

✓ Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного авіаційного університету
доктору технічних наук, професору
Авер'яновій Юлії Анатоліївні

Відгук

доктора технічних наук, професора, професора кафедри електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей Національного авіаційного університету

Уланського Володимира Васильовича

на дисертацію

Окоро Онієдікачі Чіома

«Оптимізація процесів технічного обслуговування для підтримання льотної придатності повітряних суден в Нігерії», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 272 «Авіаційний транспорт», галузі 27 «Транспорт»

Актуальність теми дисертаційної роботи

Етап експлуатації життєвого циклу літака є найбільш витратним. Його вартість становить у 10-20 разів більше, ніж витрати на етапи проектування та виробництва. Наприклад, у Нігерії, всупереч значному зросту внутрішніх та міжнародних пасажирських перевезень, щорічні темпи зростання витрат на технічне обслуговування (ТО) залишаються високими. Витрати на ТО повітряних суден (ПС) залишаються значно вищими, ніж у середньому по світу.

Експлуатанти ПС у Західній Африці витрачають 75% від прогнозованих щорічних витрат в один мільярд доларів на ТО. Це обґрунтовує необхідність відмовитися від традиційних методів ТО, які мають коригувальний чи превентивний характер, і перейти до стратегій ТО, що ґрунтуються на технічному стані та контролі надійності на основі статистичних даних.

Дослідження свідчать, що алгоритми статистичної обробки даних можуть бути використані для підвищення ефективності польотів ПС, враховуючи діагностичні змінні та параметри надійності в вихідних даних. Ці алгоритми можуть бути розроблені з використанням статистичних даних, зібраних на етапі експлуатації ПС, які надають велику кількість даних у реальному часі. Отже, тема дисертаційної роботи є вкрай актуальною.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота пов'язана зі стратегією Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) на період до 2025 р., від 25 липня 2022 р. Тема роботи безпосередньо пов'язана з науковими дослідженнями, які проводяться на кафедрі підтримання льотної придатності повітряних суден Національного авіаційного університету. Тема дисертації відповідає за спеціальністю 272 «Авіаційний транспорт» галузі знань 27 «Транспорт» в Національному авіаційному університеті (зокрема, ОК 1.3.5, ОК 1.5.1 та ОК 1.5.2).

Наукова новизна

У результаті проведеного дисертаційного дослідження отримано такі нові наукові результати:

Уперше:

- розроблено моделі статистичного моделювання для аналізу надійності, які можна застосовувати як до об'ємних, так і до обмежених наборів даних щодо ПС. Отримані показники надійності можуть покращити структуру ТО, орієнтовану на забезпечення надійності та контроль технічного стану;

- розроблено сегментовані регресійні моделі для прогнозування льотної години, коли компонент, підсистема або система ПС вийде з ладу. Це важливо, оскільки неточні прогнози щодо ТО та стратегій конфігурації можуть призвести до несвоєчасної підтримки, затримок у виконанні рейсів або простою ПС на землі;

- визначено оптимальний інтервал виконання завдань з ТО ПС, використовуючи середні експлуатаційні витрати як метрику ефективності. Модель розроблена на основі щільності ймовірності надійності та вартості превентивного (ПТО) і коригувального (КТО) технічного обслуговування ПС. Наявні оптимальні моделі ТО використовують рівень витрат на ТО як критерій оптимізації, але не приділяють уваги показникам надійності. Зниження рівня витрат на ТО системи вказує на оптимізацію показників надійності системи з точки зору витрат, особливо для складних багатокомпонентних систем. Мінімізація витрат на ТО іноді пов'язана зі зниженням показників надійності системи. Це виникає через наявність в системі різних компонентів, які можуть мати різні витрати на ТО та різний вплив на функціонування системи. Це стало основою розробки даної моделі.

Отримали подальший розвиток:

- розроблено модель, яка враховує історичну тенденцію відмов компонентів та параметри надійності для прогнозування запасів запасних частин. Це надзвичайно важливо для експлуатації в країнах, таких як Нігерія, де перелік виробників оригінального обладнання та запасних частин обмежений. Крім того, характеристики запасних частин з часом погіршуються при зберіганні в гарячому, теплому та навіть холодному резерві. Вони також можуть раптово вийти з ладу через вплив зовнішніх чинників та деградацію, внаслідок недосконалого зберігання (відмова в зберіганні).

- розроблена методологія, яка поєднує параметри надійності, прогнозування відмов, вартість і прогноз запасів запасних частин, з метою оптимізації процесів ТО ПС для підтримання льотної придатності. Це особливо важливо для реалізації стратегій, запропонованих у цьому дослідженні, у якості єдиної основи замість наявних автономних моделей, що тягнуть за собою тривале планування та зайві витрати. Крім того, цей підхід, що базується на аналізі статистичних даних, є більш ефективною альтернативою моделюванню на основі фізичних процесів. Отримані статистичні дані доцільно використовувати під час розробки методів прогнозування технічного стану повітряних суден.

- розроблена методологія, яка поєднує параметри надійності, прогнозування відмов, вартість і прогноз запасів запасних частин з метою оптимізації процесів ТО ПС для забезпечення їх льотної придатності. Це особливо важливо для впровадження стратегій, запропонованих у даному дослідженні, як єдиного фундаменту замість чинних автономних моделей, які призводять до тривалого планування та додаткових витрат. Крім того, такий підхід, заснований на аналізі статистичних даних, є більш ефективною альтернативою моделюванню на основі фізичних процесів. Отримані статистичні дані є доцільним використанням при розробці методів прогнозування технічного стану повітряних суден.

Практична значущість включає

– метод аналізу надійності для набору даних менш як 35. Це важливо, оскільки при малих обсягах даних можуть виникати значні довірчі інтервали при великому загальному нальоті, що може призвести до зниження статистичної надійності. Одним з ключових недоліків використання невеликих наборів даних є відсутність стабільності з точки зору статистики. Запропонована методика базується на рівнянні Казакавічуса, де інтенсивність відмов визначається за допомогою ймовірності безвідмовної роботи;

– метод прогнозування льотної години, при якому відбудеться відмова компонента, підсистеми, системи та конструкції ПС. Це важливо, оскільки неточні прогнози з області ТО та стратегій конфігурації можуть призвести до несвоєчасної підтримки, затримок у рейсах або простоїв.

– метод визначення оптимального інтервалу ТО ПС, використовуючи середні експлуатаційні витрати як критерій ефективності. Запропонована модель ґрунтується на моделі Ерланга та враховує як вартість обслуговування, так і надійність. Це дозволяє отримати кількісну оцінку витрат на КТО та ПТО, враховуючи переваги кожного, для досягнення оптимального балансу між ними;

– метод прогнозування запасів авіаційних запчастин для не ремонтнопридатних виробів, які мають експоненційно розподілений час між відмовами. Кількість необхідних запасних частин розраховується на основі заданої ймовірності безвідмовної роботи та оціненого значення інтенсивності відмов, отриманого при аналізі фактичних статистичних даних. Це має велике значення, оскільки зайві запаси запчастин можуть викликати значні витрати на утримання та ускладнювати управління коштами. Навпаки, недостатність запасних частин може вести до дороговартісних затримок або навіть скасування рейсів, негативно впливаючи на ефективність авіакомпанії.

– проста та розширювана чотириступінчаста методологія, що об'єднує всі запропоновані підходи до складних процесів ТО ПС. Ця методологія розглядає теоретичні основи ТО літаків, зосереджуючись на продуктивності, і враховує експлуатаційні характеристики та стан компонентів, підсистем, систем і конструкцій ПС.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Дослідження, представлене у дисертації, охоплює широкий спектр науково-технічних завдань і відрізняється своєю глибиною і комплексністю. Автор систематично та обґрунтовано розглянув пропозиції, які висловлені у дисертаційному дослідженні. Робота відзначається логічністю та структурованістю матеріалу, а поставлені завдання чітко сформульовані. Їх вирішення повністю обґрунтоване та ґрунтується на правильному використанні математичного апарату, включаючи широкий обсяг числових розрахунків за допомогою наукових методів аналізу. Це забезпечує високий рівень наукової обґрунтованості висловлених у дисертаційній роботі положень.

Характеристика основних положень роботи

Оформленням та викладенням матеріалів дослідження дисертаційної роботи є стандартним для робіт на отримання наукового ступеня доктора філософії. Викладення матеріалу дослідження починається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків та рекомендацій і закінчується наведенням списку використаних джерел та додатків. Список використаних джерел складає 174 найменувань і займає 19 сторінок. Обсяг роботи складає 191 сторінку, що відповідає вимогам.

У вступі обґрунтована актуальність дисертації, сформульовані мета та основні завдання дослідження, надана інформація про зв'язок дослідження з науковими програмами та темами. Також висвітлено наукову новизну та практичну значущість дослідження, відзначено внесок автора у спільні публікації, описано апробацію результатів дисертаційної роботи, а також наведено структуру та обсяг самої дисертації.

У першому розділі дається огляд ТО ПС в Нігерії, поглиблений аналіз наявних моделей оптимізації ТО ПС і простий чисельний аналіз надійності ПС, що експлуатуються в Нігерії.

У другому розділі розглядаються моделі та алгоритми оптимізації ТО ПС, використовуючи принципи теорії надійності, прогнозувальної аналітики, регресії, машинного навчання, теорії ймовірностей та статистики. Розроблені моделі для аналізу надійності компонентів, підсистем, систем та конструкцій ПС визначають характеристики надійності систем для оптимізації ТО. Ці моделі можна застосовувати для покращення наявних систем ТО, орієнтованих на надійність, незалежно від обсягу набору даних. Також були розроблені моделі сегментованої регресії для прогнозування виникнення несправностей чи відмов. У зв'язку з тим, що компоненти та системи піддаються зносу, важливо проводити ТО, що призводить до збільшення експлуатаційних витрат. Таким чином, необхідний оптимальний інтервал, який забезпечує баланс між частотою проведення ТО та інтенсивністю відмов. У цьому розділі були розроблені моделі для визначення оптимального інтервалу технічного обслуговування. Ця модель також дає кількісну оцінку витрат та економії на ТО для досягнення оптимального балансу між цими параметрами. Прогнозування попиту на запасні частини може бути складним завданням через його стохастичний характер. Однак, маючи знання про розвиток тенденцій та розподіл відмов, можна приймати оптимальні рішення. У цьому дослідженні розроблено моделі, які забезпечують ефективне управління запасами запасних частин для забезпечення ефективного ТО. Пропоновані моделі фокусуються на взаємодії між інтенсивністю відмов та наявністю запасних частин.

У третьому розділі було проведено перевірку моделей, розроблених у другому розділі, використовуючи дані про щоденну експлуатацію ПС в Нігерії. Всі моделі були ретельно оцінені з точки зору їх достатньої (ефективної) відповідності. Для підтвердження застосування цих моделей був використаний імітаційний аналіз з використанням методу Монте-Карло. Отримані результати збігаються з аналітичними результатами, представленими у другому розділі.

У четвертому розділі представлена проста та розширювана чотириетапна методологія, яка об'єднує підходи до аналізу надійності систем та конструкцій ПС, прогнозування несправностей/відмов систем, оптимізації інтервалу ТО ПС за допомогою середньої експлуатаційної вартості як міри ефективності, а також прогнозу запасу запасних частин з метою оптимізації процесів ТО ПС. Розробка цієї методології обумовлена тим, що різні автономні втручання можуть збільшити загальний час простою. Запропонована методологія виступає як основа для майбутніх розширень, перевірок та впроваджень. Її унікальність полягає в тому, що, хоча більшість досліджень зосереджена на окремих компонентах або системах, запропонована методологія розглядає всі компоненти і системи ПС в рамках єдиної структури. Цей підхід, заснований на даних, виявляється більш економічним у порівнянні із моделюванням на основі фізичних процесів і може бути застосований для розробки системи прогнозування стану ПС. Крім того, цей підхід може бути корисним при розв'язанні проблем оптимізації ТО на етапі проектування життєвого циклу ПС.

Висновки містять основні наукові результати дисертаційної роботи, які засвідчують вирішення сформульованого комплексу науково-технічних завдань у повному обсязі.

У *додатках* містяться акти впровадження результатів дисертаційної роботи та програмні коди.

Отже, зміст дисертаційного дослідження відповідає її назві. Структура дисертації відповідає прийнятим для наукового дослідження вимогам. Усі положення, які винесені на захист, висвітлені в тексті дисертації та відповідають спеціальності 272 «Авіаційний транспорт».

Повнота викладення матеріалів дисертації у роботах, які опубліковані автором

Основні результати опубліковані в 17 наукових працях. При цьому 6 статей видані в періодичних наукових виданнях, з яких 3 проіндексовані міжнародною наукометричною базою даних. Серед публікацій 2 наукові роботи написані дисертантом особисто, інші – у співавторстві. Окрім того, отримані результати були представлені в 8 публікаціях у матеріалах міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференцій.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації

1. Для кривої «ванни» на рис. 1.16 і рис. 1.17 показана тільки динаміка сумарної інтенсивності відмов. Було б цікаво також зобразити цю динаміку окремо при спостереженні в польоті та при технічному обслуговуванні. Це дозволить краще зрозуміти різницю у змінах у всіх областях кривої «ванни».

2. У розділі 2.3.3 своєї дисертації (стор. 99-100), автор представив доказ того, що для систем з експоненційним розподілом часу до відмови не існує оптимального інтервалу для проведення профілактичного обслуговування. Важливо відзначити, що цей факт давно вже описаний у технічній літературі. Це пов'язано з постійною інтенсивністю відмов, що означає, що ймовірність відмови за одиницю часу залишається сталою, і відсутній віковий знос, оскільки відмови відбуваються випадковим чином.

3. Модель аналізу надійності з урахуванням невеликого набору даних було розроблено у главі 2. У розділі 3.3 ця модель була проаналізована з використанням реальних даних з однієї функціональної системи. Назва цієї системи не згадувалася. Враховуючи, що були проаналізовані різні дані про ПС, важливо знати, які функціональні системи ПС зазвичай генерують невеликий набір даних для моделі, яка запропонована в дисертації.

4. У розділі 3.6 не зовсім зрозуміло, чому рівень ймовірності безвідмовної роботи компоненти повітряних суден, повинен дорівнювати 0,95.

5. У параграфі 4 розділу 4.7 згадується: «Їх характеристики було продемонстровано за допомогою комплексного обчислювального експерименту з використанням реальних даних про літаки та гелікоптери, що працюють у Нігерії» - це явно не належить до даних про щоденні операції повітряних суден, що згадуються протягом всієї дисертації.

Висновок

Дисертаційна робота Огоро Онїєдікачі Чіома на тему «Оптимізація процесів технічного обслуговування для підтримання льотної придатності повітряних суден в Нігерії» є завершеним дослідженням, виконаним здобувачем самостійно на високому науковому рівні. Дисертаційна робота характеризується чіткістю змісту та містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, які мають наукову новизну, теоретичне та

Дисертаційна робота характеризується чіткістю змісту та містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, які мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення. Тема дисертації та її зміст відповідають спеціальності 272 «Авіаційний транспорт» та вимогам «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах)», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (зі змінами і доповненнями від 3 квітня 2019 року № 283), вимогам пп. 6, 7, 8 та 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а отже, автор дисертаційної роботи, **Окоро Онієдікачі Чіома**, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 272 «Авіаційний транспорт», галузі 27- «Транспорт».

Рецензент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри електроніки,
робототехніки і технологій моніторингу
та інтернету речей
Національного авіаційного університету

Володимир УЛАНСЬКИЙ



13 листопада 2023 р.