

ВІДГУК

офіційного опонента,
кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника
Костановського Валерія Вікторовича 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

1. Актуальність теми дисертації

Сучасна авіаційна електронна апаратура повітряних суден цивільної авіації (авіоніка) побудована з використанням принципів федеративної та інтегрованої модульної архітектури. Для технічного обслуговування систем авіоніки в даний час застосовується стратегія обслуговування до безпечної відмови. Однак дана стратегія технічного обслуговування виявляється неефективною в разі високої інтенсивності непідтверджених відмов. Основною причиною непідтверджених відмов електронних модулів є виникнення перемежованих відмов у польоті. Тому актуальними є оцінка впливу перемежованих відмов на вартість життєвого циклу систем авіоніки й вибір такого варіанта організації технічного обслуговування, при якому негативний вплив перемежованих відмов зводиться до мінімуму.

У даний час технічне обслуговування за станом розглядається як перспективний підхід для підвищення надійності експлуатації та зниження експлуатаційних витрат багатьох повітряних і наземних транспортних систем. Очевидно, що технічне обслуговування за станом є кращим серед інших методів технічного обслуговування в тих випадках, коли може бути виміряно погіршення стану системи та коли система відмовляє при виході параметра стану системи за поріг функціональної відмови. Тому актуальними є завдання знаходження оптимальних порогів заміни й моментів проведення моніторингу стану обладнання транспортних засобів.

Виходячи з цього, тема дисертаційної роботи є актуальною для вдосконалення технічного обслуговування цифрових систем авіоніки та деградуючого обладнання засобів транспорту.

2. Зв'язок дисертаційної роботи з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, державними та галузевими науковими програмами

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. Дисертаційна робота також безпосередньо пов'язана з дослідженнями, що проводяться в Національному науковому центрі, розташованому в університеті Кранфілд (Велика Британія).

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Дисертантом вирішено одну з актуальних наукових задач побудови моделей технічного обслуговування цифрових систем авіоніки й обладнання засобів транспорту, що зазнає деградації. Розроблені в дисертації математичні моделі дозволяють істотно знизити витрати на експлуатацію цифрових систем авіоніки й обладнання засобів транспорту, що зазнає деградації, при забезпеченні необхідної регулярності та безпеки польотів.

Основні наукові положення, висновки й рекомендації дисертаційної роботи мають теоретичне, методичне та експлуатаційно-статистичне обґрунтування.

У першому розділі дисертантом проведено огляд і подальший аналіз розроблених математичних моделей для розрахунку показників експлуатаційної надійності та технічного обслуговування авіоніки, визначені недоліки існуючих моделей для проведення обслуговування за станом. Дисертантом проведено аналіз сучасних тенденцій технічного обслуговування авіаційного обладнання за станом. За результатами аналізу оглядових матеріалів, представлених у першому розділі, визначена мета дисертаційної роботи й виконана постановка задач і математичних моделей, що розробляються й досліджуються в наступних розділах дисертації. Метою дисертаційної роботи є розробка математичних моделей обслуговування до безпечної відмови й за станом, призначених для підвищення ефективності експлуатації цифрових систем авіоніки та деградуючого обладнання транспортних засобів.

У процесі підготовки першого розділу дисертації автором розглянуті й проаналізовані 123 літературних джерела, опублікованих фахівцями України й зарубіжних країн, по експлуатаційній надійності та технічному обслуговуванню, що говорить про достатню повноту обстеження й обґрунтованість запропонованих автором висновків.

У другому розділі дисертантом розроблено з використанням методів теорії імовірностей та теорії надійності таке:

- нову математичну модель для оцінки показників експлуатаційної надійності безперервно контрольованих цифрових блоків/модулів на кінцевому

й нескінченному інтервалах часу, яка відрізняється від відомих моделей тим, що враховує як стійкі так і перемежовані відмови;

- узагальнені аналітичні вирази для середніх тривалостей знаходження цифрових блоків/модулів авіоніки у різних станах експлуатації при довільних законах розподілу напрацювання до стійкої і перемежованої відмов на кінцевому й нескінченному інтервалі часу, що дозволяє розрахувати показники експлуатаційної надійності;

- співвідношення, що визначають експлуатаційну ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність позапланового відновлення цифрових блоків/модулів при довільних законах розподілу напрацювання до стійкої та перемежованої відмов на кінцевому й нескінченному інтервалах часу;

- співвідношення для розрахунку експлуатаційної ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності позапланового відновлення блоків/модулів цифрових систем авіоніки при експоненціальному законі розподілу напрацювання до стійкої і перемежованої відмов на кінцевому і нескінченному інтервалах часу;

- співвідношення для розрахунку середньої кількості позапланових замін через стійкі й перемежовані відмови та середньої вартості відновлення блоків/модулів протягом заданого часу;

- співвідношення для розрахунку коефіцієнта готовності й коефіцієнта простою резервованих систем авіоніки, що мають паралельну, мажоритарну й паралельно-послідовну структуру з точки зору надійності;

- співвідношення для розрахунку загальних експлуатаційних витрат протягом гарантійного терміну для двох варіантів гарантійного обслуговування, що відрізняються наявністю або відсутністю засобів наземного контролю на першому рівні обслуговування;

- узагальнені співвідношення для розрахунку середніх експлуатаційних витрат протягом післягарантійного періоду експлуатації для п'яти альтернативних варіантів обслуговування, що відрізняються наявністю або відсутністю першого й третього рівнів обслуговування й на чисельному прикладі показано, що трирівнева система післягарантійного обслуговування є оптимальною для обраних вихідних даних, оскільки призводить до мінімальної кількості запасних блоків і модулів та мінімальним експлуатаційним витратам.

З аналізу припущень і математичних перетворень, виконаних при розробці математичних моделей, розглянутих у другому розділі, слідує, що вони адекватно описують процес експлуатації цифрових систем авіоніки. Це також підтверджується численними числовими прикладами, результати яких збігаються з експлуатаційними даними, наведеними в першому розділі.

У третьому розділі дисертантом розроблена з використанням теорії випадкових функцій математична модель обслуговування за станом, яка, на відміну від відомих моделей, враховує ймовірності правильних і помилкових рішень при перевірці придатності системи в дискретні моменти часу й дозволяє

істотно зменшити ймовірність відмови системи в інтервалі напрацювання між перевірками за рахунок відбраковування потенційно ненадійних систем.

У цьому ж розділі отримано узагальнені вирази для обчислення ймовірностей правильних і помилкових рішень при перевірці придатності системи до використання на майбутньому інтервалі напрацювання, які враховують результати попередніх перевірок та можливість відбраковування потенційно ненадійних систем.

У третьому розділі дисертантом також сформульовані завдання визначення оптимального порогу заміни для кожного моменту перевірки на основі критеріїв максимального чистого доходу, мінімального середнього ризику, мінімуму повної імовірності помилки й заданої апостеріорної імовірності безвідмовної роботи системи на майбутньому інтервалі часу, що дозволяє істотно зменшити ймовірність помилкових рішень при перевірці придатності системи до використання в інтервалі напрацювання між моніторингами стану.

Для лінійного випадкового процесу деградації отримано вираз, що дозволяє розрахувати умовну спільну щільність розподілу ймовірностей похибок вимірювання напрацювання до відмови через відому щільність розподілу ймовірностей похибки вимірювання визначального параметра й значення порогів функціональної відмови та профілактичної заміни.

У цьому ж розділі отримано узагальнені аналітичні вирази для середніх тривалостей знаходження системи в різних станах процесу експлуатації при послідовному й періодичному графіках перевірок, що враховують умовні ймовірності правильних і помилкових рішень при перевірці придатності системи. Також розроблено вартісні показники ефективності обслуговування за станом на основі перевірки придатності для систем, які не впливають на безпеку і для систем, що впливають на безпеку. Для систем, що впливають на безпеку, доказані узагальнені співвідношення для розрахунку експлуатаційної імовірності безвідмовної роботи та ймовірності незапланованого відновлення на кінцевому інтервалі часу.

Дисертантом сформульовані задачі визначення оптимальних моментів перевірки придатності й порогів заміни за критеріями мінімуму середніх витрат, максимуму коефіцієнта готовності, мінімуму середньої вартості обслуговування при обмеженні на експлуатаційну ймовірність безвідмовної роботи та максимуму експлуатаційної імовірності безвідмовної роботи при обмеженні на середню вартість технічного обслуговування.

З аналізу припущень і математичних перетворень, виконаних при розробці математичних моделей, розглянутих у третьому розділі, слідує, що вони також адекватно описують процеси технічного обслуговування обладнання засобів транспорту, що зазнає деградації.

У четвертому розділі дисертантом розглянуті особливості архітектури авіоніки сучасних повітряних суден, розроблено методики розрахунку ймовірнісних показників ефективності технічного обслуговування блоків/модулів і резервованих цифрових систем авіоніки на кінцевому й нескінченному інтервалах експлуатації, методики мінімізації вартості гарантійного та післягарантійного обслуговування резервованих цифрових систем авіоніки, методики визначення оптимального порогу профілактичної заміни й періодичності перевірки придатності при технічному обслуговуванні системи за станом, а також проведено перевірку адекватності розроблених математичних моделей. На основі розроблених методик проведено мінімізацію вартості гарантійного та післягарантійного обслуговування резервованої інерційної системи даних ADIRS літаків A380 авіакомпанії Emirates, а також проведено розрахунок оптимальних порога превентивної заміни й періодичності перевірки придатності для вихідної напруги джерела живлення передавача наземного радара.

Обґрунтуваність наукових результатів, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, підтверджується коректним використанням методів математичної теорії надійності й теорії ймовірностей, а також апробацією результатів дисертації, які обговорювалися на 14 міжнародних конгресах, симпозіумах і конференціях.

4. Наукова новизна результатів дослідження

Матеріали дисертації підготовлені на високому науковому рівні з використанням останніх досягнень теорії імовірностей, теорії випадкових функцій, теорії надійності систем, технічного обслуговування об'єктів за станом. Науковий підхід дисертанта при постановці й вирішенні всіх завдань відрізняється оригінальністю та новизною. Проведені автором теоретичні дослідження можна розділити на дві групи: розробка й дослідження математичних моделей технічного обслуговування цифрових систем авіоніки та розробка й дослідження математичних моделей технічного обслуговування за станом деградуючого обладнання засобів транспорту.

Щодо першої групи, автором розроблений комплекс математичних моделей для моделювання процесів технічного обслуговування цифрових систем авіоніки на кінцевому й нескінченному інтервалах часу, що дозволяють оцінювати комплексні показники експлуатаційної надійності та вибирати оптимальний варіант організації гарантійного й післягарантійного обслуговування. Новими науковими результатами тут є такі:

- уперше розроблено математичні моделі для оцінки показників експлуатаційної надійності безперервно контрольованих легко замінних блоків/модулів 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;

- 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 кількох 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 експлуатації.

Щодо другої групи, автором розроблені дві математичні моделі для моделювання процесів технічного обслуговування за станом деградуючого обладнання засобів транспорту. Перша модель може бути використана в тих випадках, коли моменти моніторингу стану відомі, а необхідно визначити оптимальний поріг превентивної заміни для кожної з перевірок. Друга математична модель дозволяє одночасно визначити оптимальні моменти проведення моніторингу стану системи й значення порогів заміни для випадку недостовірних перевірок придатності. Новими науковими результатами в цій групі є такі:

- 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;

- 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.

5. Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Дисертантом поставлені нові завдання й розроблені нові математичні моделі в області теорії експлуатаційної надійності та технічного обслуговування авіаційних електронних систем (авіоніки) та деградуючого обладнання засобів транспорту, використання яких дозволяє підвищити показники ефективності технічного обслуговування й мінімізувати експлуатаційні витрати. Достовірність запропонованих математичних моделей

підтверджується теоретично достатнім і коректним використанням математичного апарату теорії імовірностей, теорії надійності та теорії відновлення, а також узгодженістю отриманих розрахункових результатів і статистичних даних по експлуатації сучасних систем авіоніки. Проведене автором імітаційне моделювання процесу технічного обслуговування системи ADIRS літака A380 і джерела живлення передавача наземного радару показало, що статистичні оцінки середніх тривалостей перебування блоків системи ADIRS у різних станах та ймовірності правильних і помилкових рішень при перевірці придатності джерела живлення швидко сходяться до розрахункових значень цих показників, що також свідчить про достовірність розроблених математичних моделей.

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

В опублікованих дисертантом роботах повністю знайшли відображення матеріали дисертаційної роботи. Автореферат дисертації достатньо відображає наукову новизну та зміст дисертаційної роботи. Результати досліджень за темою дисертації викладено в 16 наукових працях:

- 1 стаття у фаховому періодичному науковому виданні, яке включене в «Перелік наукових фахових видань України»;
- 1 стаття в закордонному періодичному науковому виданні, яке індексується в міжнародних науково-метричних базах Scopus та Web of Science;
- 1 стаття в закордонному періодичному науковому виданні, яке входить до багатьох міжнародних науково-метричних баз;
- 2 публікації у колективних монографіях, виданих міжнародним видавництвом «Спрингер»;
- 11 публікацій у працях міжнародних конгресів, симпозіумів і конференцій.

Опубліковані роботи індексовані в багатьох міжнародних наукометричних базах, у т. ч. 4 – у базі Web of Science та 10 – у базі Scopus.

7. Практичне значення результатів дослідження

Результати дисертації можуть бути використані при розробці та експлуатації електронного обладнання авіаційного транспорту. Впровадження розроблених математичних моделей експлуатаційної надійності та технічного обслуговування авіоніки може дозволити значно знизити експлуатаційні витрати.

До результатів, які мають практичну значимість, слід віднести наступні методики, розроблені на основі теоретичних досліджень, наведених у дисертаційній роботі:

- методики розрахунку ймовірнісних і тимчасових показників ефективності технічного обслуговування, блоків/модулів систем авіоніки на кінцевому й нескінченному інтервалах експлуатації, які можна використовувати в період гарантійного й післягарантійного обслуговування для різних архітектур авіоніки;

- методику мінімізації вартості гарантійного обслуговування резервованих цифрових систем авіоніки, яка на прикладі системи ADIRS літака A380 показала, що за оптимального варіанту гарантійного обслуговування середні експлуатаційні витрати можна зменшити майже на 30 %;

- методику мінімізації вартості післягарантійного обслуговування резервованих цифрових систем авіоніки, яка на прикладі системи ADIRS літака A380 показала, що при використанні детектора перемезованих відмов на другому та третьому рівнях обслуговування можна скоротити середні експлуатаційні витрати в 11 разів порівняно з варіантом однорівневого й більш ніж у 8,5 разів порівняно з варіантом дворівневого технічного обслуговування;

- методику визначення оптимальних порогів заміни при моніторингу стану деградуючої системи в заплановані дискретні моменти часу, що дозволяє істотно зменшити ймовірність відмови системи на інтервалі між перевірками;

- методику спільного визначення оптимальних моментів перевірки придатності й порогів заміни, що дозволяє істотно поліпшити показники ефективності технічного обслуговування за станом для систем, які впливають і не впливають на безпеку та значно зменшити кількість перевірок.

8. Оцінка змісту дисертації, її завершеності та стилю викладання

Автореферат написаний українською мовою, а сама дисертація - англійською мовою, що відповідає вимогам МОН України. Дисертаційна робота ретельно оформлена й складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків та 3 додатків. Кожний розділ закінчується списком використаної літератури. Сумарна кількість використаних джерел літератури складає більш, ніж 200 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 196 сторінок, з них - 148 основного тексту та додатки на 7 сторінках. Дисертація написана науковим стилем викладу результатів досліджень і досить проілюстрована рисунками та таблицями. Дисертація оформлена відповідно до вимог МОН України та являє собою завершену науково-дослідну роботу.

9. Недоліки та зауваження по дисертаційній роботі

1. Обсяг оглядового першого розділу трохи завищений, розділ можна було б скоротити без шкоди для змісту.

2. У другому й третьому розділах дисертації представлено рішення великої кількості різних нових задач теорії експлуатаційної надійності та технічного

обслуговування систем авіоніки при наявності стійких і перемежованих відмов, а також технічного обслуговування за станом деградуючого обладнання транспортних засобів. На мою думку, загального числа вирішених у дисертації задач могло б вистачити для оформлення двох кандидатських робіт.

3. У дисертаційній роботі використовується велика кількість скорочень, що ускладнює іноді її розуміння.

4. У розділі 2 у всіх математичних моделях експлуатаційної надійності цифрової авіоніки розглядаються як перемежовані, так і стійкі відмови. Усі математичні співвідношення виведені для випадку довільного закону розподілу стійких відмов, проте приклади розрахунків наведені тільки для випадку експоненціального розподілу цих відмов, тобто для раптових відмов. Однак, навіть для цифрової апаратури раптові відмови характерні не для всього періоду роботи апаратури. Частина періоду експлуатації характеризується спільним настанням раптових і поступових відмов електрорадіоелементів. Тому на деяких етапах експлуатації для опису стійких відмов доцільно застосовувати композицію розподілів, що включає експоненціальний розподіл (раптові відмови) і дифузійний монотонний розподіл (поступові відмови). Очевидно, що рішення такої задачі можна рекомендувати дисертанту в майбутньому після успішного захисту цієї дисертаційної роботи.

5. Не зрозуміло, чому в третьому розділі перша математична модель обслуговування за станом (с. 112-115) розглядається на нескінченному інтервалі експлуатації, а друга модель (с. 132-134) - на кінцевому. Хоча в другому розділі показники ефективності технічного обслуговування систем авіоніки були виведені як для кінцевого, так і для нескінченного інтервалів експлуатації.

6. Бракує пояснення результатів Таблиці 3.1 (с. 125), з якої випливає, що при збільшенні точності вимірювання визначального параметра в 10 разів повна ймовірність помилки при перевірці працездатності системи практично не змінюється. Хоча результати наступної Таблиці 3.2 (с. 126) детально пояснені.

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

10. Загальні висновки

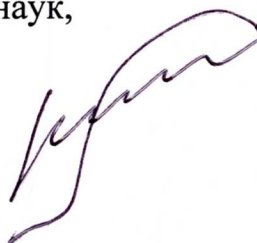
Дисертаційна робота в цілому написана дуже лаконічно, чітко, професійною математичною мовою. Визначення, формули, графіки та таблиці в повній мірі описують вирішення поставлених завдань. Обсяг проведених досліджень і представлених результатів в області теорії експлуатаційної надійності та обслуговування за станом авіаційних електронних систем навіть перевищує необхідний обсяг для захисту кандидатської дисертації. Отримані результати є новими й досить оригінальними. На ілюстративних прикладах

показана висока ефективність від застосування розроблених методик при вирішенні задач експлуатації авіаційного обладнання.

Публікації автора достатньо висвітлюють наукові положення й результати дисертаційної роботи. Текст автореферату повністю відповідає змісту дисертації.

Таким чином, за актуальністю розглянутих задач, обсягом досліджень, науковим рівнем і практичною цінністю отриманих наукових результатів дисертаційна робота «Математичні моделі технічного обслуговування обладнання засобів транспорту» повністю відповідає спеціальності 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту та вимогам положення п.п. 9, 11, 12-14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», які ставляться до кандидатських дисертацій, а її автор Раза Ахмед заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник,
начальник науково-дослідного відділу
надійності ДП «НДІ «Квант»



В.В. Костановський

Відгук офіційного опонента к.т.н., с.н.с.
Костановського В.В. завіряю

Вчений секретар ДП «НДІ «Квант»



І. М. Русняк

Місто печатки

8 жовтня 2018 р.