

Відгук

офіційного опонента,

доктора технічних наук, професора

Петрашевського Олега Львовича

на дисертацію Рази Ахмеда

«Математичні моделі технічного обслуговування обладнання засобів транспорту»,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 - Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Актуальність теми дослідження. Сучасний ринок авіаційної техніки характеризується підвищенням вимог авіакомпаній до забезпечення експлуатаційної надійності обладнання повітряних суден. Повною мірою це відноситься до авіоніки. Системи сучасної авіоніки повинні задовольняти великій кількості вимог з безпеки, надійності, якості виконуваних функцій, габаритним розмірам, енергоспоживанню, масі і т. п. У відповідь на ці вимоги протягом останніх 40 років виробники запропонували спочатку федеративну архітектуру цифрової авіоніки, а потім інтегровану модульну архітектуру. Цифрові системи обох поколінь авіоніки обслуговуються до відмови, яка фіксується вбудованим засобом безперервного контролю в польоті. При цьому безпека польотів забезпечується резервуванням блоків систем авіоніки, а регулярність польотів підтримується на необхідному рівні за рахунок наявності достатньої кількості запасних блоків в обмінному фонді авіакомпанії. Незважаючи на безперервно зростаючу розрахункову надійність виробів авіоніки, витрати на її технічне обслуговування досягають близько 30% від вартості обслуговування повітряного судна. Однією з причин зростання вартості технічного обслуговування систем авіоніки є досить висока інтенсивність непідтверджених відмов, яка за закордонними даними становить понад 20% від усього потоку відмов для цивільної авіоніки і досягає близько 50% для військової авіоніки. Негативний вплив непідтверджених відмов на ефективність роботи авіакомпаній включає збільшення часу технічного обслуговування, порушення регулярності польотів і збільшення запасних блоків систем авіоніки, що в кінцевому підсумку призводить до збільшення вартості життєвого циклу систем авіоніки. Основною причиною непідтверджених відмов є перемерзовані



відмови систем авіоніки в польоті. Стратегія технічного обслуговування до відмови може виявитися неефективною при високій інтенсивності перемижених відмов, тому що традиційні наземні системи автоматизованого контролю не в змозі виявити перемижені відмови, і такі ж відмови можуть повторитися на одному з наступних рейсів. У зв'язку з цим виникають важливі науково-практичні завдання оцінки впливу перемижених відмов на вартість технічного обслуговування цифрових систем авіоніки й вибір такого варіанту обслуговування, при якому негативний вплив перемижених відмов буде мінімальним. Ці завдання можливо вирішити тільки при наявності відповідних математичних моделей.

Технічне обслуговування за станом широко використовується для стохастично деградуєчих технічних систем. Зростаючий інтерес до технічного обслуговування за станом проявляється у великій кількості стандартів і публікацій, пов'язаних з організаційними аспектами, математичними моделями та методами оптимізації. Так, економічний ефект від впровадження технічного обслуговування за станом для електричних батарей певного типу в департаменті оборони США складає більше одного мільярда доларів. Основним етапом цього обслуговування є моніторинг стану. При технічному обслуговуванні за станом оцінка параметрів стану системи здійснюється за допомогою безперервного моніторингу або періодичних перевірок. В останньому випадку, як указано в стандарті США ADS-79D-HDBK, виникає цілий ряд завдань по визначенню моментів проведення моніторингу стану, якщо вони не задані, і порогів превентивного обслуговування. Для успішного вирішення цих завдань також необхідні математичні моделі, які б адекватно описували процеси технічного обслуговування деградуєчих систем. Технічне обслуговування за станом буде ефективним, якщо це зменшить витрати на обслуговування або збільшить коефіцієнт готовності, а в разі відповідальних систем - збільшить безпеку.

У зв'язку з цим тема даної дисертаційної роботи, в якій розробляються математичні моделі технічного обслуговування цифрових систем авіоніки та деградуєчого обладнання засобів транспорту, є актуальною.

Зв'язок дисертаційної роботи з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, державними та галузевими науковими програмами. Дисертаційна робота пов'язана з науковими дослідженнями, які проводяться впродовж багатьох років у Національному авіаційному університеті з розробки нових методів, технологій і моделей технічного обслуговування цифрових систем авіоніки й обладнання засобів транспорту, що зазнає

деградації. Тема дисертаційної роботи відповідає Стратегічному плану розвитку авіаційного транспорту на період до 2020 року (Наказ Міністерства інфраструктури України від 21 грудня 2015 року № 546) в частині розвитку та оновлення інфраструктури та Стратегії розвитку вітчизняної авіаційної промисловості на період до 2020 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України № 1656–р від 27 грудня 2008 року) в частині заходів до прискорення інноваційного розвитку галузі та високих наукоємних технологій і створення та запровадження ефективної конкурентоспроможної системи розроблення, виробництва, продажу та післяпродажного обслуговування авіаційної техніки.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації. У першому розділі проведено аналіз сучасного стану технічного обслуговування цифрових систем авіоніки й обладнання засобів транспорту, що зазнає деградації.

Проаналізовані відомі математичні моделі технічного обслуговування цифрових систем авіоніки повітряних суден. Аналіз відомих моделей показав, що відсутні моделі для розрахунку показників ефективності технічного обслуговування безперервно контрольованих резервованих систем авіоніки на кінцевому й нескінченному інтервалах експлуатації для альтернативних варіантів технічного обслуговування, що відрізняються наявністю декількох рівнів обслуговування, які б враховували характеристики ремонтпридатності й безвідмовності по стійким та перемежованим відмовам. Крім того, відсутні моделі, що дозволяють оцінити доцільність використання засобів діагностики перемежованих відмов на різних рівнях обслуговування.

Проведено аналіз математичних моделей технічного обслуговування за станом. З аналізу випливає, що в переважній більшості опублікованих моделей передбачаються досконалі перевірки, за яких безпомилково визначається стан системи. У моделях технічного обслуговування за станом із недосконалими перевірками передбачається, що ймовірності помилкових рішень є константами й не залежать від часу та параметрів процесу деградації.

На підставі проведеного аналізу дисертантом сформульовано основні завдання досліджень: розробка математичних моделей технічного обслуговування цифрових систем авіоніки з урахуванням стійких і перемежованих відмов та моделей технічного обслуговування за станом обладнання засобів транспорту, що зазнає деградації.

У другому розділі розроблено модель технічного обслуговування систем авіоніки, що враховує переривчастий характер використання, періодичний характер оперативного обслуговування, безперервний характер контролю в польоті й можливість появи як стійких, так і перемежованих відмов у польоті. Спочатку розглядається математична модель процесу експлуатації легко-знімного блоку (ЛЗБ) системи авіоніки на кінцевому інтервалі часу при довільному законі розподілу напрацювання до відмови. Виводяться узагальнені вирази для розрахунку середніх тривалостей перебування ЛЗБ у різних станах процесу експлуатації. Наводяться узагальнені формули для розрахунку коефіцієнта готовності, середнього часу між позаплановими зняттями та експлуатаційної імовірності безвідмовної роботи ЛЗБ. Модель може бути використана для розрахунку показників ефективності гарантійного обслуговування ЛЗБ систем авіоніки. У другому розділі також визначено вирази для показників ефективності технічного обслуговування ЛЗБ систем авіоніки для випадку експоненційного закону розподілу часу до стійкої і перемежованої відмов та показано, що ці показники дуже залежать від інтенсивності перемежованих відмов ЛЗБ. У другому розділі також розглядається математична модель процесу експлуатації ЛЗБ при довільному законі розподілу напрацювання до відмови на нескінченному інтервалі часу. Ця модель дозволяє провести розрахунок показників ефективності обслуговування ЛЗБ і резервованих систем авіоніки на етапі післягарантійного обслуговування.

У другому розділі розглянуто випадок активного резервування систем авіоніки, за якого всі ідентичні ЛЗБ знаходяться в робочому стані з моменту початку польоту повітряного судна та визначено стаціонарні значення коефіцієнта готовності, коефіцієнта простою та експлуатаційної імовірності безвідмовної роботи для паралельної, паралельно-последовної і мажоритарної структур резервування.

Далі проведено аналіз двох варіантів гарантійного й п'яти варіантів післягарантійного обслуговування резервованих систем авіоніки. Для кожного варіанта визначені середні експлуатаційні витрати, які ґрунтуються на розроблених моделях технічного обслуговування ЛЗБ на кінцевому й нескінченному інтервалах часу. Таким чином, у другому розділі вирішено перше та друге завдання дисертації.

У третьому розділі розроблені дві математичні моделі технічного обслуговування на основі моніторингу стану системи в дискретні моменти часу. У першій моделі технічного обслуговування використовується нове вирішальне правило при перевірці стану системи, засноване на порівнянні

моментів часу перевірки та оцінки часу до передвідмовного стану. Це дозволяє істотно зменшити ймовірність відмови системи в інтервалі напрацювання між моніторингами стану за рахунок відбраковування потенційно ненадійних систем. На підставі цього вирішального правила виводяться загальні вирази для розрахунку ймовірностей правильних і помилкових рішень під час перевірки придатності системи, які враховують результати попередніх перевірок. Далі розглянуті задачі визначення оптимального порогу заміни в моменти моніторинга стану за критеріями мінімального середнього ризику, мінімуму повної ймовірності помилки й заданої апостеріорної ймовірності безвідмовної роботи системи на майбутньому інтервалі напрацювання.

Друга математична модель заснована на властивостях регенеруючого стохастичного процесу зміни станів системи й дозволяє одночасно визначити оптимальні моменти проведення моніторингу стану системи та значення порогів заміни для випадку недостовірних перевірок придатності. На основі цієї моделі виводяться аналітичні вирази для розрахунку коефіцієнта готовності, експлуатаційної ймовірності безвідмовної роботи, середніх експлуатаційних витрат і середньої вартості технічного обслуговування системи впродовж заданого часу. Таким чином, у третьому розділі вирішено третє та четверте завдання дисертації.

У четвертому розділі розглянуто особливості архітектури авіоніки сучасних повітряних суден, розроблено методики мінімізації вартості гарантійного та післягарантійного обслуговування резервованих систем авіоніки, методики визначення оптимального порогу заміни й періодичності перевірки придатності при обслуговуванні системи за станом, а також проведено перевірку адекватності розроблених математичних моделей. На основі розроблених методик проведено мінімізацію вартості гарантійного й післягарантійного обслуговування резервованої інерційної системи даних літаків A380 авіакомпанії Емірейтс, а також розрахунок оптимальних порога превентивної заміни й періодичності перевірки придатності для вихідної напруги джерела живлення передавача наземного радара.

Новими науковими результатами є:

1. Уперше розроблено математичні моделі для оцінки показників експлуатаційної надійності безперервно контрольованих ЛЗБ і резервованих цифрових систем авіоніки на кінцевому та нескінченному інтервалах часу, які, на відміну від відомих моделей, враховують вплив як стійких, так і перемежованих відмов. Ці моделі дозволяють оцінити вплив перемежованих

відмов на коефіцієнт готовності та середній час між незапланованими зніманнями ЛЗБ.

2. Уперше розроблено математичну модель технічного обслуговування на основі моніторингу стану системи в дискретні моменти часу, яка, на відміну від відомих моделей, враховує безумовні ймовірності правильних і помилкових рішень під час перевірки придатності системи до використання на майбутньому інтервалі експлуатації, що дозволяє сформулювати завдання визначення оптимального порогу заміни для кожного моменту перевірки та суттєво зменшити ймовірність виникнення відмови в інтервалі напрацювання між моніторингами стану.

3. Уперше розроблено узагальнені математичні вирази для розрахунку показників ефективності технічного обслуговування за станом і критерії спільного визначення оптимальних моментів перевірки придатності та порогів заміни для систем, які впливають і не впливають на безпеку, що дозволяє істотно підвищити коефіцієнт готовності, знизити середні витрати на технічне обслуговування та збільшити періодичність перевірок.

4. Уперше розроблено узагальнені співвідношення для розрахунку середніх експлуатаційних витрат впродовж гарантійного й післягарантійного періодів експлуатації резервованих систем авіоніки для альтернативних варіантів технічного обслуговування, що відрізняються наявністю одного, двох і трьох рівнів обслуговування, які, на відміну від відомих співвідношень, враховують вплив як стійких, так і перемежованих відмов, що дозволяє обрати оптимальний варіант технічного обслуговування для кожного з періодів.

Практична значимість результатів дисертаційних досліджень Рази Ахмеда полягає у наступному:

- розроблено методики розрахунку ймовірнісних і тимчасових показників ефективності технічного обслуговування ЛЗБ на кінцевому й нескінченному інтервалах експлуатації, які дозволяють розрахувати ці показники в період гарантійного й післягарантійного обслуговування як для федеративної, так і для модульної архітектури авіоніки;

- розроблено методику мінімізації вартості гарантійного обслуговування резервованих цифрових систем авіоніки й на прикладі системи ADIRS літака A380 показано, що за оптимального варіанту організації гарантійного обслуговування середні експлуатаційні витрати зменшуються на 28 %;

- розроблено методику мінімізації вартості післягарантійного обслуговування резервованих цифрових систем авіоніки й на прикладі системи ADIRS літака A380 показано, що варіант трирівневого

обслуговування, який передбачає використання детектора перемежованих відмов на другому та третьому рівнях обслуговування є найкращим, оскільки дозволяє скоротити середні експлуатаційні витрати в 11 разів порівняно з варіантом однорівневого й більш ніж у 8,5 разів порівняно з варіантом дворівневого обслуговування без використання детектора;

- розроблено методику визначення оптимальних порогів заміни під час моніторингу стану деградуючої системи в дискретні моменти, що дозволяє істотно зменшити ймовірність відмови системи на майбутньому інтервалі напрацювання;

- розроблено методику спільного визначення оптимальних моментів перевірки придатності й порогів заміни, що дозволяє істотно підвищити коефіцієнт готовності для систем, які не впливають на безпеку та зменшити вартість технічного обслуговування за станом для систем, що впливають на безпеку, за значного скорочення кількості перевірок.

Матеріали дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес Національного авіаційного університету (акт від 19.04.2018).

Достовірність отриманих результатів. Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, що містяться в дисертації, підтверджується достатнім і коректним використанням математичного апарату теорії імовірностей та теорії надійності, узгодженістю отриманих теоретичних результатів і експлуатаційних даних, а також імітаційним моделюванням процесу технічного обслуговування системи ADIRS літака A380 та джерела живлення передавача наземного радару.

Завершеність, стиль викладання. Дисертація Рази Ахмеда написана англійською мовою, а автореферат - українською мовою з дотриманням наукового стилю викладання результатів досліджень у відповідності до встановлених вимог. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка виконана й оформлена відповідно до вимог, затверджених МОН України.

Повнота викладення сформульованих в дисертації наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях.

Основний зміст дисертації опубліковано в 16 наукових працях, з них: 1 стаття у фаховому періодичному виданні, яке включене в «Перелік наукових фахових видань України», затверджений МОН України; 1 стаття в періодичному виданні, яке входить до міжнародних науково-метричних баз Scopus та Web of Science; 1 стаття у періодичному виданні, яке входить до інших міжнародних науково-метричних баз; 2 публікації в міжнародних колективних монографіях та 11 публікацій у працях міжнародних конгресів, симпозіумів і конференцій. Усі опубліковані роботи індексовані в

міжнародних наукометричних базах, в т. ч. 10 – у базі Scopus і 4 – у базі Web of Science.

Автореферат дисертації та публікації по ній повністю відображають наукову новизну та зміст дисертаційної роботи. За своїм фаховим спрямуванням дисертаційна робота відповідає переліку напрямів дослідження спеціальності 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту.

Недоліки та зауваження:

1. У розділі 2 автором виведені загальні вирази (2.4), (2.6), (2.11) і (2.13) (с. 84 – 86) для середніх тривалостей перебування блоків в різних станах в процесі експлуатації, які можна використовувати при будь-якому розподілі напрацювання до стійкої і перемежованої відмов. Однак, як приклад, розглянуто тільки вирази (2.16)-(2.19) (с. 86, 87) для експоненціального розподілу наробітку до відмов. На наш погляд, слід було б дослідити поведінку показників ефективності технічного обслуговування й для інших законів розподілу стійких і переміжних відмов.

2. У розділі 2 на рис. (2.1), (2.2), (2.5)-(2.7) (с. 88, 90, 95, 98 і 100) досліджена залежність коефіцієнта готовності й інших показників ефективності технічного обслуговування від інтенсивності перемежованих відмов. Запропоновані автором аналітичні вирази включають також і інтенсивність стійких відмов. Однак чисельного дослідження показників ефективності від інтенсивності стійких відмов не проведено.

3. У розділі 3 для першої математичної моделі технічного обслуговування за станом розглянуті завдання визначення оптимального порогу профілактичної заміни у дискретні моменти часу за різними критеріями. Однак критерій максимуму коефіцієнта готовності не розглядається для цієї моделі, хоча для другої математичної моделі цей критерій розглядається.

4. Як впливає з рис.3.13 (с. 166), для деградуючих систем оптимальним є послідовний графік перевірок придатності. Однак в більшості прикладів автором розглядаються періодичні графіки перевірок, які не дозволяють досягти максимального ефекту від оптимізації.

5. У розділі 4 розроблено 6 практичних методик на основі отриманих наукових результатів. Однак тільки 4 методики ілюструються числовими прикладами. На наш погляд, всі запропоновані методики бажано супроводжувати практичними розрахунками.

Вказані недоліки й зауваження не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи.

Висновок

Дисертація Рази Ахмеда є самостійною завершеною науковою роботою, яка містить рішення актуальних наукових задач. Здобувач отримав нові науково-обґрунтовані результати, які мають важливе наукове і практичне значення та полягають в розробленні математичних моделей технічного обслуговування цифрових систем авіоніки та обладнання засобів транспорту, що зазнає деградації, що дозволить істотно скоротити витрати на експлуатацію, підвищити готовність та забезпечити високий рівень експлуатаційної надійності цих систем.

Тема та зміст дисертаційної роботи відповідає паспорту спеціальності 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту.

Дисертація відповідає вимогам положення п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», які ставляться до кандидатських дисертацій, та відповідає паспорту спеціальності 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту, а її автор Раза Ахмед заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент:

Професор кафедри "Аеропорти"

Національного транспортного університету,

доктор технічних наук, професор

Петрашевський О. Л.

ПІДПИС ЗАВІРЯЮ
Вчений секретар
Транспортного університету
проф. Мелішук О. І.

