

ВІДГУК

офіційного опонента завідувача кафедри радіотехнічних пристроїв та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» доктора технічних наук, професора Жука Сергія Яковича на дисертацію Озірковського Леоніда Деонісійовича «Розвиток теоретичних засад оцінювання показників функціональної безпечності радіоелектронних систем відповідального призначення», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

1. Актуальність теми дисертації

На сучасному етапі технічного розвитку суспільства все більшого значення набувають радіоелектронні системи відповідального призначення (РЕСВП), які виконують різноманітні функції щодо забезпечення життєдіяльності суспільства. Відмова такої радіоелектронної системи може привести до виходу з ладу технічного об'єкта або виходу його параметрів за допустимі межі. Внаслідок цього може виникнути аварійна ситуація. Тому ключовою особливістю РЕСВП є високі вимоги до їх функціональної безпечності, оскільки потрапляння технічних об'єктів в аварійну ситуацію призводить не тільки до пошкодження обладнання, а й до ризику заподіяння шкоди навколишньому середовищу, життю та здоров'ю людей. Вимоги до функціональної безпечності зростають для автономних автоматичних програмно-апаратних систем, що керуються складними алгоритмічно-програмними комплексами, включаючи системи штучного інтелекту.

Властивість функціональної безпечності закладається на початкових етапах проектування РЕСВП шляхом введення додаткових спеціальних засобів, як апаратних так і програмних. Таке введення, як правило, зменшує надійність РЕСВП і таким чином породжує відоме протиріччя між надійністю і функціональною безпечністю. Дане протиріччя вирішується або евристично, або шляхом натурних випробувань. Такі способи вирішення протиріччя призводять до суттєвого збільшення вартості РЕСВП та значного збільшення тривалості як процесу проектування, виробництва, так і натурних випробувань.

Значимість етапу системотехнічного проектування об'єктивно зростає у зв'язку із підвищенням складності РЕСВП. Невірне рішення на цьому етапі є джерелом усіх подальших помилкових дій як при створенні системи, так і її експлуатації.

Для оцінювання рівня функціональної безпечності на етапі проектування використовують технологію DFMEA (Design Failure Mode and Effects Analysis). Особливістю цієї технології є необхідність будувати моделі безпечності у вигляді дерев відмов для отримання ключового показника – наборів мінімальних

січень (Minimal Cut Sets). Мінімальні січення необхідні для отримання ймовірності появи аварійної ситуації, без кількісного значення якої неможливо отримати ключовий показник безпечності - коефіцієнт ризику (Risk Priority Number). Такі моделі є громіздкими, будуються вручну. А найсуттєвішим недоліком є те, що вони є статичними. Це унеможливорює врахування впливу на рівень функціональної безпечності наступних важливих особливостей сучасних РЕСВП:

- стратегії технічного обслуговування,
- засобів активного резервування зі складною мажоритарною структурою,
- засобів контролю та діагностики,
- особливостей відмовостійких алгоритмів функціонування,
- наявності прихованих відмов.

Використання динамічних дерев відмов та бінарних діаграм рішень є ефективним тільки для простих систем. Наблизитись до динамічних моделей безпечності дав змогу метод автоматизованої побудови дискретно-неперервних стохастичних моделей у вигляді графа станів і переходів на основі структурно-автоматної моделі. Він дозволяє поєднувати функціональну та надійнісну поведінку в одній моделі об'єкта дослідження і тим самим враховувати вплив ненадійності апаратних засобів на його функціональні показники. Крім того, даний підхід дає змогу автоматизовано будувати динамічні ймовірнісні моделі поведінки радіоелектронних систем та комплексів без обмеження на їх розмірність.

Таким чином розроблення теоретичних засад комплексного забезпечення рівня функціональної безпечності та надійності РЕСВП на етапі їх системотехнічного проектування з урахуванням їх відмовостійкої структури, специфіки алгоритму поведінки та різновиду стратегії технічного обслуговування є, без сумніву, актуальною науково-прикладною проблемою.

2. Зв'язок дисертації з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційні дослідження виконувалися у відповідності до наукового напрямку кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань Національного університету «Львівська політехніка» – «Теорія і методи проектування радіотехнічних кіл, систем і комплексів та забезпечення їх якості», в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт впродовж 2004 – 2018 років. Ці науково-дослідні роботи визначали тематику дисертаційних досліджень, про що говорять їх назви: «Розроблення комп'ютерних моделей відмовостійких радіоелектронних засобів», «Розроблення комп'ютерних макромоделей радіоелектронних систем та їх функціональних вузлів, адаптованих до задач надійнісного проектування», «Розроблення моделей, методів та алгоритмів для автоматизованої оцінки показників надійності радіоелектронних та електромеханічних пристроїв та систем», «Розроблення моделей надійності,

ризикі та безпечності програмно-апаратних технічних систем», «Розроблення математичного забезпечення для програмного засобу аналізу функціональної безпечності та надійності програмно-апаратних систем відповідального призначення».

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

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, обумовлена коректною постановкою науково-прикладної проблеми і часткових задач досліджень, використанням сучасних апробованих методів теорії функціональної безпечності та надійності відмовостійких систем, теорії випадкових процесів, математичного апарату теорії моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем та теорії масового обслуговування.

Достовірність отриманих наукових результатів забезпечено несуперечністю отриманих у дисертації наукових результатів загальновідомим положенням розглянутої теорії, збіжністю результатів, отриманих за допомогою запропонованих у роботі методів, з відомими із літературних джерел та галузевих і міжнародних стандартів у часткових випадках, використанням відомих часткових рішень як тестових задач, достатньою апробацією та впровадженням результатів дисертації.

Прийняті в роботі допущення й обмеження обґрунтовано і відбито в повному обсязі.

4. Наукова новизна результатів, отриманих в дисертації

Наукова новизна дисертації сформульована у десяти пунктах. Наукові результати, отримані дисертантом можна розділити на три групи:

1. Нові показники та характеристики безпечності РЕСВП, які дають змогу пов'язати показники функціональної безпечності та надійності як апаратних засобів, так і алгоритмів поведінки. До таких характеристик і показників відносяться:
 - функція аварійності для оцінювання функціональної безпечності РЕСВП;
 - ймовірність потрапляння РЕСВП в аварійну ситуацію та частота потрапляння в аварійну ситуацію для відмовостійких РЕСВП з мажоритарною структурою;
 - частота потрапляння у стани неуспішного завершення для алгоритму поведінки РЕСВП.

2. Нові та удосконалені існуючі методи побудови комплексних моделей, які призначені для визначення показників функціональної безпечності та надійності для відмовостійких структур, алгоритмів поведінки та стратегій технічного обслуговування.
 - Розроблено новий метод визначення функції аварійності на підставі розділення непрацездатних станів на непрацездатні безпечні стани, непрацездатні критичні та непрацездатні катастрофічні стани.
 - Розроблено новий метод розрахунку середнього значення ймовірності існування мінімального січення.
 - Вдосконалено метод простору станів з використанням структурно-автоматної моделі.
 - Отримав подальший розвиток метод побудови дерева відмов на базі функції аварійності.
 - Отримав подальший розвиток метод синтезу параметрів стратегії технічного обслуговування за заданим значенням показника функціональної безпечності з врахуванням ймовірності появи аварійної ситуації.
3. Удосконалено стохастичні моделі для розроблення стратегій технічного обслуговування та моделі для надійнісного проектування РЕСВП, а саме:
 - Удосконалено стохастичну модель стратегії технічного обслуговування груп РЕСВП одною бригадою. Ця модель дає змогу визначати вплив на показник надійності (коефіцієнт готовності) примусових зупинок при планово-профілактичному обслуговуванні та наявність прихованих відмов.
 - Удосконалено дві стохастичні моделі відмовостійких систем з складними мажоритарними структурами. Ці моделі призначені для розв'язання задач синтезу показників надійності та функціональності їх складових.

Ступінь наукової новизни відповідає представленим результатам. Наукову новизну сформульовано відповідно до діючих вимог.

5. Практичне значення результатів, отриманих в дисертації та їх подальше використання

Основним практичним результатом дисертації є зменшення обчислювальної складності завдань розроблення РЕСВП за рахунок створення низки методик, моделей і алгоритмів. Серед одержаних практичних результатів слід відзначити такі:

1) Методику синтезу моделі стратегії технічного обслуговування групи РЕСВП у вигляді системи диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена.

2) Методики надійнісного параметричного синтезу РЕСВП з складними мажоритарними структурами, а саме з реконфігурацією та дворівневою мажоритарною структурою.

3) Методологію синтезу безпечних алгоритмів поведінки РЕСВП.

4) Методику підтвердження достовірності отриманого результату синтезу безпечного алгоритму поведінки.

5) Алгоритми автоматизації розроблених методик.

Перелічені методики та алгоритми дають можливість:

- автоматизувати окремі етапи процесу оцінювання ризику експлуатації РЕСВП;
- підвищити достовірність отриманих показників функціональної безпечності та надійності таких систем;
- зменшити затрати часу на розв'язання задач синтезу.

Практичне значення отриманих результатів підтверджують акти про впровадження та використання результатів дисертаційної роботи на МС Зв'язок, ТОВ «Поліном-Стиль», в Науковому центрі Академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, ряді держбюджетних НДР та в навчальному процесі спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка».

6. Публікації та апробація результатів дисертаційної роботи

Основні наукові результати та положення дисертації в повному обсязі опубліковано у 118 наукових працях, серед яких: 2 монографії, 1 патент України на винахід, 5 статей у іноземних періодичних виданнях (з них 5 – у науковій періодиці, що входить до міжнародних наукометричних баз різного рівня: Scopus, Index Copernicus, Infobase Index, Academic Research Index), 36 статей у фахових виданнях України (з них 13 – у науковій періодиці, що входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus), 1 стаття у періодичних наукових виданнях України, 73 праці у збірниках матеріалів міжнародних та всеукраїнських конференцій (з них – 27 індексовані у наукометричних базах Scopus та Web of Science).

Результати дисертації Озірковського Л.Д. пройшли всебічну апробацію на 30-ти міжнародних та вітчизняних науково-практичних конференціях і отримали схвальні відгуки фахівців з проектування радіотехнічних систем.

7. Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність встановленим вимогам оформлення дисертації

Дисертація оформлена відповідно до встановлених вимог. Вона складається з розширеної анотації українською та англійською мовами, вступу, п'яти

розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 353 сторінки друкарського тексту, з яких 245 сторінок основного тексту, 61 рисунок, 17 таблиць, список використаних джерел із 253 найменувань та 4 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовані науково-прикладна проблема, мета, завдання, об'єкт і предмет дослідження, названі використані для виконання досліджень методи, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про впровадження результатів роботи, апробацію, особистий внесок автора, а також публікації за темою дисертації. Представлено структуру та обсяг дисертації.

Перший розділ «Сучасний стан та тенденції розвитку теорії синтезу безпечних радіоелектронних систем відповідального призначення на етапі системотехнічного проектування» містить вичерпний аналіз проблеми забезпечення заданого рівня функціональної безпечності РЕСВП на етапі системотехнічного проектування. Показано обмеження сучасних методів та моделей. Визначено особливості формування структури та алгоритмів поведінки РЕСВП, на етапі системотехнічного проектування з метою забезпечення високого рівня функціональної безпечності складних технічних систем.

У другому розділі «Розвиток теоретичних засад оцінювання показників функціональної безпечності радіоелектронних систем відповідального призначення на основі методу простору станів» розроблено методи, які дали можливість використовувати представлення РЕСВП у вигляді графа станів і переходів (ГСП) як комплексну модель для визначення і показників функціональної безпечності, і показників надійності.

Розроблено новий метод визначення непрацездатних безпечних станів, критичних та катастрофічних станів. Для кількісного оцінювання впливу надійності на безпечність і навпаки, введено поняття функції аварійності. На основі розроблених методів та моделей створено методіку синтезу структури РЕСВП із заданим рівнем безпечності.

У третьому розділі «Модель та метод для розв'язання задачі синтезу стратегії технічного обслуговування, яка має забезпечувати заданий рівень функціональної безпечності радіоелектронної системи відповідального призначення» розроблено метод визначення середнього значення ймовірності існування мінімального січення. Це дало змогу підвищити достовірність значень ймовірностей виникнення мінімальних січень, які складаються з комбінації прихованих і явних відмов або виключно з прихованих відмов. Якщо мінімальне січення містить тільки одну приховану відмову, то існуючі методи завищують ймовірність існування мінімального січення в 3,9 разів.

Метод синтезу стратегії технічного обслуговування РЕСВП із врахуванням впливу аварійних ситуацій на функцію готовності базується на розробленому

представленні процесу технічного обслуговування у вигляді системи масового обслуговування. Для практичного розв'язання задач синтезу стратегій технічного обслуговування із заданим рівнем безпечності розроблено ряд методик та алгоритмів.

У четвертому розділі «Синтез безпечних радіоелектронних систем відповідального призначення на базі мажоритарної структури» введено нові показники безпечності для визначення ефективності засобів підвищення відмовостійкості РЕСВП з мажоритарною структурою. Удосконалено аналітичну модель для визначення граничної працездатності відмовостійкої РЕСВП з реконфігурацією. Розроблено нову аналітичну модель для визначення граничної працездатності відмовостійкої РЕСВП з використанням дворівневих мажоритарних структур, проведено оцінку ступеня адекватності розроблених моделей відмовостійких систем.

У п'ятому розділі «Синтез безпечних алгоритмів поведінки радіоелектронних систем відповідального призначення» розроблено засоби (моделі, методи та методику), які адекватно враховують усі особливості алгоритму поведінки, що визначають функціональну безпечність РЕСВП і дозволяють за короткий час (в рамках тривалості етапу системотехнічного проектування РЕСВП) здійснювати розв'язання задачі синтезу безпечного алгоритму через багатоваріантний аналіз.

У висновках приведено вичерпний перелік основних отриманих результатів та рекомендацій до їх застосування.

В додатках дисертації розміщені: структурно-автоматні моделі відмовостійких РЕСВП з мажоритарною структурою; акти впровадження результатів дисертації; список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

Дисертацію написано стилістично грамотно на високому науковому рівні. Вона має внутрішню єдність. Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

Дисертація за тематикою та результатам відповідає паспорту спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

8. Відповідність змісту автореферату та основних положень дисертації

Зміст автореферату в повній мірі розкриває основні положення наукових результатів і написаний державною мовою. Він характеризує сутність новизни та практичного значення досліджень, і показує особистий внесок автора у вирішенні наукової проблеми, що поставлена у роботі.

9. Зауваження до дисертації

В якості зауважень щодо змісту дисертації можна визначити наступне

1. Потребує чіткого визначення поняття «функція аварійності». Питання в тому, чи ця функція є точковою (як, наприклад, функція «інтенсивність відмов»), чи інтервальною (як, наприклад, функція «імовірність безвідмовної роботи»). З визначення можна зробити висновок, що вона є точковою (імовірність виникнення непрацездатних станів, які призводять до аварійної ситуації, в поточний момент часу). З іншого боку далі йдеться про «значення функції аварійності для конкретного інтервалу тривалості експлуатації системи».
2. Здобувач вважає, що сума значень «імовірностей існування мінімальних січень», визначених для певної тривалості експлуатації РЕСВП, дорівнює значенню функції аварійності в точці з такою ж тривалістю експлуатації. Ця властивість функції аварійності не описана в явній формі, а тому, на мій погляд, потребує більш детального опису та обґрунтування.
3. Запропонований метод розроблення структурно-автоматних моделей дійсно полегшує і прискорює перебір варіантів структури системи. Але сама побудова такої моделі передбачає наявність людини-розробника і не виключає можливості помилки у формулюванні умов переходів. А це тягне за собою пропуск або дублювання деяких станів або переходів.
4. Ні в дисертації, ні в авторефераті не наведено пояснення наявності мінімуму на залежності коефіцієнта готовності від періодичності проведення планових профілактичних робіт (розділ 3, рис. 8 автореферату).
5. Функціональна безпечність експлуатації РЕСВП в дисертації, в загальному вигляді, представлена ймовірністю появи аварійної ситуації (формула (2.3)), яка є об'єднанням функцій аварійності складових РЕСВП. А функціональна безпечність експлуатації РЕСВП з урахуванням прихованих і явних відмов або виключно прихованих відмов представлена сумою середніх значень ймовірностей існування мінімальних січень (формула (3.6)). З тексту дисертації не зрозуміла відповідність цих формул.
6. Не дано оцінку обчислювальній складності запропонованих алгоритмів, в т.ч. які базуються на методі мінімального січення.
7. З тексту дисертації не зрозуміло як проведено розрахунки параметрів відмов (таблиця 4.7; рис. 4.5.)
8. У підрозділі 4.3 дисертації не обґрунтовано вибір кількості варіантів реалізації відмовостійких РЕСВП при їх порівняльному аналізі в подальших пунктах підрозділу (наприклад, пункт 4.3.1, табл. 6, рис. 4.14 - вибрано 6 варіантів реалізації РЕСВП).

Зазначені зауваження не знижують наукового рівня дисертаційної роботи і не впливають на її позитивну оцінку в цілому.

9. Висновок про дисертацію в цілому

Дисертація Озірковського Леоніда Деонісійовича є завершеною науковою працею, що виконана здобувачем особисто на високому науковому рівні, у якій розв'язано актуальну науково-прикладну проблему розроблення теоретичних засад комплексного забезпечення рівня функціональної безпечності та надійності радіоелектронних систем відповідального призначення на етапі їх системотехнічного проектування.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації Озірковського Л.Д. є високою; особисто здобувачем в дисертаційній роботі отримано нові наукові результати, які мають практичне значення; основні результати досліджень повністю викладено в опублікованих працях, кількість яких відповідає вимогам; зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації; результати досліджень мають достатньою апробацією та впровадженням.

Таким чином, дисертаційна робота "Розвиток теоретичних засад оцінювання показників функціональної безпечності радіоелектронних систем відповідального призначення" відповідає п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» (постанова Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року, № 567), які пред'являються до докторських дисертацій, а її автор Озірковський Леонід Деонісійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю: 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент
завідувач кафедри радіотехнічних пристроїв та систем
Національного технічного університету України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
д.т.н., професор

С.М.у

