

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

ВІДГУК

офіційного опонента начальника науково-дослідного управління експлуатації військової авіаційної техніки Державного науково-дослідного інституту авіації Міністерства оборони України, кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника Бологіна Андрія Сергійовича на дисертацію

ОКОРО ОНІЄДКАЧІ ЧІОМА

на тему: *«Оптимізація процесів технічного обслуговування для підтримання льотної придатності повітряних суден в Нігерії»*, подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 272 – «Авіаційний транспорт», галузі знань 27 – «Транспорт».

Актуальність теми. Дана робота присвячена розробці теоретичних та практичних засад щодо підвищення економічності та ефективності експлуатації повітряних суден (ПС) з точки зору їх технічного обслуговування (ТО) з використанням досвіду у Нігерії.

В процесі експлуатації ПС у Західній Африці експлуатанти витрачають на технічне обслуговування 75% від прогнозованих щорічних витрат. При цьому витратна сума може сягати одного мільярду доларів. Це виправдовує необхідність відійти від традиційних дій з технічного обслуговування, які мають коригуючий чи превентивний характер. Дослідження показують, що алгоритми статистичної обробки даних можуть бути використані для підвищення ефективності польотів ПС з урахуванням діагностичних змінних та параметрів надійності у якості вихідних даних. Ці алгоритми можуть бути розроблені з використанням статистичних даних, отриманих на етапі експлуатації життєвого циклу ПС, які дозволяють оцінювати час виникнення можливої відмови з метою прогнозування його технічного стану.

В роботі розглянуто результати дослідження існуючої стратегії ТО ПС на прикладі авіакомпанії Нігерії; розроблені математичні моделі, які можна впровадити для покращення стратегій ТО за технічним станом з контролем рівня надійності. Також, розроблено математичні моделі для визначення оптимального інтервалу виконання завдань при ТО ПС та математичну модель прогнозу потрібної номенклатури та кількості запасних частин. Розроблені моделі спрямовані на підвищення коефіцієнту готовності компонентів та функціональних систем ПС, скорочення часу простоїв ПС та підвищення рівня безпеки польотів. Робота орієнтована на коригування стратегій і програм ТО, зокрема, в авіакомпаніях Нігерії.

Зміст роботи

У першому розділі автором дається огляд технічного обслуговування ПС в Нігерії, поглиблений аналіз існуючих моделей оптимізації ТО ПС і простий чисельний аналіз надійності ПС, що експлуатуються в Нігерії. Розглянуто міжнародні нормативні документи, які регулюють експлуатацію цивільних повітряних суден (рекомендована практика SARPs ІКАО), в тому числі, нормативні вимоги до підтримання льотної придатності ПС у Нігерії (NigCARs). Виконано аналіз методів, заснованих на аспектах процесів ТО ПС, а саме: планування, складання графіків, розподіл завдань ТО, маршрутизація ТО ПС, запас запасних частин, управління персоналом і навичками, використання авіаційних прогностичних даних та даних управління технічні станом, а також моделі надійності. Зроблено висновок, що недостатньо уваги приділяється розробці моделей, що поєднують використання моделей теорії надійності, машинного навчання, прогностичної аналітики, регресійних моделей, теорій імовірнісних та статистичних для оптимізації ПС.

Другий розділ присвячений розробці моделей та алгоритмів оптимізації ТО ПС з використанням принципів теорії надійності, прогностичної аналітики, регресії, машинного навчання, теорії ймовірностей та статистики.

Моделі, розроблені для аналізу надійності компонентів, підсистем, систем та конструкцій ПС, визначають характеристику надійності систем ПС для оптимізації ТО ПС. Їх можна застосовувати для поліпшення існуючих систем ТО, орієнтованих на надійність, незалежно від обсягу набору даних.

До того ж, розроблені моделі сегментованої регресії для прогнозування виникнення несправностей/відмов. Оскільки компоненти та системи ПС зношуються, вкрай важливо проводити ТО, що у свою чергу збільшує експлуатаційні витрати. Для цього тестуються три сегментовані (шматкові) регресійні моделі. Сегментовані регресійні моделі є альтернативним варіантом апроксимації емпіричних кривих. Їх використання в експлуатації ПС дозволяє підвищити коректність розрахунку граничних значень ймовірності виникнення відмов компоненти, підсистеми, системи і конструкції ПС. Розглянуто моделі сегментованої регресії: модель квадратично-лінійної сегментованої регресії; модель лінійно-лінійної сегментованої регресії; модель квадратично-квадратичної сегментованої регресії.

У третьому розділі перевірено моделі, розроблені у другому розділі, з використанням даних щоденної експлуатації ПС у Нігерії. Для перевірки моделей отримано статистичні дані зі звітів пілотів та ТО трьох літаків MD-83 за період експлуатації чотирьох років. Моделювання виконано для 10000 ітерацій і щільність ймовірності побудовано на основі вихідних даних. Для цього дослідження проаналізовано функціональні системи, що найбільш відмовляють. Із отриманих щільностей розподілення ймовірностей проаналізовано такі параметри надійності як напрацювання на відмову, інтенсивність відмов, кількість відмов за 1000 годин. Критерій згоди χ^2 застосовано до математичних моделей для аналізу надійності (для набору даних >35), щоб перевірити, чи він підпорядковується експоненційному розподілу. Обчислене значення χ^2 менше порогового значення χ_{th}^2 ; звідси

приймається гіпотеза про експоненційний закон розподілу напрацювання на відмову систем та конструкцій літака з рівнем значущості, що дорівнює 0,05.

У четвертому розділі представлена проста і розширювана чотириступінчаста методологія, що поєднує підходи до аналізу надійності систем і конструкцій ПС, прогнозування несправностей/відмов систем ПС, оптимізації інтервалу завдань ТО ПС з використанням середньої експлуатаційної вартості, як міри ефективності та прогнозу запасу запасних частин з метою оптимізації процесів ТО ПС. Дану методологію розроблено, оскільки розрізнені автономні втручання можуть збільшити загальний час простою. Запропонована методологія закладає основу подальших розробок з погляду її майбутнього розширення, перевірки та впровадження. Її унікальність полягає в тому, що хоча більшість досліджень зосереджена на окремих компонентах або системах, запропонована методологія розглядає всі компоненти і системи ПС в єдиній структурі. Цей підхід, засновано на даних, що є більш економічною альтернативою моделюванню на основі фізичних процесів і може використовуватися для розробки системи прогнозування ПС. Крім того, даний підхід може бути корисним під час вирішення проблеми оптимізації ТО на етапі проектування життєвого циклу ПС.

Наукова новизна отриманих результатів:

У результаті проведеного дисертаційного дослідження отримано такі нові наукові результати:

уперше

- розроблено моделі статистичного моделювання для аналізу надійності, які можна застосовувати як до великих, так і для малих наборів даних про ПС. Отримані показники надійності можуть покращити структуру ТО, орієнтовану на надійність та технічний стан;

- розроблено сегментовані регресійні моделі для прогнозування льотної години, коли компонент, підсистема або система ПС вийде з ладу. Це важливо тому, що невірні прогнози ТО та стратегії конфігурації можуть призвести до несвоєчасної підтримки, затримок рейсів або перебування ПС на землі;

- визначено оптимальний інтервал виконання завдань по ТО ПС з використанням середніх експлуатаційних витрат, як міри ефективності. Модель розроблена на основі щільності ймовірності надійності та вартості превентивного і коригуючого ТО ПС. Зниження рівня витрат за ТО системи означає, що показники надійності системи оптимізуються з точки зору витрат, особливо щодо багатокomпонентних систем. Мінімальні витрати на ТО іноді пов'язані із зниженням показників надійності системи. Це один із результатів наявності в системі різних компонентів, які можуть мати різну вартість ТО та різну важливість для системи. Це стало основою розробки даної моделі.

отримали подальший розвиток

- розроблена модель, яка враховує історичну тенденцію відмов компонентів та параметри надійності для прогнозування запасів запасних частин. Це особливо важливо для експлуатації в таких країнах, як Нігерія, оскільки перелік виробників оригінального обладнання та складів запасних

частин обмежена. Окрім того, характеристики запасних частин згодом погіршуються у гарячому, теплому та навіть холодному резерві. Вони також можуть раптово вийти з ладу через зовнішні чинники та деградацію, в результаті недосконалого зберігання (відмова зберігання);

- 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 існуючих 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.

Практичне значення отриманих результатів.

Дослідження забезпечує науково-технічну основу для подальшої оптимізації процесів технічного обслуговування повітряних суден та підвищення ефективності їх експлуатації. Досягнуто наступних практичних результатів дослідження:

- метод аналізу надійності для набору даних < 35 – це важливо, бо невеликі набори даних дають великі довірчі інтервали при великому загальному нальоті, що передбачає нижчу статистичну надійність. Ключовим недоліком використання невеликого набору даних є відсутність статистичної стабільності. Запропонована методика заснована на рівнянні Казакавічуса: інтенсивність відмов визначається з використанням ймовірності безвідмовної роботи;

- метод прогнозування льотної години, при якому відбудеться відмова компонента, підсистеми, системи та конструкції ПС. Це важливо, тому що неправильні прогнози ТО та стратегії конфігурації можуть призвести до несвоєчасної підтримки, затримок рейсів або простоїв;

- метод визначення оптимального інтервалу ТО ПС з використанням середніх експлуатаційних витрат у якості міри ефективності. Пропонована модель заснована на моделі Ерланга і враховує вартість ТО та надійність. Це дає змогу визначити кількісну оцінку витрат на коригуюче та превентивне ТО для отримання оптимального балансу між ними;

- метод прогнозування запасів авіаційних запчастин для неремонтопридатних виробів та експоненційно розподіленого часу між відмовами. Кількість запасних частин розраховується відповідно з використанням необхідної ймовірності безвідмовної роботи та оцінного значення інтенсивності відмов, отриманого при аналізі реальних статистичних даних. Це важливо, тому що надлишкові запаси запасних частин призводять до високих витрат на утримання та перешкоджають руху коштів. Навпаки, брак запасних частин може призвести до дороговартісних затримок або скасування рейсів, що негативно впливає на продуктивність авіакомпанії;

– проста і розширювана чотириступінчаста методологія, що поєднує всі запропоновані методи складних процесів технічного обслуговування повітряних суден. Ця методологія розглядає теоретичну основу для технічного обслуговування літаків, орієнтуючись на продуктивність, за якої враховуються експлуатаційні характеристики та стан компоненти, підсистеми, системи та конструкції ПС.

Повнота викладення основних результатів дисертації

Дисертація Окоро Онієдікачі Чіома є самостійною науковою працею, в якій наведено теоретичні положення і висновки, власні ідеї та розробки автора, які дають змогу вирішити поставлені завдання. Усі висновки та практичні рекомендації, винесені на захист, розроблені дисертантом особисто. Найважливіші ідеї, висновки, рекомендації, отримані в дисертації, оприлюднені на наукових та науково-практичних конференціях, у тому числі міжнародних, всеукраїнських: *Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks* (Kyiv-Lviv, 2020), *Current Security Problems in Transport, Energy and Infrastructure* (Kherson, 2021), *Problems of Transportation Organization and Air Transport Management* (Kyiv, 2021), *Aviation in the XXI-st century - Safety in aviation and space technology* (Kyiv, 2022), *Condition-based Maintenance in Aerospace* (Delft (Netherlands), 2022), *Air Transport Research Society* (Antwerp, (Belgium), 2022), *The Future of Aircraft Maintenance – Performance, Professionalism and Pride* (Toronto, (Canada), 2022), *Sustainable Aviation* (Bangkok, (Thailand), 2023).

Основні результати дослідження відображено в опублікованих наукових працях, 17 наукових публікаціях, серед них 6 публікацій у виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази даних (Scopus), із яких 3 публікації у періодичних виданнях; 3 публікації у наукових фахових періодичних виданнях України; 8 тез доповідей на конференціях.

Таким чином, повноту публікацій змісту дисертації слід вважати достатньою.

Особистий внесок здобувача. Матеріали публікацій містять практично всі основні наукові результати, в яких висвітлена наукова новизна роботи, свідчать про досить повний особистий внесок здобувача в представлену до захисту роботу. Ці статті включають в себе нові підходи, концепції, принципи, математичні моделі та методики їх реалізації.

У колективних статтях ідеї, загальні підходи у вирішенні конкретних завдань належать здобувачу, або всім співавторам в рівних частках участі.

Зауваження по роботі

По змісту дисертації здається доцільним висловити ряд зауважень.

1. Гістограми на рисунках 1.10-1.14 відображують тільки наробіток на відмову в польоті, але діаграми наробітку на відмову, що спостерігаються під час технічного обслуговування, не наводяться. Було б цікаво узнати показники надійності відмов і несправностей, що спостерігаються під час технічного обслуговування.

2. Зрозуміло, чому у дослідженні використовується моделювання методом Монте-Карло. Однак, слід було би надати короткий огляд двох інших методів прогнозування надійності: а) методу моделювання ланцюгів Маркова і б) комбінованих методів класичного аналізу дерева відмов і блок-схеми надійності. Визначити їх переваги і недоліки.

3. Автор не дає чіткого пояснення, як формула 3.3, квадратично-квадратична сегментована регресія, може бути застосована в реальній експлуатації повітряних суден.

4. У розділі 3.5, на рис. 3.20 наведено три підходи до оптимізації інтервалу задач по технічному обслуговуванню повітряних суден, але не ясно, чи були всі вони реалізовані в запропонованій моделі.

5. В розділі 3.5 не ясно, чи були вхідні дані для визначення оптимального інтервалу технічного обслуговування повітряного судна визначені з реальних операцій повітряного судна або згенеровані випадковим чином.

6. В пункті 2 розділу 4.7 згадуються сучасні технології і методики реалізації запропонованої чотириступінчастої методики оптимізації процесів технічного обслуговування повітряних суден для підтримання льотної придатності, але не наводяться приклади таких технологій і методик.

Наведені зауваження суттєво не знижують значущості роботи.

Використання результатів дисертації.

Результати дисертаційної роботи апробовано і використано у навчальному процесі кафедри підтримання льотної придатності, аерокосмічного факультету шляхом використання результатів дослідження у курсі лекцій з дисципліни «Основи технічної діагностики» та впроваджено методику «Аналіз статистичних даних з надійності АТ» у дипломних роботах.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності і оформлення. Зміст дисертаційної роботи ОКРО ОНІЄДІКАЧІ ЧІОМА відповідає прийнятним вимогам, нормам і правилам.

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 191 сторінку, з них 51 рисунок, 18 таблиць, 2 додатки, список використаних джерел налічує 174 найменування.

Мета і завдання дослідження досягнуті у дисертаційній роботі в повному обсязі. Результати, що винесені до захисту, безумовно, мають наукову новизну і практичну цінність. Зміст дисертації відповідає її назві, всі положення, які винесені до захисту, висвітлені в тексті роботи. Дисертація в цілому написана

технічно грамотною, доступною мовою, оформлена згідно з чинними державними стандартами.

Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки.

Дисертація ОКОРО ОНІЕДІКАЧІ ЧІОМА є закінченою роботою, яка пов'язана з рішенням актуальної й важливої науково-прикладної задачі.

Дисертаційна робота відповідає спеціальності 272 – «Авіаційний транспорт». Зміст автореферату відповідає змісту дисертаційної роботи і в повній мірі відображає її основні положення і висновки.

Результати, викладені в дисертаційній роботі, відповідають вимогам пп. 6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії ...», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р № 44, а її автор ОКОРО ОНІЕДІКАЧІ ЧІОМА заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 272 – «Авіаційний транспорт», галузі знань 27 – «Транспорт».

Офіційний опонент

начальник науково-дослідного управління
експлуатації військової авіаційної техніки,
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник



Андрій БОЛОГІН

Підпис кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника
Бологіна Андрія Сергійовича засвідчую.

Начальник групи персоналу та стройової
Державного науково-дослідного інституту авіації



Олена ЧЕЧЕТ