МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет літакобудування

Кафедра проектування літаків і вертольотів

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи

другий (магістерський)
(освітній рівень)

на тему: «Інтегроване проєктування пасажирського літака»

ХАІ.103.160н.25В.134.№2001114/25 ПЗ

Виконав: студент 6 курсу 160н групи
Галузь знань 13 «Механічна інженерія»
Спеціальність 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
Освітня програма «Проєктування, виробництво та сертифікація авіаційної техніки»
Альошин С.А
(прізвище та ім'я здобувача)
Керівник д.т.н. професор каф. 103 Гребеніков О.Г.
(прізвище та ім'я викладача)
Рецензент Павленко С. А.
(прізвище та ім'я викладача)

Харків – 2025

Міністерство освіти і науки України

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

Факультет *Літакобудування*
Кафедра *103 «Проектування літаків і вертольотів»*
Рівень вищої освіти *другий (магістерський)*

Галузь знань *13 «Механічна інженерія»*

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

(код та найменування)

Освітня програма *«Проектування, виробництво та сертифікація авіаційної техніки»*

(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

к.т.н., доц. Сергій ТРУБАЄВ

“____” _____202___року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТ

Альошину Сергію Анатолійовичу

(прізвище, ім’я та по батькові)

1.Тема кваліфікаційної роботи Інтегроване проєктування пасажирського літака

керівник кваліфікаційної роботи Гребеніков О.Г. д.т.н професор каф. 103

(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету № 420-уч від « 14 » березня 2025 року

2.Термін подання студентом кваліфікаційної роботи 14 травня 2025 р.

Вихідні дані до роботи $V_{max} = 980$ км/год; $V_{\text{кр}} = 904$ км/год;
$H_{\text{кр}} = 11000$ м; $L = 11\,000$ км; $L_{\text{роз}} = 1800$ м; $n_{\text{пас}} = 19$ чол.; $m_{\text{ц.н.}} = 2280$ кг
К = 18; Ресурс = 60 000 год.

Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв’язати)

Реферат

Вступ

1. Конструкторський розділ

1.1. Автоматизоване формування вигляду літака

Вступ, постановка цілі й задач проектування

1.1.1 Розробка концепції створення проектованого літака й науково-технічної програми досягнення його характеристик.

1.1.2 Призначення, тактико-технічні вимоги до літака, умови його виробництва й експлуатації, обмеження, що накладаються авіаційними правилами при проектуванні літака.

1.1.3 Збір, обробка й аналіз статистичних даних. Вибір основних відносних початкових параметрів літака.

1.1.4 Вибір і обґрунтування схеми літака, типу його силової установки.

1.1.5 Розрахунок маси літака в трьох наближеннях.

1.1.6 Підбір двигунів і перевірка довжини розбігу.

1.1.7 Визначення й оптимізація проектних параметрів літака і його агрегатів.

1.1.8 Розробка аеродинамічного, об'ємно-вагового, конструктивно-силового компонувань. Розрахунок центрування і моментів інерції літака.

1.2. Аналіз впливу змін проектних параметрів агрегатів літака при їхній оптимізації на аеродинамічні й масові характеристики літака

1.2.1 Визначення лобового опору проектованого літака.

1.2.2 Підйомна сила, індуктивний опір, поляра літака, аеродинамічна якість літака.

1.2.3 Поздовжній момент і розташування аеродинамічного фокуса літака.

1.2.4 Розрахунок діаграми «вантаж-дальність» проектованого літака.

1.3. Інтегроване проектування й комп'ютерне моделювання крила проектованого літака

(назва агрегату)

1.3.1. Розробка майстер-геометрії крила.

1.3.2. Визначення навантажень, що діють на крило.

1.3.3. Уточнення конструктивно-силової схеми крила.

1.3.4. Вибір матеріалів для елементів конструкції крила.

1.3.5. Проектувальний розрахунок геометричних параметрів конструктивно-силових елементів крила в регулярних зонах з урахуванням заданого ресурсу.

1.4. Інтегроване проектування силової установки.

1.4.1 Розробка конструкції кріплення двигуна.

1.4.1.1 Аналіз КСС кріплення двигунів та їх конструктивних особливостей однотипних літаків.

1.4.1.2 Вибір та обґрунтування КСС кріплення двигуна.

1.4.1.3 Визначення навантажень і вибір матеріалу для силових елементів системи кріплення двигуна.

1.4.1.4 Визначення геометричних параметрів і розробка конструкції силових елементів системи кріплення двигуна.

1.4.1.5 Технічний опис кріплення двигуна.

1.4.1.6 Висновки.

1.4.2 Розробка компонувальної схеми силової установки літака.

1.4.2.1 Вибір й обґрунтування складу силової установки літака.

1.4.2.2 Проектування паливної системи (визначення потрібного об'єму паливних баків, розташування палива на літаку, розробка схем розташування паливних баків, виробіток палива, перекачування палива, аварійного зливу, дозаправки, дренажу та наддуву, розрахунок висотності, дренажу й аварійного зливу).

1.4.2.3 Проектування протипожежної системи силової установки (розробка компонувальних схем систем виявлення пожежі, пожежогасіння та нейтрального газу).

1.4.2.4 Проектування повітрозабірника.

1.4.2.5 Проектування масляної системи.

1.4.2.6 Допоміжна силова установка (ДСУ).

1.4.2.7 Системи запуску та керування двигунами.

1.4.2.8 Висновки.

2. Технологічний розділ

Розробка технології виготовлення лонжерону крила.

2.1. Аналіз вихідних конструкторських документів лонжерону: технічні умови на виготовлення, аналіз технологічності агрегату.

2.2. Розробка схеми конструктивно-технологічного членування, схеми збирання й ув'язування заготівельно-складального оснащення.

2.3. Розробка укрупненого технологічного процесу збирання лонжерону: підбор інструмента й устаткування, технічні умови на постачання деталей і складальних одиниць, розробка технологічних карт процесу збирання, нормування, цикловий графік збирання.

2.4. Проектування складального пристосування: розробка схеми базування, складання технічних умов на проектування стапеля, вибір і обґрунтування прийнятих засобів виготовлення й монтажу складального пристосування, опис конструкції складального пристосування, монтаж складального пристосування.

2.5. Організація робочого місця й техніка безпеки.

3. Економічний розділ

РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

3.1. Конкурентні переваги літака, що проектується, та оцінка можливих обсягів його реалізації.

3.1.1 Характеристика тактико-технічних показників літака, що проектується, як товарного продукту.

3.1.2 Споживчі якості літака, що впливають на конкурентні переваги та економічні витрати при проектуванні літака в дослідному конструкторському бюро та при серійному виготовленні літака на виробничому авіаційному підприємстві.

3.1.3 Аналіз ринку збуту на основі маркетингових досліджень та визначення об'єму можливих продаж готових ЛА.

3.2. Вихідні дані для розрахунку тактико-економічних показників ефективності створення літального апарату.

3.2.1 Дані для розрахунку витрат в дослідницько-конструкторському бюро.

3.2.2 Дані для розрахунку витрат на серійне виробництво літального апарату.

3.3 Розрахунок основних техніко-економічних показників проектування і виробництва літака

4. Спеціальне завдання

Інтегроване проєктування пасажирського місця літака класу бізнес джет._____

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

- майстер-геометрія поверхні літака,
- креслення загального вигляду (формат А1);
- конструктивно-силове компонування літака (формат А1).

- майстер-геометрія крила літака;
- складальне креслення кріплення двигуна (Формат А3).
- схема силової установки (формат А3).
- креслення лонжерону крила (формат А1).
- схема складання та ув'язки лонжерона крила.
- Маршрутно-операційна карта на складання лонжерону крила.

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Конструкторський розділ	Гребеніков О.Г. д.т.н професор каф. 103	**27.01.2025**	
2. Технологічний розділ	Гребеніков О.Г. д.т.н професор каф. 103	**27.01.2025**	
3. Економічний розділ	Гребеніков О.Г. д.т.н професор каф. 103	**27.01.2025**	
4. Спеціальна частина	Гребеніков О.Г. д.т.н професор каф. 103	**27.01.2025**	

Нормоконтроль _____ _____Гребеніков О.Г.___ «____» _____20___ р.
(Підпис) (ім'я та прізвище)

Дата видачі завдання «__27__» ____січня____2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Конструкторський розділ	10.04.2025	
2	Технологічний розділ	20.04.2025	
3	Економічний розділ	28.04.2025	
4	Спеціальна частина	12.05.2025	

Здобувач _____ **Сергій Альошин**

(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ **Олександр Гребеніков**

(підпис) (ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 133 с., 23табл., 64 рис., 12 дод., 27 джерел.

Об'єкт дослідження – далекомагістральний пасажирський адміністративний літак з дальністю польоту до 11 000 км.

Мета роботи – проектування далекомагістрального адміністративного літака.

Методи дослідження - статистичний аналіз, розрахунково-аналітичний, інженерний, методи будівельної механіки, аналітичні методи розрахунку аеродинамічних характеристик, методи тривимірного моделювання авіаційних конструкції.

Актуальність цього дослідження обумовлена необхідністю оснащення авіакомпаній сучасними літаками даного класу, що відповідають міжнародним вимогам, зокрема стандартам ICAO, щодо рівня шуму та викидів. Застосування передових матеріалів і технологій, таких як композитні матеріали та автоматизоване 3D-моделювання, дозволяє зменшити масу конструкції, підвищити її міцність і знизити витрати на експлуатацію.

Метою цієї магістерської роботи є розробка концепції нового бізнесджету з оптимальними техніко-економічними показниками. Очікується, що результатом стане створення конкурентоспроможного літака, здатного ефективно виконувати покладені на нього задачі сприяти розвитку авіаційної галузі України в данній ніщі латаків.

У виконаній кваліфікаційній роботі магістра:

1) Розробленно аванпроект дальньомагістрального бізнесджета дальністю польота 11 000 км на висоті 11 000 м із кресерською швидкістю 904 км/год при повному комерційному навантаженні, базовий варінт якого вміщає до 19 пасажирів. Для цього було зібрано та проаналізованно данні 5 літаків аналогів, на підставі яких були проведені розрахунки у першому наближенні. Розраховані основні параметри літака, такі як злітна маса, маси основних агрегатів, визначенні геометричні параметри та підібранно силову установку. На основі отриманих данних розроблене теоретичне креслення, загальний вид, коструктивно силова схема літака, майстер геометрія в програмі Siemens NX.

2) Виконано аеродинамічні розрахунки. Визначено лобовий опір, підйомна сила, побудована поляра першого роду , визначена аеродинамічна якість літака, розрахована діаграма вантаж-дальність.

3) Виконано інтегроване проектування крила літака. Розраховані повітряні і масові навантаження, що діють на крило літака, побудовані епюри поперечних сил, згинальних та крутильних моментів. На основі розрахунків навантажень спроєктовано елементи конструкції крила та з'єднання крила з фюзеляжем, визначено матеріали конструкції. Побудована модель розподілу простору крила.

4) Виконано інтегроване проектування силової установки, а саме:

4.1) Виконано аналіз КСС кріплення двигунів та їх конструктивних особливостей однотипних літаків, вибрано та обґрунтовано КСС кріплення двигуна, визначенні розрахункові навантаження, обрано матеріали для елементів кріплення двигуна, виконаний проектувальний розрахунок елементів кріплення двигуна та кріпильних деталей, виконаний перевірочний розрахунок за допомогою програмного забезпечення. Розроблене складальне креслення кріплення двигуна.

4.2) Розрахован потрібний об'єм паливних баків, обрано схему розміщення паливних баків та проведено розрахунок наявного об'єму. Розраховані підсистеми подачі палива, перекачування палива, заправлення та дренажу. Розроблена схема паливної системи.

4.3) Виконаний розрахунок повітрозбірника двигуна, отримано його ескіз.

4.4) Розроблено та описано схеми протипожежної системи, масляної системи, системи запуску. Підібрано допоміжну силову установку та наведено її опис.

Розрахунки виконанні за допомогою програми «Power Unit».

Результатом проєктування систем двигуна стала компонувальна схема силової установки.

5) Розроблено технологію виготовлення та складання лонжерону крила. Результатом є складальне креслення лонжерону крила, схема складання та ув'язки, маршрутно-операційна карта.

6) Розраховані показники економічної ефективності. Розрахована вартість літака. Розрахована повна виробнича собівартість, витрати ДКБ на проєктування, побудову дослідних зразків та випробування. Розрахована ціна літака з ПДВ без двигунів за умови планової рентабельності від реалізації одного літака 25%. Розрахована ціна літака з двигунами.

7) Проаналізовано схеми розміщення пасажирів та пасажирські місця літаків прототипів, вимоги до розміщення пасажирів на борту літака та пасажирських крісел. На основі цього аналізу розроблено загальний вигляд пасажирського крісла проєктованого літака.

АДІМІНІСТРАТИВНИЙ ЛІТАК, КСС ЛІТАКА, КРИЛО, ІНТЕГРОВАНЕ ПРОЄКТУВАННЯ, КОМПОНУВАЛЬНА СХЕМА СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ, ЛОНЖЕРОН КРИЛА, АЕРОДИНАМІЧНА ЯКІСТЬ, ПАСАЖИРСЬКЕ КРІСЛО.

Умови отримання: за письмовим дозволом завідуючого кафедрою проектування літаків і вертольотів Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

ЗМІСТ

ВСТУП..... 12
1 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ..... 13
1.1Автоматизоване формування вигляду літака..... 13
1.1.1 Розробка концепції створення проектованого літака й науково-технічної програми досягнення його характеристик..... 13
1.1.2 Призначення, тактико-технічні вимоги до літака, умови його виробництва й експлуатації, обмеження, що накладаються авіаційними правилами при проектуванні літака..... 14
1.1.3 Збір, обробка й аналіз статистичних даних. Вибір основних відносних початкових параметрів літака..... 15
1.1.4 Вибір і обґрунтування схеми літака, типу його силової установки..... 23
1.1.5 Розрахунок маси літака в трьох наближеннях..... 26
1.1.6 Підбір двигунів і перевірка довжини розбігу..... 38
1.1.7 Визначення й оптимізація проектних параметрів літака і його агрегатів. .. 40
1.1.8 Розробка аеродинамічного, об'ємно-вагового, конструктивно-силового компонувань. Розрахунок центрування і моментів інерції літака..... 43
1.2 Аналіз впливу змін проектних параметрів агрегатів літака при їхній оптимізації на аеродинамічні й масові характеристики літака..... 47
1.2.1Визначення лобового опору проєктованого літака..... 47
1.2.2 Підйомна сила, індуктивний опір, поляра літака, аеродинамічна якість літака..... 48
1.2.3 Поздовжній момент і розташування аеродинамічного фокуса літака..... 51
1.2.4 Розрахунок діаграми «вантаж-дальність» проектованого літака..... 52
1.3 Інтегроване проектування й комп'ютерне моделю-вання крила проектованого літака..... 53
1.3.1 Розробка майстер-геометрії крила..... 53
1.3.2 Визначення навантажень, що діють на крило. 54
1.3.3 Уточнення конструктивно-силової схеми крила..... 62
1.3.4 Вибір матеріалів для елементів конструкції крила..... 62
1.3.5 Проектувальний розрахунок геометричних параметрів конструктивно-силових елементів крила в регулярних зонах з урахуванням заданого ресурсу. 63
1.4. Інтегроване проектування силової установки. 74
1.4.1 Розробка конструкції кріплення двигуна..... 74
1.4.1.1 Аналіз КСС кріплення двигунів та їх конструктивних особливостей однотипних літаків..... 74
1.4.1.2 Вибір та обґрунтування КСС кріплення двигуна..... 74

1.4.1.3 Визначення навантажень і вибір матеріалу для силових елементів системи кріплення двигуна 75
1.4.1.4 Визначення геометричних параметрів і розробка конструкції силових елементів системи кріплення двигуна 79
1.4.1.5 Технічний опис кріплення двигуна 81
1.4.1.6 Висновки 82
1.4.2 Розробка компонувальної схеми силової установки літака 82
1.4.2.1 Вибір й обґрунтування складу силової установки літака 82
1.4.2.2 Проектування паливної системи (визначення потрібного об'єму паливних баків, розташування палива на літаку, розробка схем розташування паливних баків, виробіток палива, перекачування палива, аварійного зливу, дозаправки, дренажу та наддуву, розрахунок висотності, дренажу й аварійного зливу) 83
1.4.2.3Проектування протипожежної системи силової установки (розробка компонувальних схем систем виявлення пожежі, пожежогасіння та нейтрального газу). 91
1.4.2.4 Проектування повітрозабірника 94
1.4.2.5 Проектування масляної системи 96
1.4.2.6 Допоміжна силова установка (ДСУ) 97
1.4.2.7 Системи запуску та керування двигунами 98
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ 100
2.1 Аналіз вихідних конструкторських документів лонжерона крила: технічні умови на виготовлення, аналіз технологічності агрегату 100
2.2 Розробка схеми конструктивно-технологічного членування, схеми збирання й ув’язування заготівельно-складального оснащення 101
2.3 Розробка укрупненого технологічного процесу збирання лонжерона крила: підбор інструмента й устаткування, технічні умови на постачання деталей і складальних одиниць, розробка технологічних карт процесу збирання, нормування, цикловий графік збирання 106
2.4 Проектування складального пристосування: розробка схеми базування, складання технічних умов на проектування стапеля, вибір і обґрунтування прийнятих засобів виготовлення й монтажу складального пристосування, опис конструкції складального пристосування, монтаж складального пристосування 109
2.5 Організація робочого місця й техніка безпеки 111
3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ 113
3.1 Конкурентні переваги літака, що проектується, та оцінка можливих обсягів його реалізації. 113
3.1.1 Характеристика тактико-технічних показників літака, що проектується, як товарного продукту. Споживчі якості літака, що впливають на конкурентні переваги. 113
3.1.2 Економічні витрати при проектуванні літака в дослідному конструкторському бюро та при серійному виготовленні літака на виробничому авіаційному підприємстві. 114

3.1.3 Аналіз ринку збуту на основі маркетингових досліджень та визначення об’єму можливих продаж готових ЛА. 114
3.2.Вихідні дані для розрахунку тактико-економічних показників ефективності створення літального апарату. 115
3.2.1Дані для розрахунку витрат в дослідницько-конструкторському бюро..... 115
3.2.2 Дані для розрахунку витрат на серійне виробництво літального апарату. 116
3.3 Розрахунок основних техніко-економічних показників проектування і виробництва літака..... 116
4 ІНТЕГРОВАНЕ ПРОЄКРУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКОГО МІСЦЯ ЛІТАКА КЛАСУ БІЗНЕСДЖЕТ 122
4.1 Вимоги розміщення пасажирів, та пасажирських місць. 122
4.2 Проектування пасажирських місць 123
4.2.1 Схема розміщення пасажирів на борту 123
4.2.2 Проектування пасажирських крісел 125
4.2.3 Навантаження що діють на крісло 126
4.2.4 Розробка загального виду крісла пасажира 127
4.3 Висновок 129
ВИСНОВОК 130
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 132
ДОДАТОК А Результати розрахунку параметрів літака ……..134
ДОДАТОК Б Майстергеометрія літака ……...139
ДОДАТОК В Креслення загального виду літка ……141
ДОДАТОК Г Конструктивно-силове компонування літака ……143
ДОДАТОК Д Майстергеометрія крила літака ……...145
ДОДАТОК Є Складальне креслення кріплення двигуна ……147
ДОДАТОК Ж Специфікація до складального креслення двигуна ……149
ДОДАТОК К Схема силової установки ……152
ДОДАТОК Л Складальне креслення лонжерону крила ……...154
ДОДАТОК М Специфікація до складального креслення лонжерону крила……...156
ДОДАТОК Н Схема складання та ув’язування оснащення ……159
ДОДАТОК О Маршрутно-операційна карта на складання лонжерону крила …...161

ВСТУП

Данна робота присвячена проєктуванню сучасного адміністративного літака великої дальності. Данний тип літаків забезпечую можливість комфортного перевезення невеликої группи пасажирів в будяку точку світу де наявні аеродроми класу 3С(В).

У сучасному інженерному проектуванні для прийняття оптимальних рішень широко використовуються фізичні та математичні моделі, що враховують різні розрахункові умови та обмеження, що реалізуються із застосуванням різних видів програмування на ЕОМ.

Проєктування елементів конструкції сучасного літака є складним процесом і вимагає знань з різних галузей інженерії, таких як аеродинаміка, механіка матеріалів, конструкція літаків та інше.

Одним з основних елементів конструкції літака є крило. Воно створює та сприймає основні навантаження що діють на літак, а також вносить найбільший вклад в льотно-технічні характеристики літка такі які дальність, швидкість, вага, паливна ефективність та інше. Крила проєктуються з урахуванням аеродинамічних вимог, навантажень під час польоту, маси літака та розподілу навантаження. Конструкція крила та матеріали, які застосовуються при його виготовлені, можуть суттєво відрізнятися в залежності від типу літака та його маси та вимог.

Виготовлення деталей літака включає в себе ряд технологічних процесів. В даній кваліфікаційній роботі розроблено укрупнений технологічний процес складання переднього лонжерону крила.

Також одним з етапів проєктування літака є економічний аналіз та розрахунки. Правильне проведення економічного аналізу дозволяє визначити найефективніші рішення з економічної точки зору і забезпечити оптимальне співвідношення між якістю продукту і витратами на його виготовлення. Правильно проведено дослідження ринку та економічні розрахрахунки дозволяють оцінити рентабельність проєкту та внести зміни ще на етапі проєктування для підвищення ефективності вкладених коштів.

Для літаків класу далекомагітральні бізнесджети важливими є не тільки його характеристики а й внутрішнє оздоблення літака, найчастіше саме від нього залежить вибір покупця на користь того чи іншого літака. Як правило розробкою та дизайном салону бізнесджета займаються сторонні компанії що співпрацюють з виробником, бо розробка дизайну, ергономіки, проєктування елементів інтер'єру це дослідний процес який вимагає багато додаткових ресурсів, що не завжди вигідно невеликим виробникам.