

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

**Інститут аерокосмічних технологій**

**Кафедра авіа- та ракетобудування**

«На правах рукопису»  
УДК   681.3  

До захисту допущено:

В. о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Володимир КАБАНЯЧИЙ

«  » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Літаки і вертольоти»**

**зі спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»**

**на тему: «Варіантне автоматизоване конструювання крила**

**регіонального літака»**

Виконав:

студент VI курсу, групи АЛ-91мп

Теран Гарсія Пауло Матео \_\_\_\_\_

Керівник:

Професор, д.т.н., професор кафедри

Віталій СУХОВ \_\_\_\_\_

Консультант:

Рецензент:

Професор, д.т.н., професор кафедри

Лев РИЖКОВ \_\_\_\_\_

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  
(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

\_\_\_\_\_ Володимир КАБАНЯЧИЙ  
(підпис) (ініціали, прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Пауло Матео Теран Гарсія**

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема дисертації:** Варіантне автоматизоване конструювання крила регіонального літака

**науковий керівник  
дисертації**

Сухов Віталій Вікторович, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 07 » 12 2020 р.

№253/20 сі

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

**3. Об'єкт дослідження:** Крило регіонального літака

**4. Предмет дослідження:** Варіантне автоматизоване конструювання крила регіонального літака

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

5.1. Аналіз сучасного стану конструювання крила регіонального літака.

5.2. Формування мети та завдань дисертаційного дослідження.

5.3. Теоретичні основи автоматизованого конструювання крила.

5.4. Варіантне комп'ютерне моделювання крила регіонального літака.

5.5. Застосування розроблених моделей та запропонованої методики автоматизованого проектування.

5.6. Перспективи подальшого розвитку напрацьованих наукових результатів.

5.7. Розробка стартап-проекту.

## 6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:

6.1. Сучасний стан конструювання крила регіонального літака.

6.2. Мета та завдання дисертаційного дослідження.

6.3. Теоретичні основи автоматизованого конструювання крила.

6.4. Варіантне комп'ютерне моделювання крила регіонального літака.

6.5. Застосування розроблених моделей.

6.6. Перспективи подальшого розвитку. Старт-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: 01.12.2020 р.

### 1.1.1 КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	1.2 І римітка
1.	Аналіз сучасного стану конструювання крила регіонального літака.	до 30.11.2019 р.	
2.	Мета та завдання дисертаційного дослідження.	до 01.01.2020 р.	
3.	Теоретичні основи автоматизованого конструювання крила.	до 01.04.2020 р.	
4.	Варіантне комп'ютерне моделювання крила регіонального літака.	до 01.06.2020 р.	
5.	Застосування розроблених моделей, перспективи подальшого розвитку напрацьованих наукових результатів.	до 01.07.2020 р.	
6.	Розробка старт-проекту.	до 30.09.2020 р.	
7.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу.	до 01.12.2020 р.	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Пауло Матео ТЕРАН ГАРСІЯ

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

Віталій СУХОВ

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

## Реферат

**Магістерська дисертація:** "Варіантне автоматизоване конструювання крила регіонального літака", 104 сторінки, 59 малюнків, 17 таблиць, 20 посилань.

**Актуальність:** Однією з найважливіших задач, що вирішуються в процесі проектування літаків транспортної категорії, є задача зниження ваги планера. Особливо актуальна ця задача для регіональних літаків, в конструкції яких часто застосовується крило з підкосом, що дозволяє істотно зменшити вагу не тільки окремії частині кесона, а й крила в цілому. Найбільш ефективним методом аналізу напружено-деформованого стану таких конструкцій є метод скінченних елементів, який застосовується у всіх сучасних САЕ-системах. У той же час, процес побудови, за допомогою зазначених систем, якісних скінченно-елементних моделей крила з підкосом, що забезпечують прийнятну точність розрахунків, має велику тривалість, що істотно знижує якість проектування.

Засоби об'єктно-орієнтованої інформаційної технології, розроблені для прискорення синтезу скінченно-елементної моделі вільнонесучого крила, також не дозволяють вирішити задачу синтезу скінченно-елементної моделі крила з підкосом, тому що для з'єднання його елементів використовуються прості шарнірні стики.

**Мета роботи:** розробка методу автоматизованого синтезу структур скінченно-елементних моделей простих шарнірних стиків, з метою забезпечення синтезу скінченно-елементної моделі крила з підкосом, шляхом з'єднання локальних скінченно-елементних моделей від'ємної частині кесона крила, центрального відсіку фюзеляжу і підкоса.

**Об'єкт дослідження:** крило регіонального літака.

**Метод дослідження:** виконано аналіз конструкції простих шарнірних стиків, на основі результатів якого розроблено принципи формування структури скінченно-елементної моделі простого шарнірного стиків. Визначено

перелік і формат вихідних даних, необхідних для побудови скінченно-елементної моделі стику, а також схема обміну даними між моделями агрегатів планера літака, що з'єднуються.

**Метод синтезу моделі шарнірного стику:** розроблений з урахуванням внутрішнього уявлення скінченно-елементної моделі, що складається із стрижневих і плоских симплекс-елементів. Моделі стиків з'єднують незалежно синтезовані моделі від'ємної частині кесона крила, підкоса і центрального відсіку фюзеляжу. Для спрощення алгоритму синтезу скінченних елементів, в структуру даних програмного коду доданий спеціальний масив, що містить локальні номери вузлів моделі стику, згруповані за місцем розташування в моделі. На першому етапі здійснюється читання координат і номерів вузлів стикових вузлів. На другому етапі здійснюється розрахунок координат внутрішніх вузлів скінченно-елементної моделі стику. На третьому етапі здійснюється синтез кінцево-елементної моделі стику. Синтез здійснюється на підставі номерів вузлів, зафіксованих в масиві місцевих номерів, з урахуванням їх місця розташування в моделі.

**Наукова новизна результатів дослідження:** розроблено новий метод синтезу скінченно-елементних моделей елементів конструкції літака, який значно розширює сферу застосування об'єктно-орієнтованої інформаційної технології при проектуванні конструкції планера літака транспортної категорії.

**Практичне значення отриманих результатів:** істотне скорочення тривалості синтезу скінченно-елементної моделі літака транспортної категорії з підкосним крилом, що дає можливість підвищити якість проектування, за рахунок використання математичних методів оптимізації.

**Апробація результатів:** наукова конференція студентів "Авіа-ракетобудування: перспективи та напрямки розвитку".

**Публікація:** стаття за темою дисертації прийнята до опублікування у міжнародному виданні "Eastern-European Journal of Enterprise Technologies".

**Ключові слова:** метод скінченних елементів, синтез моделі стику, крило з підкосом.

## Зміст

Перелік скорочень .....	9
Вступ .....	11
1. Аналіз сучасного стану конструювання крила регіонального літака .....	14
1.1 Близькомагістральний літак Ан-148.....	14
1.2 Близькомагістральний літак ВАе.146-200.....	15
1.3. Близькомагістральний літак VFW-Fokker 614.....	16
1.4 Близькомагістральний літак Short 330.....	18
1.5. Близькомагістральний літак Ан-28.....	20
1.6. Близькомагістральний літак DHC-6-400.....	22
1.7 Висновки.....	24
2. Формування мети та завдань дисертаційного дослідження .....	25
2.1. Аналіз існуючих засобів моделювання конструкції крила.....	25
2.2 Висновки.....	28
3. Теоретичні основи автоматизованого конструювання крила .....	29
3.1. Аналіз задач скінченно-елементного моделювання конструкції кесона крила.....	29
3.2. Аналіз структур СЕМ кесона крила, використовуваних на різних стадіях проектування.....	33
3.3. Принципи формування структури СЕМ крила ЛТК на стадії технічного проектування.....	39
3.4. Принципи формування структур кінцево-елементних моделей елементів поздовжнього набору.....	41
3.5 Висновки.....	47
4. Варіантне комп'ютерне моделювання крила регіонального літака .....	48
4.1. Структура СЕМ шарнірного стику.....	48
4.2. Метод синтезу СЕМ шарнірного стику.....	49

4.3. Схема обміну даними.....	55
4.4 Висновки.....	56
5. Застосування розроблених моделей та запропонованої методики автоматизованого проектування .....	57
5.1. Структура СЕМ крила з підкосом.....	57
5.2 Умови закріплення і навантаження моделі.....	62
5.3. Аналіз результатів розрахунку напружено-деформованого стану...	64
5.3.1. Аналіз напруг в обшивці ВЧК.....	64
5.3.2. Аналіз напруг в нервюрах.....	66
5.3.3. Аналіз напруг в лонжеронах.....	67
5.3.4. Аналіз напруг в підкосі.....	68
5.3.5. Аналіз напруг в шпангоутах.....	69
5.3.6. Аналіз напруг в обшивці ВЧК.....	71
5.3.7. Аналіз деформацій ВЧК.....	72
5.4 Висновки.....	73
6. Перспективи подальшого розвитку напрацьованих наукових результатів .....	74
6.1. Аналіз трудомісткості.....	74
6.2. Висновки.....	74
7. Розробка стартап-проекту .....	75
7.1 Опис ідеї проекту.....	75
7.2 Технологічний аудит проекту.....	75
7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	76
7.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	78
7.5 Розробка маркетингової програми стартап-проекту.....	80
7.6 Очікувана ефективність стартап-проекту.....	81
7.7. Висновки по розділу.....	89
8. Висновки .....	91
Список використаних джерел .....	92





## **8. Висновки**

Розроблено новий метод синтезу скінченно-елементних моделей елементів конструкції літака, який значно розширює сферу застосування об'єктно-орієнтованої інформаційної технології при проектуванні конструкції планера літака транспортної категорії.

Істотне скорочення тривалості синтезу скінченно-елементної моделі літака транспортної категорії з підкосним крилом, що дає можливість підвищити якість проектування, за рахунок використання математичних методів оптимізації.

### Список використаних джерел

1. Егер С.М. Проектирование самолетов, –М, Машиностроение, 1983, –616 с.
2. Глаголев А.Н., Гильдинов М.Я., Григоренко С.М. Конструкция самолетов, – М, Машиностроение, 1975, –480 с.
3. Бадягин А.А. Сравнение лёгких самолётов с подкосным и свободнонесущим крылом. Известия вузов: Авиационная техника. 1980. № 4. с. 11-17.
4. Чепурных И.В. Расчет массы подкосного крыла самолета. Ученые записки КНАГТУ. 2015. № 21. с. 12-20.
5. Ю.Г. Одинокоев. Расчет самолета на прочность. –М.: Машиностроение, 1973. –392 с.
6. Метод определения характеристик общего напряжённо-деформированного состояния отъёмной части крыла самолёта с помощью системы ANSYS / А. Г. Гребеников, Ю. Н. Геремес, С. П. Светличный, Ю. А. Яковлев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2008. – Вып. 39. –С. 37–51.
7. Метод интегрированного проектирования, конструирования и моделирования высокоресурсного фитингового стыка крыла с центропланом самолета транспортной категории/ Е.Т. Василевский, А.Г. Гребеников, А.Ю. Ефремов, Н.В. Ефремова // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2010. – Вып. 46. – С.277–293.
8. C–295 aircraft global finite element model: a multidisciplinary tool used in casa to reduce time and costs in aircraft certification process. / Eduardo Oslé, Juan Luis de la Gándara, Agustín González–Díaz // MSC Software’s 1<sup>st</sup> South European Technological Conference, 2000.
9. Хорошев А.Н. Основы проектирования технических объектов. –М, 2011. –125 с.

10. Борисов В. В., Методы синтеза конечно-элементной модели планера грузового самолета / В. В. Борисов. – Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 139 с.
11. Зинченко В.П., Борисов В.В. Методы и алгоритмы автоматизированного проектирования сложных технических объектов // УСиМ, 2011. – Вып. № 1. – С. 46–56.
12. Борисов В.В., Зинченко В.П., Муха И.П. Система автоматизированного управления проектными данными // Адаптивные системы автоматизированного управления. – 2011. №19(39). – с.23-34.
13. Мартин Дж. Системный анализ передачи данных: В 2 т. – М.: Мир, 1975. – Т.1: Системный анализ передачи данных. – 256 с.; – Т.2: Проектирование систем передачи данных. – 431 с.
14. MSC.Nastran 2012. Linear Static Analysis. User's Guide. 2012. – 772 с.
15. MSC.Nastran 2012. Superelements User's Guide. User's Guide. 2012. – 974 с.
16. Руководство по основным методам проведения анализа в программе ANSYS. 2006. – 399 с.
17. Рычков С.П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 784 с.
18. Борисов В.В. Проблемы обеспечения надежности функционирования программного обеспечения PDM–систем. // Технології створення перспективних комп'ютерних засобів та систем з використанням новітньої елементної бази. – К.: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2000. – с. 67-72.
19. V.V. Borisov, V.V. Sukhov, A technique of computer-aided synthesizing a finite element model of wing center section and outer wing torsion box joint for a transport aircraft, Russian Aeronautics (Iz VUZ), №1, pp. 6-13, 2014.
20. Борисов В.В. Методы автоматизированного синтеза конечно-элементных моделей стыковых элементов в планере самолета. Механіка гіроскопічних систем, НТУУ "КПІ". Киев, 2015. вип.30. с. 73–89.