Харьков, 2012. – Вып. 4(33). – С. 37–43.
24. Ahmad Rahmati. Experimental study of aerodynamic characteristics of closed parabolic wing [Текст] / Ahmad Rahmati, D.N. Zinchenko. // International Collection of scientific proceedings «European Cooperation». – Warsaw, Poland, 2016. – Vol 7, № 14. – pp. 62–71.
25. Maxwell Blair. A joined-wing flight experiment [Текст] / Blair Maxwell, R. Jonon, A. William. // Design and Analysis Methods Branch Structures Division. SFEBRUARY, 2008.–p. 213.
26. Н.Н. Глушков. Применение метода симметричных особенностей для расчета обтекания дозвуковых летательных аппаратов [Текст] / Н.Н. Глушков, Ю.Л. Инешин, Ю.Н. Свириденко //Учебные записки ЦАГИ, 1989.–№ 1,Том XX.– С. 23–28.
27. «CS-VLA». DECISION NO. 2003/18/RM OF THE EXECUTIVE DIRECTOR OF THE AGENCY of 14 November 2003.
28. Кашафутдинов С. Т. Атлас аэродинамических характеристик крыловых профилей [Текст] / С. Т. Кашафутдинов, В. Н. Лушин. // Новосибирск, 1994. – С. 80.