МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ДОНЕЦЬ ОЛЕКСАНДР ДМИТРОВИЧ

УДК 629.735.33.01 (043.3)

НАУКОВІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ СУЧАСНИХ РЕАКТИВНИХ РЕГІОНАЛЬНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ЛІТАКІВ

Спеціальність 05.07.02 – проектування, виробництво
та випробування літальних апаратів

Галузь знань 13 – механічна інженерія

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на Державному підприємстві «АНТОНОВ»
Державного концерну «УКРОБОРОНПРОМ».

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Гребеніков Олександр Григорович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри проектування літаків і вертольотів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Кривов Георгій Олексійович,
Публічне акціонерне товариство «Український науково-дослідний інститут авіаційної технології»
Державного концерну «УКРОБОРОНПРОМ»,
голова правління – генеральний директор;

доктор технічних наук, професор
Карускевич Михайло Віталійович,
Національний авіаційний університет
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри конструкції літальних апаратів.

Захист відбудеться « 12 » грудня 2019 р. о 14^{00} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.06 при Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1, корп. 11, ауд. 220.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розіслано «___» _____ 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.062.06,
кандидат технічних наук, с.н.с. О. Ю. Корчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Україна входить у число держав, що володіють повним циклом створення авіаційної техніки. Потенціал підприємств авіаційної промисловості України свідчить про можливість створення і модифікації сучасних регіональних пасажирських літаків, показники яких за ефективністю, надійністю та безпекою польотів перевищують досягнутий світовий рівень.

Для створення відповідно до норм льотної придатності нових конкурентоспроможних регіональних пасажирських літаків необхідно розробляти науково обґрунтовані методи їх проектування, виробництва та випробування, які будуть більш сучасними, ніж у конкурентів. При цьому забезпечення заданих тактико-технічних вимог, аеродинамічної якості (К = 16), ресурсу літака (80 000 ... 90 000 льотних годин) при мінімальних значеннях маси літака є одними з основних показників їх досконалості, а проблеми їх досягнення визначаються методологією інтегрованого проектування, конструювання та виробництва за допомогою систем CAD\CAM\CAE\PLM, розроблення якої являє собою актуальний науковий напрямок.

У розробленні науково обґрунтованих методів проектування пасажирських літаків взяли участь багато вітчизняних і зарубіжних наукових шкіл під керівництвом О. К. Антонова, С. В. Ільюшина, А. М. Туполєва, П. В. Балабуєва, С. М. Єгера, Г. В. Новожилова та багатьох інших спеціалістів авіаційної промисловості. Їх діяльність базувалася на науковому обґрунтуванні рішень проектувальних завдань, застосуванні методів оптимального і системного проектування на основі єдиного комплексного критерію ефективності та цілеспрямованого комплексу компромісів альтернативних рішень. Кожен новий літак проектувався та створювався на основі вивчення та прогнозування потреб народного господарства й оборони країни, наукового аналізу стану та можливостей авіаційної науки і техніки.

На етапах формування вигляду літака, його компонування й основних характеристик, вироблення загальної концепції проектування конструктори прагнули до високого рівня досконалості його аеродинаміки, стійкості та керованості, міцності й ресурсу, вагових характеристик, технологічності виробництва та експлуатації.

Закладені при проектуванні основні показники якості створюваного літака реалізуються в процесі відпрацювання конструкції в цілому, її систем, вузлів і деталей, в процесі творчої спільної роботи конструкторів, аеродинаміків, фахівців із міцності, технологів, фахівців науково-дослідних інститутів і навчальних університетів.

Методи проектування та створення ефективних зразків авіаційної техніки розвиваються і трансформуються разом із розвитком авіаційної науки й техніки та впровадженням комп'ютерних інтегрованих систем CAD\CAM\CAE\PLM.

Накопичення досвіду досягнення заданих характеристик працездатності пасажирських літаків за допомогою комп'ютерних інтегрованих систем CAD\CAM\CAE\PLM забезпечує інтеграцію розрахункових, експериментальних методів проектування з методами комп'ютерного моделювання літаків та їх модифіка-

цій протягом їх життєвого циклу.

Тому розроблення наукових основ створення сучасних реактивних регіональних пасажирських літаків є *актуальною задачею*, а розроблення методів досягнення заданих характеристик літаків при мінімумі маси має велике практичне значення у вирішенні проблеми забезпечення ефективності та безпеки польотів в умовах експлуатації пасажирських літаків.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. В основу дисертації покладено матеріали, що узагальнюють дослідження, виконані автором у рамках реалізації «Державної комплексної програми розвитку авіаційної промисловості України на період до 2010 року», затвердженої постановою КМУ від 12.12.2001 року № 1665-25; Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27.12.2008 року № 1656-р «Про схвалення Стратегії розвитку вітчизняної промисловості на період до 2020 року».

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є розроблення наукових основ створення сучасних реактивних регіональних пасажирських літаків, що відповідають сучасним і перспективним нормам льотної придатності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз особливостей створення регіональних пасажирських літаків.
2. Розробити концепції та наукові основи методології інтегрованого проектування та виробництва сімейства регіональних пасажирських літаків.
3. Розробити нові рішення забезпечення заданих характеристик регіональних пасажирських літаків.
4. Реалізувати розроблені методи при створенні регіональних пасажирських літаків.

Об'єкт дослідження – проектування, виробництво та випробування пасажирських літаків.

Предмет дослідження – наукові основи створення сучасних реактивних регіональних пасажирських літаків.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети і отримання основних результатів у дисертаційній роботі застосовували математичні методи дослідження проектних рішень; методи автоматизованого проектування і тривимірного комп'ютерного моделювання літакових конструкцій за допомогою сучасних комп'ютерних інтегрованих систем CAD\CAM\CAE\PLM; методи розрахунку авіаційних конструкцій на міцність; розрахунково-експериментальні методи забезпечення аеродинамічних характеристик; методи забезпечення статичної міцності та ресурсу; методи льотних випробувань літаків.

Наукова новизна одержаних результатів. Найбільш вагомими елементами наукової новизни результатів є такі:

1. Вперше при створенні й впровадженні до експлуатації сімейства літаків Ан-148-100/Ан-158 проведено великий комплекс науково-технічних розрахункових і проектно-конструкторських робіт із застосуванням розробленої інтегрованої автоматизованої системи проектування та виробництва у тривимірному просторі, а також вико-

нані необхідні експериментальні дослідження, наземні та льотні випробування.

2. Удосконалено методи проектування регіонального пасажирського літака шляхом вибору оптимальних аеродинамічних, конструктивно-силових і об'ємно-масових компонувань, параметрів і профілювання крила, параметрів поперечного перерізу фюзеляжу, льотно-технічних характеристик (ЛТХ), злітно-посадкових характеристик (ЗПХ), двигуна, обладнання й систем.

3. Удосконалено методи розрахунку характеристик загального та локального напружено-деформованого стану, міцності й ресурсу літака за допомогою скінченноелементних CAD/CAE систем MSC.Software, NASTRAN, Фронт.

Практичне значення одержаних результатів. Практичну цінність дисертаційної роботи становлять такі основні результати:

1. Створено ряд модифікацій конкурентоспроможних високоекономічних реактивних регіональних пасажирських літаків нового покоління Ан-148-100/Ан-158, які за своїми техніко-експлуатаційними характеристиками знаходяться на рівні кращих сучасних зарубіжних аналогів, а за рівнем комфорту для пасажирів не поступаються магістральним пасажирським літакам більшої розмірності.

2. Розроблено аеродинамічне компонування, яке не має аналогів у світовій практиці авіабудування, що дозволило створити регіональний пасажирський літак-високоплан зі швидкістю польоту до 870 км/год (M = 0,8).

3. Створено єдиний у світі сучасний регіональний реактивний літак, що може експлуатуватися з ґрунтових аеродромів.

4. На літаках Ан-148/Ан-158 замість додаткових гідравлічних систем для живлення силових приводів («бустерів») основних поверхонь керування використовується енергія двох централізованих електричних систем змінного струму (схема енергокомплексу «2Н/2Е»).

5. Розроблення, серійне виробництво й впровадження в експлуатацію сімейства літаків Ан-148-100/Ан-158 дозволили створити робочі місця в Україні в кількості більш ніж 14 000 чоловік.

6. Впровадження результатів роботи забезпечило створення на ДП «АНТОНОВ» нового покоління сімейства реактивних регіональних пасажирських літаків.

Результати, отримані в дисертаційній роботі, впроваджено у виробництво на ДП «АНТОНОВ» і в навчальний процес Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, які становлять суть дисертаційної роботи, отримані автором особисто. Постановка завдання, аналіз і трактування основних результатів, формулювання наукових висновків виконані спільно з науковим керівником. У статтях, написаних у співавторстві, авторові належить таке: [3] – обґрунтовано можливість відпрацьовування літаками проектного ресурсу й терміну служби за умовами міцності при втомі (при акустичних навантаженнях у тому числі) і корозійної міцності; [5] – запропоновано й обґрунтовано розширення обсягу застосування у конструкції фюзеляжу композиційних матеріалів, включаючи балки підлоги й стійки їх кріплення до елементів конструкції фюзеляжу; запропоно-

вано застосовувати покриття з молібдену, що підвищило зносостійкість високонавантажених деталей з титанових сплавів більше ніж у 20 разів; розроблено конструкцію поясів із пресованих напівфабрикатів із двома закінцівками; [6] – запропоновано, розроблено та виконано комплекс розрахунково-дослідних робіт за вибором аеродинамічного компонування літака; [8] – запропоновано застосовувати одно- та двошарові звукопоглинальні конструкції акустичного заповнювача в конструкції мотогондоли, що забезпечило зниження рівня шуму літака від двигуна на місцевості відповідно до норм Розділу 4 стандарту ІСАО, а найбільше зниження шуму літака виявили при злітному режимі роботи двигуна; запропоновано та впроваджено з метою збереження ресурсу двигуна, економії палива при виконанні зльоту літака зі смуг великої довжини автоматизований зліт на максимально тривалому режимі; [9] – відпрацьовано й впроваджено нові технологічні процеси виготовлення деталей і вузлів на верстатах із числовим програмним керуванням; відпрацьовано й впроваджено складні у виробництві й нові технологічні процеси виготовлення виробів із композиційних і неметалічних матеріалів, виробів ковальсько-штампувального, ливарного й термічного виробництва; [10] – запропоновано метод попереднього проектування сучасного реактивного регіонального пасажирського літака, який випробувано при проектуванні регіонального пасажирського літака Ан-148-100.

Апробація результатів дисертації. Основні положення, розділи й результати роботи доповідалися автором на міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки» (м. Харків, 2019 р.), на науково-технічних нарадах ДП «АНТОНОВ», а також на наукових семінарах кафедри проектування літаків і вертольотів Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

Публікації. Основні результати роботи викладено у 14 наукових публікаціях, з них 1 – розділ монографії, 9 статей у наукових фахових виданнях України, 2 патенти, 2 тези доповідей на конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел і два додатки. Повний обсяг дисертації становить 265 сторінок, у тому числі: анотація на 9 сторінках, зміст на 2 сторінках, основний текст на 162 сторінках, список використаних джерел із 115 найменувань на 10 сторінках, додатки на 7 сторінках. Робота містить 5 таблиць і 87 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, особистий внесок автора, наведено відомості про апробацію, публікації, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану наукових основ створення високоекономічних регіональних пасажирських літаків нового покоління, які повністю відповідають сучасним і перспективним нормам льотної придатності, здатні замінити в авіакомпаніях країн СНД парк застарілих регіональних пасажирських літаків і забезпечити вітчизняні авіакомпанії та інших замовників новим конкурентос-

проможним реактивним регіональним пасажирським літаком, що не поступається, а за рядом показників переважає зарубіжні аналоги.

Проведений аналіз показав, що для забезпечення конкурентоспроможності створюване сімейство реактивних регіональних пасажирських літаків повинно мати високі показники паливної ефективності, екологічності, надійності, підвищений комфорт і безпеку для пасажирів, а також низькі експлуатаційні витрати.

Проведений аналіз методів проектування пасажирських літаків показав, що для реалізації методологічних основ проектування сучасних регіональних пасажирських літаків необхідно розробити науково обґрунтовані методи інтегрованого проектування.

У другому розділі розроблено концепції створення та наукові основи методології інтегрованого проектування сімейства регіональних пасажирських літаків, включаючи концепцію, принципи та методи інтегрованого проектування регіональних пасажирських літаків; концепцію створення силової установки; концепцію створення системи керування польотом регіональних пасажирських літаків.

На рисунку 1 показано нову концепцію інтегрованого проектування пасажирського літака.

Розроблена концепція інтегрованого проектування пасажирського літака є методологічною основою створення сімейства пасажирських літаків із заданою статичною міцністю, ресурсом при мінімальній масі.

Інтегроване проектування пасажирських літаків можна розділити на етапи, взаємозв'язок яких зображено на рисунку 1:

1. Створення інтегрованого інформаційного середовища, комплексу технічних і програмних засобів для створення проекту літака, виробничої і експериментальної бази, колективу фахівців.

2. Розроблення концепції створення нового літака або модифікації вже існуючого із застосуванням комп'ютерних інтегрованих систем проектування CAD\CAM\ CAE\PLM.

3. Розроблення майстер-геометрії літака в системі CAD\CAM\ CAE\PLM.

4. Визначення розрахункових навантажень, що діють на агрегати літака, і навантажень типового польоту, допустимих напружень у регулярній зоні для забезпечення регламентованої довговічності.

5. Інтегроване проектування і конструювання агрегатів літака.

6. Створення аналітичних еталонів елементів конструкції планера літака.

7. Розроблення конструкторської, технологічної та експлуатаційної документації.

Всі роботи з інтегрованого проектування збірних літакових конструкцій виконують в єдиній базі даних проектованого літака із застосуванням конструкторських і технологічних баз даних.

На основі запропонованої концепції були розроблені принципи інтегрованого проектування пасажирського літака:

1. *Принцип створення аналітичних еталонів елементів пасажирського літака*

Тривимірні комп'ютерні моделі майстер-геометрії, розподілу простору, аналітичні еталони елементів конструкцій створюються методами аналітичної геометрії за допомогою інтегрованих систем CAD\CAM\CAE\PLM в єдиному інформаційному

середовищі підтримки життєвого циклу літаків.

Рисунок 1 – Нова концепція інтегрованого проектування пасажирського літака

2. *Принцип створення майстер-геометрії вигляду літака*

Параметри вигляду нового літака мінімальної маси та регламентованої довговічності мають задовольняти заданим перспективним тактико-технічним вимогам, Авіаційним правилам, концепції створення нового літака та визначатися зі співвідношень:

$$ТТВ,\ АП \rightarrow \text{схема літака} \rightarrow$$

$$\rightarrow m_0 = \frac{m_{сл.н} + m_{об.упр} + m_{ком}}{1 - \left[\overline{m}_к(p, n_p, N_{рег}, \lambda, ОГП) + \overline{m}_{су}(p, t_0, \gamma_{дв}, R, N_{дв}) + \overline{m}_{пал}(p, C_T, k, L)\right]} \rightarrow$$

$$\rightarrow m_{0\min} \rightarrow p_{opt} \rightarrow t_{opt} \rightarrow P_0 \rightarrow S_i \rightarrow профілі_i \rightarrow (l_i, \lambda_i, \chi_i, \overline{c}_i, \eta_i, D_ф, L_{BO}, L_{ГО}) \rightarrow$$

$$\rightarrow (\overline{x}_T - \overline{x}_F) \rightarrow \text{аналітичний еталон поверхні літака.}$$

3. *Принцип проектування агрегатів літака*

Конструктивні параметри та технологія виконання регулярних зон (р.з) агрегатів літака мають забезпечувати задану аеродинамічну якість, сприйняття розрахункових руйнівних навантажень, регламентовану довговічність при навантаженнях, еквівалентних навантаженням типового польоту в експлуатаційному середовищі, заданий коефіцієнт втомної якості (K_y), задану якість зовнішньої поверхні, степінь герметичності та задовольняти таким нерівностям:

$$P_{руйн} \geq P_{розр}(КП_{р.з}, \sigma_{др.з}(N_{реглам\ р.з}));\ N_{реглам} \leq N_{розр.р.з}(КП_{р.з}, \sigma_{0екв}, \sigma_к, ТВ);$$

$$\Delta_З < 0 \ при\ P = P_{експл};\ \Delta h \leq 0{,}05 мм;\ K_y \leq 3.$$

4. *Принцип проектування нерегулярних зон елементів конструкції агрегатів літака*

Конструктивні параметри і технологія виконання нерегулярних зон (н.р.з) мають забезпечувати сприймання розрахункових зусиль у нерегулярній зоні при статичному навантаженні, регламентовану довговічність, якість зовнішньої поверхні та герметичність, які дорівнюють характеристикам регулярної зони або перевищувати їх, і задовольняти таким нерівностям:

$$P_{руйн} \geq P_{розр}(КП_{н.р.з}, \sigma_{дн.р.з}(N_{реглам\ н.р.з}));\ \Delta h_{н.р.з} \leq \Delta h_{р.з};\ \Delta_{Зн.р.з} < \Delta_{Зр.з};$$

$$N_{реглам} \leq \min(N_{розр.н.р.з}(КП_{н.р.з}, (\sigma_{0екв} \cdot \varepsilon_{екв}), \sigma_к, ТВ);\ N_{експ}(КП_{н.р.з}, \sigma_0, \sigma_к, ТВ)).$$

5. *Принцип підтримки та досягнення живучості силових елементів планера літака з втомними тріщинами*

Конструктивні параметри збірних літакових конструкцій, що безпечно руйнуються, мають забезпечувати можливість контролю критичних місць, виявлення втомних тріщин і застосування прогресивних способів затримки їх зростання, відновлення несучої здатності і герметичності пошкодженої конструкції та задовольняти таким нерівностям:

$$(N_{зал.\ СЗРТУ} / N_{зал\ з\ тр}) > 1;\ \Delta_{З,СЗРТУ} < 0.$$

Метод проектування випробувано з використанням параметрів літака Ан-148. Порівняння результатів розрахунків за методом, що пропонується, із параметрами існуючих літаків ряду Ан-148, свідчить про коректність розробленого методу й результатів розрахунків (рисунки 2, 3).

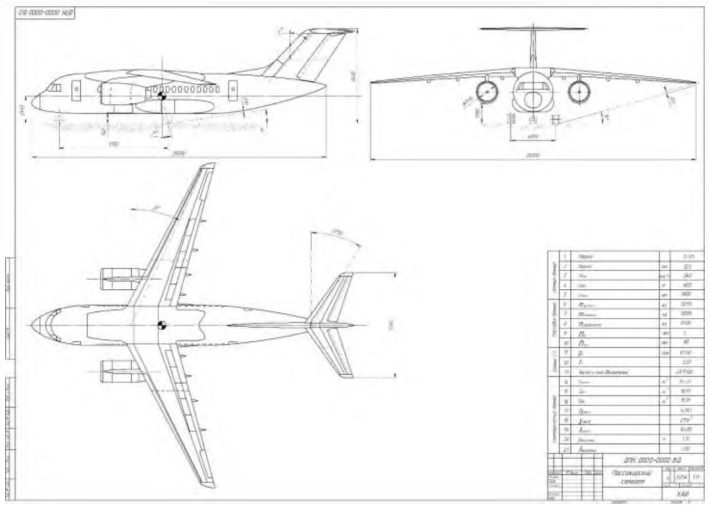


Рисунок 2 – Загальний вигляд літака

Рисунок 3 – Майстер-геометрія регіонального пасажирського літака

Розроблено концепцію створення силової установки (рисунки 4, 5). Конструкція силової установки (маршовий і допоміжний двигуни та їх системи керування) дозволяє експлуатацію літаків Ан-148-100/Ан-158 на аеродромах з висотою базування до 4 100 м. З метою збереження ресурсу двигуна, економії палива при виконанні зльоту літака зі смуг великої довжини запроваджено зліт на максимально тривалому режимі. Для зменшення навантаження на членів екіпажу вмикання цього режиму автоматизовано.

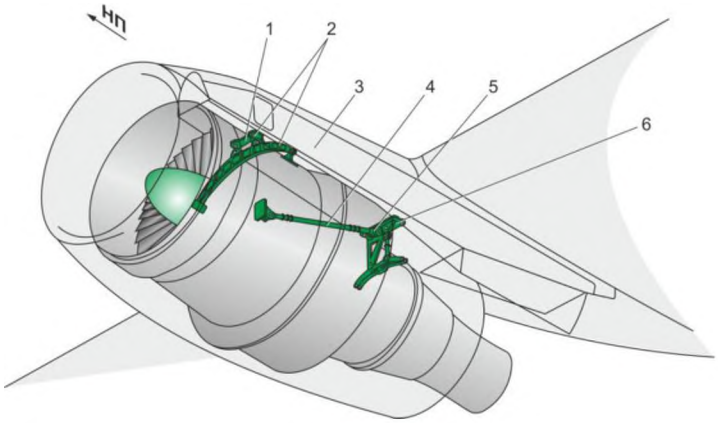


Рисунок 4 – Схема установки двигуна: 1 – вузол передньої підвіски (частина конструкції літака); 2 – кронштейн; 3 – пілон мотогондоли двигуна; 4 – штанга знімання тяги двигуна; 5 – вузол задньої підвіски (частина конструкції двигуна); 6 – кронштейн

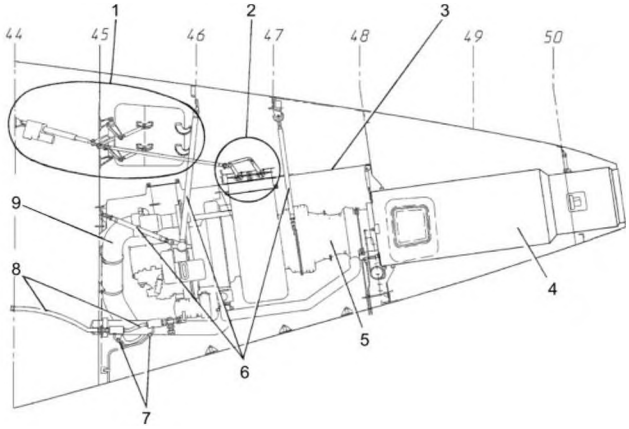
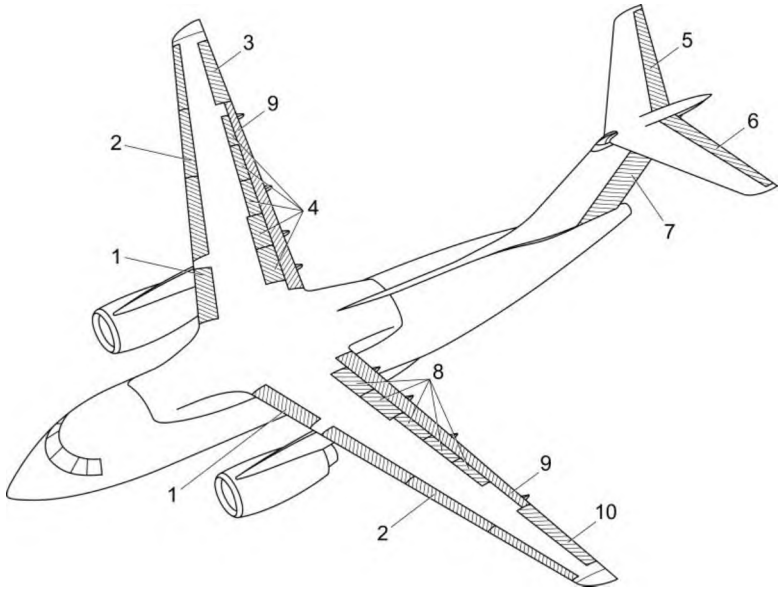


Рисунок 5 – Схема установки допоміжної силової установки: 1 – вхідний пристрій; 2 – повітрозабірник ДСУ; 3 – протипожежний екран; 4 – вихлопний пристрій; 5 – двигун АИ-450-МС; 6 – система кріплення ДСУ; 7 – дренажні трубопроводи; 8 – паливні трубопроводи; 9 – патрубок скидання повітря із вентилятора ДСУ

У сімействі літаків Ан-148-100/Ан-158 застосовано інноваційну систему керування польотом, яка відрізняється таким: бустерна необоротна система керування одержує живлення тільки від двох гідравлічних систем. Замість додаткових гідрав-

лічних систем для живлення силових приводів поверхонь керування (рисунок 6) використовують енергію двох централізованих електричних систем змінного струму; у системі застосовані комбіновані приводи, що одержують живлення як від однієї із двох централізованих гідросистем, так і від централізованої системи електричного постачання трифазним змінним струмом 115 В/400 Гц. Комбіновані приводи використовують для відхилення багатофункціональних інтерцепторів, закрилків, передкрилків, а також як резервні приводи рулів висоти й напрямку.



1 – відхилювальний носок крила; 2 – передкрилки; 3 – правий елерон; 4 – праві інтерцептори; 5 – права секція руля висоти; 6 – ліва секція руля висоти; 7 – руль напрямку; 8 – ліві інтерцептори; 9 – закрилки; 10 – лівий елерон

Рисунок 6 – Розміщення аеродинамічних поверхонь керування літаком

Основні наукові результати, наведені у другому розділі, опубліковано у працях автора [7, 8, 10].

У третьому розділі подано нові рішення забезпечення характеристик регіональних пасажирських літаків.

У конструкції планера сімейства реактивних регіональних пасажирських літаків Ан-148-100/Ан-158 (фюзеляж, крило, пілони навішування силових установок і оперення) застосовано ряд нових конструктивно-технологічних рішень (рисунок 7):

– у фюзеляжі розширено обсяг застосування композиційних матеріалів, включаючи балки підлоги й стійки їх кріплення до елементів конструкції фюзеляжу; кріплення обшивки до каркаса фюзеляжу виконано за допомогою заклепок із компенсатором, що забезпечує високу якість зовнішньої поверхні та виключає необхідність фрезування головок заклепок після їх встановлення; відсік допоміжної силової установки виконано повністю із КМ;

– розроблено раціональну конструкцію кесона крила з теоретичною поверхнею подвійної кривизни, високою технологічністю і експлуатабельністю із забезпеченням живучості і високого ресурсу (рисунок 8);

– розроблено раціональну конструкцію пілона навішування маршової силової установки із забезпеченням оптимальних характеристик жорсткості для досягнення заданих характеристик флатерної безпеки, широким застосуванням композитних матеріалів у хвостовій і носовій частинах;

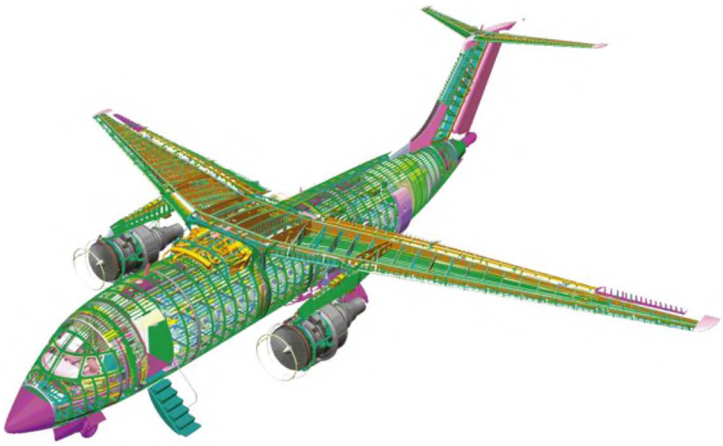


Рисунок 7 – Фрагмент моделі повного визначення літака Ан-148

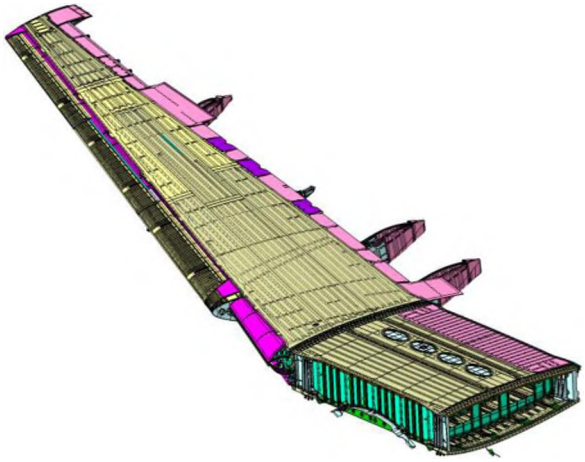


Рисунок 8 – Фрагмент моделі КСС крила літака Ан-148

– розроблено конструкцію поясів із пресованих напівфабрикатів з двома закінцівками;

– розроблено інтегральну конструкцію руля напрямку та руля висоти із композиційних матеріалів.

Розроблене аеродинамічне компонування дозволило створити сімейство регіональних пасажирських літаків-високопланів зі швидкістю польоту до 870 км/год ІШ (істина швидкість) (M = 0,8), яке не має аналогів у світовій практиці авіабудування. Основу аеродинамічного компонування швидкісного крила з помірною стрілоподібністю сімейства літаків Ан-148-100/Ан-158 склали розроблені для нього надкритичні профілі нового покоління з великою максимальною відносною товщиною (більшою, наприклад, ніж у літаків Airbus A320 та Ан-124 (рисунок 9)). Значення аеродинамічної якості літака на крейсерському режимі польоту становить $K_{крейс} = 15{,}8$, що відповідає світовому рівню (рисунок 10).

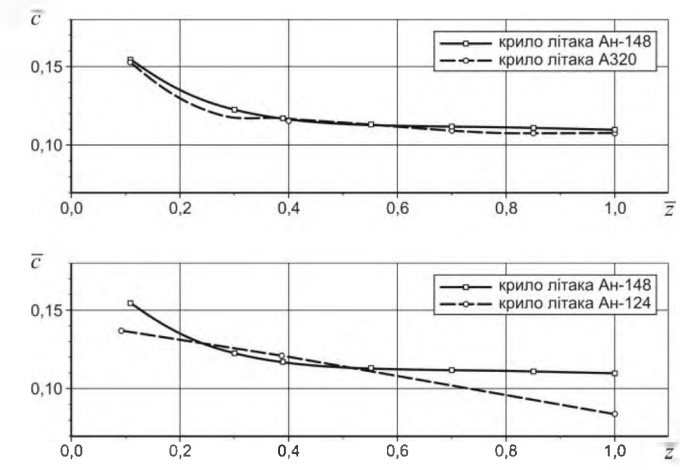


Рисунок 9 – Літак Ан-148. Залежність товщини профілю від відносного розмаху крила

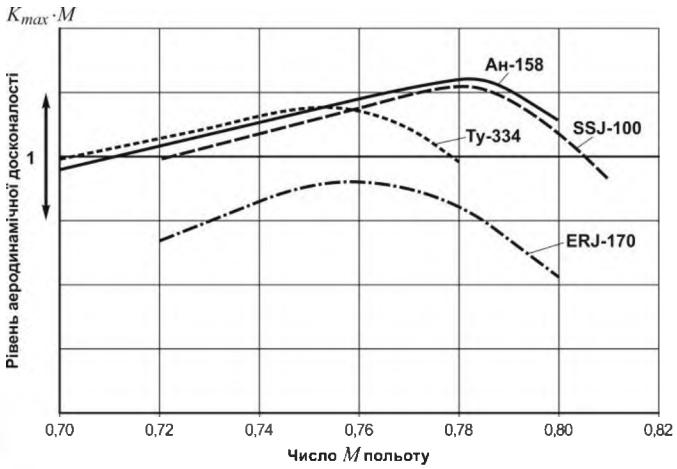


Рисунок 10 – Порівняння рівня аеродинамічної досконалості регіональних літаків

Проведений комплекс розрахункових (рисунок 11), експериментальних (рисунок 12) і дослідницьких робіт із забезпечення міцності й безпеки конструкції літаків Ан-148-100/Ан-158 показав, що при відпрацьовуванні проектного ресурсу й терміну

служби забезпечується 80 000 льотних годин, 60 000 польотів для моделі Ан-148-100А, 40 000 польотів для моделі Ан-148-100В, 30 000 польотів для Ан-148-100Е, 50 000 польотів для Ан-158, 30 років за умовами міцності конструкції при тривалій експлуатації.

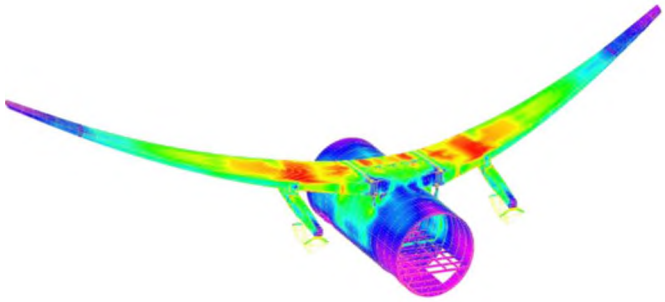


Рисунок 11 – Характер НДС елементів конструкції планера літака

Рисунок 12 – Стенд для дослідження планера літака на міцність

Основні наукові результати, наведені у третьому розділі, опубліковано у працях автора [3, 5, 6].

Четвертий розділ присвячений особливостям реалізації методів інтегрованого проектування та серійного виробництва сімейства регіональних пасажирських літаків.

Наведено комплекс робіт, який дозволив організувати виробництво літаків Ан-148-100 та Ан-158 (рисунок 13) відповідно до вимог «Керівництва 21.2С щодо сертифікації й нагляду за виробництвом авіаційної техніки», «Керівництва 21.2D процедури сертифікації й контролю за виробництвом виробів цивільної авіаційної техніки», стандартів ISO9001-2009 і EN9100 «Системи менеджменту якості. Вимоги». Функціонування системи якості постійно контролюється проведенням внутрішніх перевірок.

Рисунок 13 – Цех остаточного складання на ДП «АНТОНОВ» («Серійний завод АНТОНОВ»)

Наведено результати відпрацьованих і впроваджених нових технологічних процесів виготовлення деталей і вузлів на верстатах із числовим програмним керуванням (рисунки 14, 15); освоєння й впровадження нового обладнання й технологічних процесів зварювання.

Рисунок 14 – Дільниця 5-координатних фрезерних верстатів

Рисунок 15 – Фрезерний верстат із ЧПК для виготовлення довгомірних деталей крила

Проектування технологічного оснащення виконували із застосуванням ЕОМ і тривимірних електронних математичних моделей літака, що дозволило забезпечити прив'язування оснащення за єдиним джерелом із мінімальним використанням еталонів і калібрів, скоротити цикл проектних робіт і зменшити трудомісткість виготовлення й монтажу оснащення. Для контролю стапелів використовують лазерний контрольно-вимірювальний комплекс, що забезпечує високу точність вимірів і можливість порівняння отриманих даних із математичною моделлю.

Описано проведений комплекс робіт із забезпечення льотної придатності літаків сімейства Ан-148-100/Ан-158 (рисунки 16, 17), що забезпечує їх безпечну експлуатацію у повній відповідності з вимогами Авіаційних правил.

Рисунок 16 – Випробування при наднизьких температурах (до –55 °С). Якутськ, Нерюнгрі (Росія)

Рисунок 17 – Випробування при високих температурах (до +45 °С) і в умовах високогір'я (висота аеродромів до 4100 м). Гюмрі (Вірменія), Карші (Узбекистан), Іран, Ла-Паз (Болівія)

Проведений спільно ДП «АНТОНОВ», Сертифікаційними центрами, призначеними Авіарегістром МАК, і Авіаційною владою України комплекс сертифікаційних

робіт дозволив встановити та підтвердити відповідність літаків типу Ан-148-100 (моделі Ан-148-100А, Ан-148-100В, Ан-148-100Е) з маршовими двигунами Д-436-148, допоміжною силовою установкою АИ-450-МС та їх експлуатаційною документацією вимогам Сертифікаційного базису СБ-148 у межах експлуатаційних обмежень, обумовлених в експлуатаційній документації літака, що підтверджено Сертифікатами Державіаадміністрації України № ТЛ 0036 та Авіарегістра Міждержавного Авіаційного Комітету № СТ264-Ан-148 (рисунок 18).

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ
INTERSTATE AVIATION COMMITTEE

АВИАЦИОННЫЙ РЕГИСТР
AVIATION REGISTER

СЕРТИФИКАТ ТИПА
TYPE CERTIFICATE

№ СТ264-Ан-148

ИЗДЕЛИЕ — Самолет Ан-148-100
Модели Ан-148-100А, Ан-148-100В, Ан-148-100Е

ГОСУДАРСТВО РАЗРАБОТЧИКА — Украина

НАСТОЯЩИЙ СЕРТИФИКАТ, ВЫДАННЫЙ — ГП "АНТОНОВ", г. Киев, Украина

УДОСТОВЕРЯЕТ, ЧТО ТИПОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ УКАЗАННОГО ИЗДЕЛИЯ СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ РАСПРОСТРАНЯЕМОГО НА НЕГО СЕРТИФИКАЦИОННОГО БАЗИСА на основе Авиационных правил Часть 25 (АП-25) с Поправкой 5

ОПИСАНИЕ ТИПОВОЙ КОНСТРУКЦИИ И СЕРТИФИКАЦИОННОГО БАЗИСА, ОСНОВНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ, ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗДЕЛИЯ И ПЕРЕЧЕНЬ МОДЕЛЕЙ, НА КОТОРЫЕ РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ ДЕЙСТВИЕ ДАННОГО СЕРТИФИКАТА, СОДЕРЖАТСЯ В КАРТЕ ДАННЫХ, КОТОРАЯ ЯВЛЯЕТСЯ НЕОТЪЕМЛЕМОЙ ЧАСТЬЮ НАСТОЯЩЕГО СЕРТИФИКАТА

ДАТА И МЕСТО ВЫДАЧИ
01 апреля 2010г
г. Москва

Дата первоначальной выдачи
26 февраля 2007г

А.В. Дончено
ПОДПИСЬ

ДОЛЖНОСТЬ

Рисунок18 – Сертифікат Авіарегістра Міждержавного Авіаційного Комітету № СТ264-Ан-148

Основні наукові результати, наведені у четвертому розділі, опубліковано у працях автора [2, 4, 9].

ВИСНОВКИ

Основний науковий результат роботи – вирішення важливої науково-прикладної задачі, яка полягає в розробленні наукових основ створення сучасних реактивних регіональних пасажирських літаків.

Відповідно до поставленої мети та завдань в дисертації отримано такі результати:

1. Вперше при створенні й впровадженні до експлуатації сімейства літаків Ан-148-100/Ан-158 в Україні проведено великий комплекс науково-технічних розрахункових і проектно-конструкторських робіт із застосуванням знов розробленої інтегрованої автоматизованої системи проектування у тривимірному просторі, а також виконані необхідні експериментальні дослідження, наземні та льотні випробування.

2. Удосконалено методи проектування регіонального пасажирського літака шляхом вибору оптимальних аеродинамічних, конструктивно-силових і об'ємно-масових компонувань, параметрів і профілювання крила, параметрів поперечного перерізу фюзеляжу, льотно-технічних характеристик (ЛТХ), злітно-посадкових характеристик (ЗПХ), двигуна, обладнання й систем.

3. Розроблено аеродинамічне компонування, що не має аналогів у світовій практиці авіабудування, що дозволило створити регіональний пасажирський літак-високоплан зі швидкістю польоту до 870 км/год (M = 0,8).

4. Удосконалено методи розрахунку характеристик загального та локального напружено-деформованого стану, міцності й ресурсу літака за допомогою систем CAD\CAM\CAE.

5. На літаках Ан-148/Ан-158 замість додаткових гідравлічних систем для живлення силових приводів («бустерів») основних поверхонь керування використовується енергія двох централізованих електричних систем змінного струму (схема енергокомплексу «2Н/2Е»).

6. Створено сімейство конкурентоспроможних високоекономічних реактивних регіональних пасажирських літаків нового покоління Ан-148-100/Ан-158, які за своїми техніко-експлуатаційними характеристиками знаходяться на рівні кращих сучасних зарубіжних аналогів, а за рівнем комфорту для пасажирів не поступаються магістральним пасажирським літакам більшої розмірності.

7. Створено єдиний у світі сучасний регіональний реактивний літак, що може працювати з ґрунтових аеродромів.

8. Розроблення, виробництво й впровадження в експлуатацію сімейства літаків Ан-148-100/Ан-158 дозволили створити робочі місця в Україні в кількості більш ніж 14 000 чоловік.

9. Впровадження результатів роботи забезпечило створення на ДП «АНТОНОВ» нового покоління сімейства реактивних регіональних пасажирських літаків, а в Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» підвищення якості навчального процесу при підготовці фахівців авіаційної галузі.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Розділ монографії

1. Donets O. D. Scientific Grounds of Structural and Production Concepts to Provide Aircraft Life Time [Text]: Monography / V. O. Boguslayev, S. A. Bychkov, O. G. Grebenikov, M. I. Moskalenko, A. M. Gumenniy, E. T. Vasilevskiy, A. P. Eretin, O. D. Donets, V. F. Sementsov, V. O. Grebenikov, O. M. Stoliarchuk. – Kharkiv: Nat. Aerospace Univ. «KhAI», 2019. – 266 pages.

Статті у наукових фахових виданнях України

2. Особливості льотних випробувань регіонального пасажирського літака [Текст] / О. Д. Донець // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т». – Харьков, 2018. – Вып. 3 (95). – С. 40 – 50.

3. Конструктивно-технологічні рішення забезпечення статичної міцності та ресурсу регіональних пасажирських літаків [Текст] / О. Д. Донець, О. І. Семенець, Є. Т. Василевський, О. Г. Гребеніков, А. М. Гуменний // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2018. – Вып. 82. – С. 4 – 26.

4. Особливості сертифікації регіональних пасажирських літаків Ан-148 та Ан-158 [Текст] / О. Д. Донець // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т».– Харьков, 2018. – Вып. 4 (96). – С. 56 – 69.

5. Проектно-конструкторські особливості планеру регіонального пасажирського літака [Текст] / О. Д. Донець, О. З. Двейрін, Є. Т. Василевський, С. А. Філь, О. Г. Гребеніков, А. М. Гуменний // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2019. – Вып. 83. – С. 4 – 27.

6. Особливості забезпечення аеродинамічних характеристик регіонального пасажирського літака [Текст] / О. Д. Донець, В. О. Кудрявцев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2019. – Вып. 83. – С. 106 – 133.

7. Концепція створення системи керування польотом регіональних пасажирських літаків Ан-148 та Ан-158 [Текст] / О. Д. Донець // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т». – Харьков, 2019. – Вып. 1 (97). – С. 54–69.

8. Концепція створення силової установки сімейства регіональних пасажирських літаків Ан-148/Ан-158 [Текст] / О. Д. Донець, В. П. Іщук // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2019. – Вып. 84. – С. 50 – 63.

9. Особливості серійного виробництва регіональних пасажирських літаків Ан-148 та Ан-158 [Текст] / С. А. Бичков, О. Д. Донець, В. Г. Читак // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2019. – Вып. 84. – С. 125 – 143.

10. Метод загального проектування регіональних пасажирських літаків [Текст] / О. Г. Гребеніков, О. Д. Донець, С. В. Трубаєв, А. С. Чумак // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2019. – Вып. 85. – С. 4 – 31.

Патенти

11. Пат. на корисну модель № 133624 Україна, МПК B21D 26/08 (2006.01). Пристрій для формоутворення великогабаритної деталі із заготовки з листового матеріалу або з пресованої панелі / Донець О. Д., Лупкін Б. В., Бичков С. А., Корольков Ю. Я.; заявник та патентовласник Донець О. Д., Лупкін Б. В., Бичков С. А., Корольков Ю. Я. – № u 2018 12169; заявл. 10.12.2018; опубл. 10.04.2019, Бюл. № 7.

12. Пат. на корисну модель № 135064 Україна, МПК B21D 26/08 (2006.01). Пристрій для формоутворення великогабаритної деталі із заготовки з листового матеріалу або з пресованої панелі / Донець О. Д., Лупкін Б. В., Бичков С. А., Корольков Ю. Я.; заявник та патентовласник Донець О. Д., Лупкін Б. В., Бичков С. А., Корольков Ю. Я. – № u 2019 00680; заявл. 23.01.2019; опубл. 10.06.2019, Бюл. № 11.

Тези в матеріалах вітчизняних і міжнародних конференцій

13. Конструктивно-технологічні рішення забезпечення статичної міцності та ресурсу регіональних пасажирських літаків [Текст] / О. Д. Донець, О. І. Семенець, Є. Т. Василевський, О. Г. Гребеніков, А. М. Гуменний // Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки» : тези доп., 23 – 24 квітня 2019 р. / М-во освіти і науки ; Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т». – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – С. 20.

14. Особливості льотних випробувань регіонального пасажирського літака [Текст] / О. Д. Донець // Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки» : тези доп., 23 – 24 квітня 2019 р. / М-во освіти і науки ; Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т». – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – С. 21.

АНОТАЦІЯ

Донець О. Д. **Наукові основи створення сучасних реактивних регіональних пасажирських літаків**. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.02 - Проектування, виробництво та випробування літальних апаратів. – Національний авіаційний університет, Київ, 2019.

Дисертаційну роботу присвячено розробленню наукових основ створення сучасного реактивного регіонального літака нового покоління на 75 – 85 пасажирів.

Розроблено концепції та наукові основи методології інтегрованого проектування сімейства регіональних пасажирських літаків, включаючи концепцію, принципи та методи інтегрованого проектування; концепцію створення силової установки; концепцію створення системи керування польотом.

Наведено ряд нових конструктивно-технологічних рішень при створенні планера сімейства літаків Ан-148-100/Ан-158. Розроблено аеродинамічне компонування, що дозволило створити сімейство літаків-високопланів зі швидкістю польоту до 870 км/год ІШ (М = 0,8) та значенням аеродинамічної якості на крейсерському режимі польоту $K_{крейс} = 15,8$. Розроблено нові конструктивно-технологічні рішення забезпечення статичної міцності та ресурсу регіональних пасажирських літаків.

Реалізація розроблених наукових основ і методів інтегрованого проектування дозволила організувати виробництво літаків Ан-148-100 та Ан-158. Відпрацьовано й впроваджено нові технологічні процеси та обладнання, у тому числі лазерний контрольно-вимірювальний комплекс для контролю стапелів. Проектування оснащення виконано із застосуванням ЕОМ і тривимірних електронних математичних моделей елементів літака.

Наведено результати комплексу робіт із забезпечення льотної придатності та сертифікації сімейства регіональних пасажирських літаків.

Ключові слова: літак, регіональний пасажирський літак, метод інтегрованого проектування, концепція, конструктивно-технологічний метод, статична міцність, ресурс, аеродинамічні характеристики, аеродинамічне компонування, сертифікація, льотна придатність, авіаційні правила.

АННОТАЦИЯ

Донец А. Д. **Научные основы создания современных реактивных региональных пассажирских самолетов**. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 - Проектирование, производство и испытание летательных аппаратов. – Национальный авиационный университет, Киев, 2019.

Диссертационная работа посвящена разработке научных основ создания современного реактивного регионального самолета нового поколения на 75 – 85 пассажиров, что было обусловлено потребностью рынка пассажирских авиаперевозок, прежде всего в странах СНГ, вызванной прекращением полетов парка морально и физически устаревших самолетов Ту-134 в результате нерентабельности их эксплуатации, а также несоответствием их характеристик все более жестким требованиям Авиационных правил по шуму и эмиссии.

Разработаны концепции и научные основы методологии интегрированного проектирования семейства региональных пассажирских самолетов, включая концепцию, принципы и методы интегрированного проектирования региональных пассажирских самолетов; концепцию создания силовой установки; концепцию создания системы управления полетом региональных пассажирских самолетов.

В работе приведен ряд разработанных конструктивно-технологических решений, которые применены при создании планера семейства самолетов Ан-148-100/ Ан-158 (фюзеляж, крыло, пилоны навески силовых установок и оперения).

Приведены особенности обеспечения аэродинамических характеристик регио-

нального пассажирского самолета. Разработана аэродинамическая компоновка, которая позволила создать семейство региональных пассажирских самолетов-высокопланов со скоростью полета до 870 км/ч ИС (М = 0,8), которое не имеет аналогов в мировой практике авиастроения. Значение аэродинамического качества самолета на крейсерском режиме полета составляет $K_{крейс}$ = 15,8, что соответствует мировому уровню.

Разработанные новые конструктивно-технологические решения обеспечения статической прочности и ресурса региональных пассажирских самолетов позволили достичь при отработке проектного ресурса и срока службы 80000 летных часов, 60000 полетов для модели Ан-148-100А, 40000 полетов для модели Ан-148-100В, 30000 полетов для Ан-148-100Е, 50000 полетов для Ан-158, 30 лет по условиям прочности конструкции при длительной эксплуатации.

Реализация разработанных научных основ и методов интегрированного проектирования позволила организовать производство самолетов Ан-148-100 и Ан-158 в соответствии с требованиями «Руководства 21.2С по сертификации и надзору за производством авиационной техники», «Руководства 21.2D процедуры сертификации и контроля за производством изделий гражданской авиационной техники», стандартов ISO9001-2009 и EN9100 «Системы менеджмента качества. Требования».

Выработаны и внедрены новые технологические процессы изготовления деталей и узлов на станках с числовым программным управлением. Освоено и внедрено новое оборудование и технологические процессы сварки. Проектирование технологической оснастки выполняли с применением ЭВМ и трехмерных электронных математических моделей элементов самолета, что позволило обеспечить привязку оснащения по единому источнику с минимальным использованием эталонов и калибров, сократить цикл проектных работ и уменьшить трудоемкость изготовления и монтажа оснастки. Для контроля стапелей использован лазерный контрольно-измерительный комплекс, обеспечивающий высокую точность измерений и возможность сравнения полученных данных с математической моделью.

Представлены результаты выполненного комплекса работ по обеспечению летной годности самолетов семейства Ан-148-100/Ан-158, что обеспечивает их безопасную эксплуатацию в полном соответствии с требованиями Авиационных правил.

Приведены результаты сертификационных работ, проведенных совместно ГП «АНТОНОВ», Сертификационными центрами, назначенными Авиарегистром МАК, и Авиационной властью Украины, по установлению и подтверждению соответствия самолетов типа Ан-148-100 (модели Ан-148-100А, Ан-148-100В, Ан-148-100Е) с маршевыми двигателями Д-436-148, вспомогательной силовой установкой АИ-450-МС и их эксплуатационной документацией требованиям Сертификационного базиса СБ-148 в пределах эксплуатационных ограничений, оговоренных в эксплуатационной документации самолета.

Ключевые слова: самолет, региональный пассажирский самолет, метод интегрированного проектирования, концепция, конструктивно-технологический метод, статическая прочность, ресурс, аэродинамические характеристики, аэродинамические компоновки, сертификация, летная годность, авиационные правила.

ABSTRACT

Donets O. D. **Scientific Basis for Development of Modern Jet Regional Passenger Aircraft.** – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.07.02 – Design, Manufacture and Testing of aircraft.– National Aviation University, Kyiv, 2019.

The Thesis is devoted to the development of the scientific foundations of creating a modern new-generation regional jet aircraft for 75 – 85 passengers.

The concept and scientific basis of the integrated design methodology for a family of regional passenger aircraft have been developed including the following: the concept, principles and methods of integrated design; the concept of development of a power plant; the concept of development of a flight control system.

The paper presents a number of developed structural and technological solutions that were used to create the airframe of the An-148-100/An-158 aircraft family. The developed aerodynamic configuration made it possible to create a family of high-wing aircraft with a flight speed of up to 870 km/h (M = 0.8) and the aircraft lift-to-drag ratio in cruise flight K_{cruis} = 15.8. New design and technological solutions to ensure the static strength and lifetime of regional passenger aircraft have been developed.

The implementation of the developed scientific foundations and methods of integrated design made it possible to organize production of An-148-100 and An-158 aircraft. New technological processes and equipment have been developed and introduced including laser control and measuring complex to control the holding frames. The tooling design was developed using computers and three-dimensional electronic mathematical models of the aircraft elements.

The results of a set of works on ensuring of airworthiness and certification of regional passenger aircraft family were presented.

Keywords: aircraft, passenger jet aircraft, integrated design method, concept, structural method, static strength, lifetime, aerodynamic characteristics, aerodynamic configuration, certification, airworthiness, aviation regulations.

Підписано до друку 05.11.2019 р.
Формат 60 × 84/16. Папір офсетний. Офс. друк.
Ум. друк. арк. 1,08. Наклад 100 прим. Замовлення № 3660

Віддруковано: Державне підприємство «АНТОНОВ»
1, вул. Академіка Туполєва, м. Київ, 03062, Україна
E-mail: press@antonov.com