

## ВІДГУК

### офіційного опонента

професора кафедри технічних систем та процесів управління в судноводній Державного університету інфраструктури та технологій, доктора технічних наук, професора Богом'ї Володимира Івановича на дисертацію Терентьєвої Ірини Євгенівни, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи на тему «Методи і моделі забезпечення готовності обладнання систем радіозв'язку»

**Актуальність теми.** На сьогодні інформаційно-комунікаційні системи проникають в усі сфери діяльності як держави, так і громадян. Важливе місце серед цих систем займають системи радіозв'язку, які забезпечують мобільний радіозв'язок та ширококутовий доступ до мережі Інтернет. До якості передачі інформації та надійності функціонування обладнання інформаційно-комунікаційних систем нині пред'являються високі вимоги, в тому числі, і до готовності обладнання систем радіозв'язку. Простій системи радіозв'язку навіть впродовж короткого проміжку часу може привести до великих фінансових втрат. Тому напрямок дисертаційного дослідження є важливим і актуальним.

Для оцінювання надійних показників необхідно розробити математичні моделі процесу технічного обслуговування обладнання систем радіозв'язку. Однак, сучасне обладнання має деякі особливості у порівнянні з обладнанням попередніх поколінь, зокрема, має повністю цифровий обмін інформацією та в процесі експлуатації тестується, як правило, програмними засобами. Тому обладнанню сучасних систем радіозв'язку притаманні збої і повторювальні відмови, виявлення яких залежить від повноти контролю. Отже, математичні моделі, які розробляються, мають враховувати ці особливості

Готовність обладнання можна підвищити за рахунок використання резервування, проте сучасне обладнання є вартісним і це тягне за собою фінансові витрати. Тому постає питання вибору такого варіанта резервування, який забезпечував би максимальний коефіцієнт готовності при обмеженні на фінансові витрати. Для цього необхідні аналітичні вирази, які пов'язують показники надійності з фінансовими витратами. Ці важливі питання і досліджує здобувач у своїй дисертаційній роботі. Отже, тематика дисертаційних досліджень Терентьєвої Ірини Євгенівни є актуальною і має практичну направленість.

**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 протягом декількох років в Національному авіаційному університеті і спрямовані на підвищення ефективності експлуатації систем радіозв'язку. Обраний напрямок досліджень безпосередньо пов'язаний з



реалізацією положення «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні» (затверджено Кабінетом Міністрів України від 15 травня 2013 р.).

Основні наукові результати отримані в рамках наступних науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт: шифр № 874-ДБ13 «Створення та дослідження нових систем захищеного авіаційного радіозв'язку в рамках концепції CNS/ATM ICAO» (№ ДР 0113U000093)»; договір про наукове співробітництво між НАУ и ДП «НДІ» Квант» № 2/2013 от 27.02.2013 р. «Простір-Ф», ФІЯЕ. 461321.004, № ДР РК0108U000066Т; договір про наукове співробітництво між НАУ та Державним науково-дослідним інститутом спеціального зв'язку та захисту інформації № 7/16СД від 20.07.2016 р., шифр «Базис» № ДР 0115U000021т.

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

У першому розділі дисертації проведено аналіз особливостей побудови обладнання систем радіозв'язку. Проаналізовано відомі математичні моделі процесу технічної експлуатації цифрових електронних систем і систем радіозв'язку. Аналіз показав, що відомі моделі не враховують вплив повторювальних відмов на надійність і готовність обладнання, а також застосовуються тільки в разі періодичного контролю його працездатності за стовідсоткової повноти контролю. Проведено аналіз методів резервування обладнання систем радіозв'язку.

Наведено класифікацію різних видів резервування. Показано, що введення додаткового резервування дозволяє підвищити готовність системи, але при цьому потрібні додаткові витрати, оскільки обладнання і програмне забезпечення мають високу вартість. Розглянуто відомі технічні показники ефективності процесу експлуатації технічних систем. Показано, що відомі показники не враховують параметри надійності систем і компонентів, а також витрати на додаткове резервування зйомних модулів і на підтримку необхідного обмінного фонду запасних компонентів, які забезпечують заданий рівень готовності обладнання. Це не дозволяє адекватно оцінити необхідні капітальні внески на заданому етапі життєвого циклу. Для оцінювання експлуатаційних витрат обраний показник сукупної вартості володіння системою, який, як показав аналіз, є найбільш поширеним у світовій практиці показником для оцінювання ефективності систем радіозв'язку. Обґрунтовано, що зазначений показник треба вдосконалити так, аби він дозволяв врахувати перелічені вище складові.

На підставі проведеного аналізу сформульовано основні завдання досліджень дисертаційної роботи: розроблення математичних моделей і методів забезпечення готовності обладнання систем радіозв'язку.

У другому розділі розроблено математичні моделі технічного обслуговування нерезервованого обладнання систем радіозв'язку. Перша математична модель технічного обслуговування обладнання систем радіозв'язку при довільному законі розподілу напрацювання зйомного модуля до відмови на нескінченному інтервалі часу. Модель дозволяє отримати оцінки

готовності обладнання систем радіозв'язку на нескінченному інтервалі часу, зокрема, в період післягарантійного обслуговування. Запропоновано математичну модель технічного обслуговування з урахуванням старіння елементів обладнання систем радіозв'язку на нескінченному інтервалі часу. Проведено оцінювання впливу на готовність обладнання деградаційних процесів, властивих електронним компонентам, які входять до його складу.

Запропоновано другу математичну модель процесу технічного обслуговування нерезервованого обладнання систем радіозв'язку, яка дає змогу оцінити готовність обладнання з урахуванням повторювальних відмов у разі проведення повного додаткового контролю, який виконується після прояву відмов. Показано, що за наявності повторювальних відмов повний додатковий контроль дозволяє підвищити величину коефіцієнта готовності. Розроблено математичну модель процесу технічного обслуговування обладнання систем радіозв'язку на кінцевому інтервалі експлуатації для довільного закону розподілу напрацювань до явної, прихованої і повторювальної відмов з урахуванням повноти контролю.

Далі розроблено третю математичну модель процесу технічного обслуговування обладнання систем радіозв'язку на кінцевому інтервалі експлуатації для довільного закону розподілу напрацювань до явної, прихованої і повторювальної відмов з урахуванням повноти контролю. Таким чином, у другому розділі вирішено друге і третє завдання дисертації.

Третій розділ присвячено розробленню математичної моделі технічного обслуговування і показників для оцінювання експлуатаційних витрат резервованого обладнання систем радіозв'язку. Визначено коефіцієнти готовності для послідовної, паралельної і змішаної з погляду надійності структур резервування, а також для структури типу « $k$  із  $m$ ». Проведено дослідження отриманих показників.

Удосконалено методи оцінювання повних експлуатаційних витрат у періоди гарантійного і післягарантійного термінів обслуговування, які враховують види експлуатаційного резервування і дозволяють визначити прийнятний варіант експлуатаційного резервування і кількості запасних модулів при максимумі коефіцієнта готовності та обмеженні на експлуатаційні витрати або в разі обмеження на коефіцієнт готовності та мінімуму експлуатаційних витрат. Таким чином, у другому розділі вирішено четверте та п'яте завдання дисертації.

У четвертому розділі проведено практичну апробацію розроблених у роботі математичних моделей і методів. Показано, що для зниження експлуатаційних і капітальних витрат при заданому коефіцієнті готовності необхідно обрати прийнятний варіант кількості резервних і запасних компонентів або зйомник модулів обладнання систем радіозв'язку. Проведено верифікацію розроблених математичних моделей: розроблено імітаційний алгоритм і програму статистичного моделювання процесу технічної експлуатації обладнання систем радіозв'язку. Розроблений алгоритм дозволяє, на відміну від відомих алгоритмів, імітувати значення середнього часу

максимальних відомості аварійні та рідкісні причетності, непридатності та відмовлення, а також коефіцієнти готовності при різних значеннях інтенсивності відмов і повноти контролю.

Новими науковими результатами є:

1. Уперше розроблено математичні моделі процесу технічного обслуговування обладнання систем радіозв'язку, яке охоплене безперервним контролем придатності, на нескінченному інтервалі експлуатації, які, на відміну від відомих, одночасно враховують вплив явних, прихованих і повторювальних відмов, а також повноти контролю на рівень готовності при довільному законі розподілу напрацювань до відмов і в разі проведення кожного можливого контролю придатності. Це дозволяє виконати комплексне оцінювання готовності резервованого обладнання систем радіозв'язку, зокрема, в період післягарантійного обслуговування.

2. Уперше запропоновано математичну модель процесу технічного обслуговування обладнання систем радіозв'язку, яке охоплене безперервним контролем придатності, на кінцевому інтервалі експлуатації, яка, на відміну від відомих, отримана при довільному законі розподілу напрацювань до явних, прихованих та повторювальних відмов з урахуванням повноти контролю, що дає змогу здійснювати оцінювання готовності резервованого обладнання систем радіозв'язку на кінцевому інтервалі часу, зокрема, в період гарантійного обслуговування.

3. Уперше розроблено математичну модель процесу технічного обслуговування резервованого обладнання систем радіозв'язку, яка, на відміну від відомих, дозволяє оцінювати коефіцієнт готовності обладнання для різних структур резервування з урахуванням характеристик явних, прихованих і повторювальних відмов, а також повноти контролю.

4. Удосконалено методи оцінювання повних експлуатаційних витрат у періоди гарантійного і післягарантійного термінів обслуговування, які, на відміну від відомих, ураховують види експлуатаційного резервування і дають змогу визначити прийнятний варіант експлуатаційного резервування і кількості запасних модулів в разі знаходження максимуму коефіцієнта готовності при обмеженні на повні експлуатаційні витрати або в разі знаходження мінімуму повних експлуатаційних витрат при обмеженні на коефіцієнт готовності.

Практична значимість результатів дисертаційних досліджень Терентьєвої Ірини Євгенівни полягає у наступному:

- розроблено методику оцінювання готовності обладнання систем радіозв'язку, проведено розрахунки коефіцієнта готовності на прикладі обладнання компанії Huawei Technologies;
- розроблено методику оцінювання повних експлуатаційних витрат в періоди гарантійного та післягарантійного термінів обслуговування обладнання систем радіозв'язку;
- розроблено методику вибору прийняттого варіанту експлуатаційного резервування і кількості запасних відомих модулів при обмеженні на коефіцієнт готовності та мінімумі експлуатаційних витрат;

– розроблено імітаційний алгоритм і програму статистичного моделювання процесу технічної експлуатації обладнання систем радіозв'язку, які дозволяють моделювати і оцінювати основні параметри процесу технічного обслуговування;

– розроблено комплекс програмного забезпечення, який дозволяє виконувати розрахунки за запропонованими методиками.

Матеріали дисертаційної роботи впроваджено в ДП «Науково-дослідному інституті «Квант» (акт від 25.12.2014 р.), в Державному науково-дослідному інституті спеціального зв'язку та захисту інформації (акт від 22.12.2016 р.), у навчальному процесі Національного авіаційного університету (акт від 15.12.2017 р.).

**Достовірність отриманих результатів** Достовірність отриманих положень і моделей підтверджується адекватністю результатів, отриманих на основі аналітичних виразів, з результатами, отриманими в ході аналізу статистичних даних експлуатації, а також при імітаційному моделюванні процесу технічного обслуговування обладнання систем радіозв'язку.

**Завершеність, стиль викладання.** Дисертаційна робота Терентьєвої Ірини Євгенівни є завершеною науково-дослідною роботою, виконаною і оформленою відповідно до вимог, затверджених МОН України. Дисертаційна робота написана зрозуміло та грамотно, науково-технічна термінологія використовується коректно і логічно.

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

Основний зміст дисертації опубліковано у 19 друкованих наукових працях, серед яких 7 статей – у спеціалізованих періодичних виданнях, які включені в «Перелік наукових фахових видань України», затверджений МОН України, та до міжнародних науково-метричних баз, та 1-а стаття – в періодичному виданні, яке входить до міжнародної науково-метричної бази Scopus.

Також опубліковано 11 тез доповідей у матеріалах міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій. Зокрема, одна публікація на конференції, яка проводилася міжнародною організацією IEEE, з публікацією в працях конференції, які входять до міжнародної науково-метричної бази Scopus.

**Структура та зміст автореферату відповідають тексту дисертаційної роботи.**

**Недоліки та зауваження.** За матеріалами дисертаційної роботи можна зробити такі зауваження:

1. У першому розділі наведено об'ємний огляд вітчизняних і зарубіжних літературних джерел, на які зроблено посилання, але не наведено аналітичні вирази з відомих моделей.

2. У другому розділі, при описуванні Моделі 3 (с. 86–94) на кінцевому інтервалі часу, не визначено, що відбувається з модулем в момент часу  $T$ .

3. У третьому розділі задачі цілочисельної оптимізації кількості запасних і резервних модулів (3.40) – (3.43) не проілюстровано чисельними

прикладами, які б дозволили визначити інтервали зміни керованих змінних і вигравш від оптимізації.

4. У четвертому розділі розроблено оригінальний імітаційний алгоритм процесу технічного обслуговування обладнання систем радіозв'язку, за результатами якого автор робить правильний висновок про адекватність першої аналітичної моделі; доцільно було виконати імітаційне моделювання і для інших моделей, тоді рішення про адекватність моделей було б повнішим.

Вказані недоліки не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи.

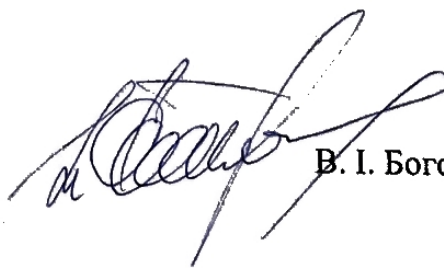
#### **Висновок**

Дисертація Терентьевої Ірини Євгенівни є закінченою науковою роботою, яка містить рішення актуальної наукової задачі. Здобувач отримав нові науково-обґрунтовані результати, які мають важливе наукове і практичне значення та полягають в розробленні математичних моделей процесу технічного обслуговування обладнання систем радіозв'язку для оцінювання готовності обладнання та методів, які дозволяють підвищити ефективність експлуатації систем за рахунок зниження експлуатаційних витрат при підтримці належного рівня готовності систем радіозв'язку. Тема та зміст дисертаційної роботи відповідає паспорту спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

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 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи, а її автор Терентьева Ірина Євгенівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

#### **Офіційний опонент:**

Професор кафедри технічних систем  
та процесів управління в судноводінні  
Державного університету  
інфраструктури та технологій,  
Заслужений винахідник України  
доктор технічних наук, професор

  
В. І. Богом'я

Підпис доктора технічних наук, професора Богом'ї В. І. засвідчую.  
В.о. ректора ДУІТ  
доктор технічних наук, професор



В.В. Панін