

№ 67-72-82/1
Big 23.11.20p.

Голові спеціалізованої вченої ради
Д.35.052.10 у Національному університеті
«Львівська політехніка»

79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

ВІДГУК

офіційного опонента професора кафедри кібербезпеки та захисту інформації Київського національного університету імені Тараса Шевченка доктора технічних наук, професора Толюпи Сергія Васильовича на дисертаційну роботу Озірковського Леоніда Деонісійовича за темою «Розвиток теоретичних засад оцінювання показників функціональної безпечності радіоелектронних систем відповідального призначення», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю – 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

Актуальність теми дисертації. Радіоелектронна система відповідального призначення (РЕСВП) – це програмно-апаратна система, яка є складовою системи керування складними технічними системами, вихід з ладу яких призводить до втрати працездатності системи керування, а це в свою чергу – до аварійної ситуації складної технічної системи.

Стрімке впровадження штучного інтелекту у системи керування призводить до того, що кінцеве рішення про управляючу дію приймає система керування, а не людина. Крім цього, такі системи стають повністю автономними (роботизовані безпілотні літальні апарати, пристрої та системи Інтернету речей, розподілені хмарні телекомунікаційні системи, системи індустріального Інтернету речей тощо), і помилки в проектуванні їх структури та алгоритмів поведінки, які згодом реалізують як програмне забезпечення, призводять до відмов чи збоїв. А вони в свою чергу призводять до появи аварійної ситуації, яку вже неможливо усунути за допомогою оператора. Відповідно, зважаючи на потенційні наслідки аварійних ситуацій, проблема забезпечення функціональної безпечності РЕСВП на етапі системотехнічного проектування виходить на перше місце.

Незважаючи на розвиток теорії та практики, вирішення проблеми підвищення рівня функціональної безпечності РЕСВП призводить до зменшення рівня надійності таких систем. Це породжує протиріччя, оскільки до сучасних РЕСВП висуваються однаково високі вимоги, як до рівня функціональної безпечності, так і до рівня надійності. Справа в тому, що засоби забезпечення функціональної безпечності проектують як окрему додаткову підсистему й з точки зору надійності вона є послідовним з'єднанням з основною системою, що зменшує надійність РЕСВП в цілому.

Таким чином, здобувачем, в дисертаційній роботі розв'язана актуальна

науково-прикладна проблема розвитку теоретичних засад комплексного забезпечення рівня функціональної безпечності та надійності радіоелектронних систем відповідального призначення на етапі їх системотехнічного проектування.

Дисертаційні дослідження виконувалися у відповідності до наукового напряму кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань Національного університету «Львівська політехніка» – «Теорія і методи проектування радіотехнічних кіл, систем і комплексів та забезпечення їх якості», в рамках низки держбюджетних науково-дослідних робіт:

– ДБ Вербаль (2004 – 2006) «Розробка комп'ютерних моделей відмовостійких радіоелектронних засобів», № держ. реєстрації 0104U002291;

– ДБ КРОКІТ (2007 – 2009) «Розробка комп'ютерних макромоделей радіоелектронних систем та їх функціональних вузлів, адаптованих до задач надійнісного проектування», № держреєстрації 0107U000836;

– ДБ ПНРЛ (2010 – 2012) «Розроблення моделей, методів та алгоритмів для автоматизованої оцінки показників надійності радіоелектронних та електромеханічних пристроїв та систем», № держреєстрації 0110U001098;

– ДБ Трикаф (2013 – 2014) «Розроблення моделей надійності, ризику та безпечності програмно-апаратних технічних систем», № держреєстрації 0113U001371;

– ДБ/Ризик (2017 – 2018) «Розробка математичного забезпечення для програмного засобу аналізу функціональної безпечності та надійності програмно-апаратних систем відповідального призначення», № держреєстрації 0117U004458.

Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій. Дисертаційна робота характеризується глибоким аналізом сучасного стану теоретичних підходів та практичних методик забезпечення заданого рівня безпечності систем відповідального призначення на етапі їх системотехнічного проектування, напрямками удосконалення існуючих теоретичних засад побудови моделей РЕСВП, з яких можна отримувати, як показники функціональної безпечності, так і показники надійності шляхом розділення простору непрацездатних станів на непрацездатні безпечні стани, критичні та катастрофічні стани, розробкою методів оцінювання показників функціональної безпечності РЕСВП, які дають змогу синтезувати доцільну, з точки зору безпечності, стратегію технічного обслуговування та ремонту та розробкою моделі для синтезу безпечних відмовостійких радіоелектронних систем відповідального призначення з мажоритарною структурою з реконфігурацією ядра, з дворівневим принципом мажоритарного резервування, з технічним обслуговуванням та ремонтом і з системою контролю та діагностики.

Структура та обсяг роботи. Робота складається з 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, 4 додатки на 76 сторінках. Додатки містять структурно-автоматні моделі та алгоритм автоматизації синтезу показників ефективності стратегій технічного обслуговування РЕСВП, акти впровадження та список наукових праць автора.

Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації. Проаналізувавши автореферат та дисертацію здобувача, можна зробити висновок, що в авторефераті з необхідною повнотою відображено проблему, яка вирішується у дисертації, загальну характеристику роботи, основний зміст та висновки дисертації. Для основних положень дисертації та змісту автореферату характерна повна ідентичність.

У *вступі* наведена загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано зв'язок роботи з науковими програмами, темами, сформульовано мету та основні завдання, об'єкт, предмет та методи дослідження, подано наукову новизну, практичну цінність отриманих результатів. Подано відомості про впровадження результатів роботи, вказано особистий внесок автора й наведено відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи та про публікації за темою роботи, подано короткий опис структури і обсягу дисертації.

У *першому розділі роботи* автором виконано огляд інформаційних джерел, присвячених проблемі забезпечення заданого рівня функціональної безпечності РЕСВП на етапі системотехнічного проектування. Особливістю етапу системотехнічного проектування РЕСВП є те, що він має обмежену тривалість – два-три місяці. За цей час потрібно сформувати конкурентні варіанти реалізації системи та на основі аналізу вибрати доцільний. Автором показано, що при формуванні структури та алгоритму поведінки РЕСВП, на етапі системотехнічного проектування, необхідно вирішити дві важливі задачі: забезпечення заданого рівня функціональної безпечності та заданого рівня надійності. Під час вирішення цих задач виникає протиріччя. Для досягнення заданого рівня функціональної безпечності визначають слабкі місця РЕСВП і вводять засоби підвищення безпечності. Однак при введенні в систему додаткових засобів для забезпечення безпечності знижується надійність системи, оскільки додаткові елементи будуть, з точки зору надійності, послідовно з'єднані з іншими елементами системи.

За результатами огляду сучасних методів оцінювання функціональної безпечності та надійності РЕСВП на етапі системотехнічного проектування здобувачем встановлено, що всі методи оцінювання функціональної безпечності для встановлення слабких місць системи передбачають визначення мінімальних січень для кожної конкретної аварійної ситуації РЕСВП. Однак, всі ці методи не дають змоги враховувати вплив на функціональну безпечність РЕСВП застосування відмовостійких мажоритарних структур з реконфігурацією, з дворівневим мажоритарним резервуванням; стратегій технічного обслуговування; часової, інформаційної та функціональної надлишковості алгоритму поведінки. Але найвагомим недоліком існуючих методів є те, що вони не дозволяють на основі одної моделі отримати показники функціональної безпечності і показники

надійності. Також ці методи малопридатні для багатоваріантного аналізу впродовж короткого часу, що є визначальним на етапі системотехнічного проектування.

Тому автор і запропонував необхідність розробки методу побудови комплексної моделі РЕСВП, на основі якої можна отримати і показники надійності, і показники функціональної безпечності. Метод побудови моделі повинен бути орієнтований на багатоваріантний аналіз РЕСВП. Побудова моделі, після внесення змін в технічні рішення РЕСВП, має здійснюватися автоматизовано.

У *другому розділі* автор розв'язує одну з наукових задач – це розроблення методів, які дали можливість використовувати представлення РЕСВП у вигляді графа станів і переходів (ГСП) як комплексну модель для визначення показників функціональної безпечності, і показників надійності. Основною перевагою такого підходу, на відміну від існуючих, є те, що він забезпечує урахування зв'язку між властивостями надійності та безпечності РЕСВП і дає змогу розв'язувати протиріччя між ними, шляхом знаходження компромісних рішень.

У формуванні підходу прийнято до уваги, що для оцінювання функціональної безпечності складних систем за допомогою дерев відмов чи інших логіко-ймовірнісних методів (динамічних дерев відмов, бінарних діаграм рішень, дерев подій) використовується поняття «мінімальне січення», яке відображають у вигляді логічних функцій. Мінімальні січення дають змогу визначати слабкі місця системи для конкретної аварійної ситуації. Можливості визначати мінімальні січення за допомогою використання методу простору станів на сьогодні не відомо. Однак, досвід використання моделей у вигляді ГСП дав підстави передбачити, що така можливість існує.

Автором доведено, що за допомогою методу розділення станів з графа станів та переходів можна отримувати значення як показників безпечності (з непрацездатних станів) так і значення показників надійності системи (з працездатних станів). Слід відмітити, що така комплексна модель у вигляді графа станів і переходів з удосконаленим описом стану дає змогу проводити дослідження залежностей впливу засобів підвищення надійності на значення показників безпечності і навпаки.

У *третьому розділі* дисертації розроблено модель та метод для розв'язання задачі синтезу стратегії технічного обслуговування, яка забезпечує заданий рівень функціональної безпечності радіоелектронної системи відповідального призначення.

Автором доведено, що існуючі, на сьогодні, методи дають змогу оцінити тільки інтегральний показник функціональної безпечності за наявності прихованих та явних відмов. Це середнє значення ймовірності появи аварійної ситуації. Водночас відомі методи не дають змоги врахувати вплив стратегії ТО на безпечність РЕСВП в цілому.

Правильне представлення в моделі явних і прихованих відмов є важливим для розв'язання задачі синтезу стратегії технічного обслуговування одною бригадою багатьох РЕСВП, які функціонують одночасно. Для вирішення цієї

проблеми в роботі запропоновано модель процесу технічного обслуговування (ТО) багатьох РЕСВП, які функціонують одночасно, у вигляді системи масового обслуговування з врахуванням аварійно-відновлювальних робіт (АВР), планово-профілактичного обслуговування (ППО) та наявності прихованих відмов.

В даному розділі, здобувачем, запропоновано новий метод визначення середнього значення ймовірності існування мінімального січення, яке включає в себе комбінацію прихованих та явних відмов або виключно приховані відмови.

Згідно результатів валідації методу визначення середнього значення ймовірності існування мінімального січення, твердження, що середнє значення ймовірності появи аварійної ситуації є сумою середніх значень ймовірностей існування мінімальних січень можна вважати правильним. На основі цього твердження запропоновано удосконалену формулу для визначення середнього значення ймовірності появи аварійної ситуації

Також в розділі розроблено структурно-автоматну модель стратегії ТО. На основі структурно-автоматної моделі автоматизовано отримується модель у вигляді графа станів та переходів, а відтак і модель у вигляді системи лінійних диференціальних рівнянь. Ці моделі дають змогу створити методикою синтезу стратегії ТО. Отримана за методикою стратегія ТО буде забезпечувати задані значення показників функціональної безпечності та готовності РЕСВП.

Розроблена структурно-автоматна модель дає змогу автоматизовано побудувати модель для загального випадку, коли на обслуговуванні одної ремонтної бригади є до декількох десятків РЕСВП. В цьому випадку кількість станів може сягати до $10^3 \dots 10^4$. З проведених досліджень можна зробити висновок, що не врахування прихованих відмов призводить до завищення значення функції готовності на 1,5...2,1%, а не врахування аварійних ситуацій призводить до завищення значення функції готовності до 45%.

Отже запропонована модель дає змогу вибрати доцільну періодичність проведення ППО і значення показника надійності кожної РЕСВП для забезпечення необхідного значення коефіцієнта готовності сукупності РЕСВП на заданому інтервалі їх експлуатації. На основі запропонованої структурно-автоматної моделі, автором, було розроблено і реалізовано в програмному забезпеченні MatLab методикою синтезу параметрів стратегії обслуговування сукупності РЕСВП для забезпечення необхідного значення коефіцієнта готовності на заданому інтервалі їх експлуатації.

У *четвертому розділі* проведено синтез безпечних радіоелектронних систем відповідального призначення з використанням мажоритарних структур (МС).

В розділі показано вирішення проблеми оцінювання рівня функціональної безпечності РЕСВП з використанням МС шляхом використання запропонованих аналітичних надійнісних моделей, в яких враховано: поведінку відмовостійкої РЕСВП при втраті працездатності її модулів, тобто реконфігурацію мажоритарної структури, яка супроводжується зміною правила голосування; параметри стратегії аварійного відновлення;

параметри засобів контролю, діагностики та комутації; ненадійність мажоритарного елемента; дворівневий мажоритарний принцип резервування (використання трьох мажоритарних структур вкладених в мажоритарну структуру).

Для відмовостійких РЕСВП в дисертації запропоновано нові моделі для розв'язання задач синтезу показників і параметрів їх складових. Ці моделі розроблено у вигляді структурно-автоматних моделей з символічним представленням параметрів та показників надійності та функціональності складових відмовостійкої РЕСВП.

Отримані, автором, результати дослідження показують однозначний зв'язок між показниками надійності та безпечності для відмовостійкої РЕСВП з МС: чим більша кількість модулів в ядрі МС і відповідно більш висока її надійність, тим меншим є значення ймовірності потрапляння в критичні передаварійні стани і тим нижче значення частоти потрапляння відмовостійкої РЕСВП в аварійну ситуацію.

На основі розроблених моделей в роботі сформовано дві методики надійнісного синтезу відмовостійких РЕСВП з реконфігурацією мажоритарної структури та відмовостійких РЕСВП з дворівневою мажоритарною структурою.

У *п'ятому розділі* розроблено методологію синтезу безпечних алгоритмів поведінки, на основі якої проєктант може створювати свою методику синтезу для конкретного варіанту реалізації алгоритму поведінки. Методологія доповнена моделями та методами, які адекватно враховують усі особливості алгоритму поведінки, що визначають функціональну безпечність РЕСВП. Створені на основі методології методики дадуть змогу проєктанту за короткий час (в рамках тривалості етапу системотехнічного проєктування РЕСВП) здійснювати розв'язання задачі синтезу безпечного алгоритму через багатоваріантний аналіз.

В основу методології синтезу безпечних алгоритмів, автором, покладено удосконалену стохастичну модель АП у вигляді графа станів і переходів, в якій розрізняються групи станів, що визначають функціональну безпечність РЕСВП. Стани поточного виконання АП визначаються детермінованими чинниками (кількість операційних блоків, тривалість виконання операційного блоку, кількість циклів, кількість шляхів від одного операційного блоку до іншого тощо). А стани успішного завершення та аварійні стани визначаються випадковими чинниками, які призводять до невиконання чи зупинки АП.

У *висновках* дисертаційної роботи показано, що в ході проведених наукових досліджень вирішена наукова проблема підвищення ефективності процедур синтезу радіоелектронних систем відповідального призначення шляхом розвитку теоретичних засад комплексного забезпечення заданого рівня функціональної безпечності та надійності на етапі системотехнічного проєктування.

Наукова цінність результатів роботи. Висновки та результати дисертації викладені змістовно, в логічній послідовності, у відповідності зі структурою задач, поставлених і вирішених у дисертаційній роботі.

Достовірність отриманих результатів та наукових положень підтверджена результатами моделювання та порівняльного аналізу з найближчим аналогом.

Наукова новизна дисертаційної роботи Озірковського Л.Д. полягає в наступному:

вперше запропоновано функцію аварійності, яка на відміну від існуючих кількісних показників функціональної безпечності, відображає взаємозв'язок між показниками безпечності та надійності, що дає змогу синтезувати із заданими рівнем функціональної безпечності та надійності наступні складові РЕСВП: відмовостійкі структури, алгоритми поведінки з часовою та функціональною надлишковістю, процедури стратегій технічного обслуговування та ремонту;

вперше запропоновано метод визначення функції аварійності на підставі розділення непрацездатних станів на непрацездатні безпечні стани, непрацездатні критичні та непрацездатні катастрофічні стани, який на відміну від існуючих підходів, дає змогу отримати мінімальні січення (слабкі місця системи) з моделі у вигляді графа станів і переходів без побудови дерева відмов. Це забезпечує врахування впливу на показники функціональної безпечності: динаміку підключення та різновиди активного резерву (гарячий, холодний, теплий); функціонування засобів контролю, діагностики та комутації; різновид стратегії технічного обслуговування; часову та функціональну надлишковість, введену в алгоритм поведінки радіоелектронної системи відповідального призначення;

вперше запропоновано метод розрахунку середнього значення ймовірності існування мінімального січення, який на відміну від існуючих, враховує дію прихованих відмов не тільки в кінці інтервалу планово-профілактичного обслуговування, а в будь-який момент часу на інтервалі експлуатації, що дає змогу отримати достовірні значення ймовірностей існування мінімальних січень для випадків, коли мінімальне січення містить виключно приховані відмови або комбінації прихованих та явних відмов. Разом з цим, за допомогою середніх значень ймовірностей появи мінімальних січень можна отримати середнє значення ймовірності появи аварійної ситуації РЕСВП за наявності прихованих відмов;

вперше запропоновано показники безпечності для відмовостійких РЕСВП з мажоритарною структурою: ймовірність потрапляння РЕСВП в передаварійну ситуацію та частоту потраплянь в аварійну ситуацію, які на відміну від існуючих кількісних показників, дають змогу визначити момент здійснення реконфігурації мажоритарної структури та вибрати доцільні варіанти резервування та стратегії технічного обслуговування. А це, насамперед, дає змогу синтезувати безпечні РЕСВП з мажоритарною структурою, які з мінімальною кількістю надлишковості забезпечують задані показники функціональної безпечності та надійності;

вперше запропоновано характеристику безпечності експлуатації алгоритму поведінки РЕСВП – частоту потрапляння у стани неуспішного завершення, яка на відміну від існуючих показників, відображає зв'язок між надлишковістю (часовою і функціональною) введенною в алгоритм і

функціональною безпечністю. Це дало змогу під час розв'язання задачі синтезу алгоритму поведінки оцінювати вплив введеної часової і функціональної надлишковості на показники ефективності РЕСВП, а врахування замість абсолютних значень від'ємних приростів частоти потрапляння в стани неуспішного завершення алгоритму поведінки забезпечує можливість не завищувати вимоги до апаратних засобів РЕСВП;

набув подальшого розвитку метод простору станів з використанням структурно-автоматної моделі, в якому, на відміну від існуючого, запропоновано удосконалену структуру вектора стану та маску аварійної ситуації, що дало змогу автоматизовано розділити простір непрацездатних станів в залежності від рівня критичності відмови, що забезпечило отримання траєкторії розвитку аварійних ситуацій і в результаті отримати комплексну модель, з якої визначати як показники надійності, так і функціональної безпечності;

набув подальшого розвитку метод побудови дерева відмов, згідно якого, на відміну від існуючого, дерево—відмов формується на базі функції аварійності і дає змогу перейти до логіко-ймовірнісної моделі від моделі у вигляді графа станів і переходів, що забезпечує візуалізацію аварійної ситуації і полегшує валідацію логіко-ймовірнісної моделі проектантом;

набули подальшого розвитку моделі стратегій технічного обслуговування для планово-профілактичного обслуговування та аварійно-відновлювальних робіт, які, на відміну від існуючих, дають змогу враховувати вплив на показники функціональної безпечності: виникнення прихованих відмов в будь-який момент часу; простою РЕСВП при відключенні її підсистем під час проведення процедур технічного обслуговування; аварій, спричинених раптовими відмовами; і призначені для розв'язання задач синтезу стратегії технічного обслуговування із заданим рівнем функціональної безпечності та мінімізувати вплив на безпечність прихованих відмов;

набли подальшого розвитку моделі відмовостійких систем з мажоритарною структурою для РЕСВП, які на відміну від існуючих, забезпечують врахування впливу на функціональну безпечність наявності резерву, можливість реконфігурації мажоритарної структури, використання технічного обслуговування і ремонту, і дають змогу синтезувати структуру РЕСВП із заданим рівнем функціональної безпечності і доцільним рівнем структурної надлишковості, що є особливо важливим для бортових інформаційно-керуючих систем літальних апаратів, зокрема безпілотних, для яких масо-габаритні показники є критичними;

набув подальшого розвитку метод синтезу параметрів стратегії технічного обслуговування за заданим значенням показника функціональної безпечності, в основу якого покладено визначення функції готовності з врахуванням ймовірності появи аварійної ситуації і, на відміну від існуючих методів, враховує в тривалостях простою не тільки зупинку РЕСВП при проведенні аварійно-відновлювальних робіт, а й примусову зупинку роботи РЕСВП під час проведення планово-профілактичних обслуговувань для

пошуку та усунення прихованих відмов, що дає змогу уникнути завищення значень функції

Значення отриманих результатів для практики. Основним практичним результатом дисертації є зменшення інтелектуального навантаження на розробника РЕСВП за рахунок розроблення низки методик і алгоритмів. Ці методики і алгоритми дали змогу: автоматизувати окремі етапи процесу оцінювання ризику експлуатації РЕСВП; підвищити достовірність, отриманих показників функціональної безпечності та надійності за рахунок підвищення ступеня адекватності моделей у вигляді графа станів та переходів; зменшити затрати часу розробника на розв'язання проектних завдань синтезу відмовостійкої структури, алгоритму поведінки та процедур стратегії технічного обслуговування та ремонту РЕСВП.

Серед одержаних практичних результатів слід відзначити:

1. Методику синтезу моделі стратегії технічного обслуговування сукупності РЕСВП у вигляді системи диференційних рівнянь Колмогорова – Чепмена. Розроблена методика, на відміну від існуючих, дає змогу проектантові отримувати модель, в якій враховано вплив на показники функціональної безпечності РЕСВП (ймовірність появи аварійної ситуації та ймовірності існування мінімальних січень) наступних параметрів стратегії технічного обслуговування: періодичності фази моніторингу прихованих відмов; середнє значення тривалості фази проведення планово-профілактичного обслуговування; періодичності фаз проведення планово-профілактичного обслуговування; середнє значення тривалості фази проведення аварійно-відновлювальних робіт; швидкість переходу ремонтної бригади від планово-профілактичного обслуговування до аварійно-відновлювальних робіт; кількість РЕСВП, які можуть бути на обслуговуванні одної ремонтної бригади. А також враховано показники надійності РЕСВП.

2. Методики надійнісного параметричного синтезу РЕСВП з мажоритарною структурою з реконфігурацією та дворівневою мажоритарною структурою. Показано, що середнє значення тривалості безвідмовної роботи відмовостійкої РЕСВП з використанням дворівневої мажоритарної структури, з умовою збереження її працездатності, коли справним залишається 1 ядро із 3, є більшим, зокрема в порівнянні з відмовостійкою РЕСВП на основі мажоритарної структури з фіксованим правилом прийняття рішення типу «2 із 3» на 9480 годин (або на 114 %), а в порівнянні з відмовостійкою РЕСВП з використанням дворівневої мажоритарної структури, з умовою збереження її працездатності, коли справними залишаються 2 ядра із 3, на 10937 год. (або на 159 %).

3. Методологію синтезу безпечних алгоритмів поведінки РЕСВП, в яких на відміну від існуючих врахована часова надлишковість, у вигляді циклів повторного виконання критичних функцій, та функціональну надлишковість у вигляді передачі виконання задачі іншим підсистемам РЕСВП. Ця методологія дає змогу проектантам створювати методики синтезу безпечних алгоритмів поведінки для кожного конкретного типу РЕСВП, в яких є можливість використовувати названі вище види надлишковості і досягти заданого рівня

ймовірності виконання задачі при жорстких обмеженнях на тривалість виконання задачі.

4. Методику підтвердження достовірності отриманого результату синтезу безпечного алгоритму поведінки. Дана методика забезпечує підтвердження достовірності отриманого результату синтезу безпечного алгоритму поведінки РЕСВП шляхом його отримання принципово іншим методом, оскільки на етапі системотехнічного проектування отримати результати експериментальним шляхом є неможливим.

Повнота викладу основних результатів та висновків в опублікованих працях. За результатами досліджень, які викладені в дисертаційній роботі, опубліковано 118 наукових праць, серед них монографій – 2, патент України на винахід – 1, статей у іноземних періодичних виданнях – 5 (з них 5 – у науковій періодиці, що входить до міжнародних наукометричних баз різного рівня Scopus, Index Copernicus, Infobase Index, Academic Research Index), статей у фахових виданнях України – 36 (з них 13 – у науковій періодиці, що входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus), у періодичних наукових виданнях України – 1, у збірниках матеріалів міжнародних та всеукраїнських конференцій – 73, (з них – 27 індексованих у наукометричних базах Scopus та Web of Science).

Зауваження до роботи.

1. В дисертації відсутня оцінка зростання розмірності простору станів при переході від структурно-автоматної моделі призначеної для визначення показників надійності до бінарної структурно-автоматної моделі призначеної для визначення показників функціональної безпечності та вплив такого на достовірність значень показників надійності.

2. В роботі відсутні пояснення наявності мінімуму на залежності функції готовності від наявності прихованих відмов (розділ 3, рис. 3.10) та від періодичності проведення планових профілактичних робіт (рис. 8 автореферату).

3. Не зрозуміло, чому при відсутності надлишковості (функціональної чи часової) максимум характеристики безпечності алгоритму поведінки $w(t)$ буде в точці $t=0$.

4. В дисертаційній роботі відсутні рекомендації щодо вибору методу розв'язку системи диференціальних рівнянь який би забезпечував необхідну точність отриманого результату.

5. В роботі приведено лише метод та алгоритм побудови функції аварійності. Разом з цим було б добре сформулювати вимоги до створення програмних засобів побудови функції аварійності;

6. Потребує пояснення, які обмеження накладаються на розроблені методи наприклад – розмір простору стану при побудові математичної моделі.

7. В роботі було б доцільно привести приклад, який ілюструє методику підтвердження достовірності отриманих результатів синтезу АП методом схеми шляхів.

8. В тексті дисертації зустрічаються незначні стилістичні та орфографічні помилки.

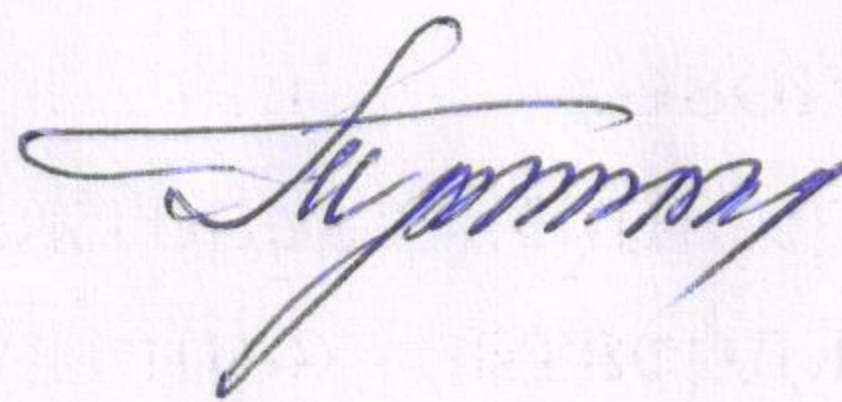
Однак, зазначені вище недоліки не є визначальними і не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Загальні висновки. Дисертаційна робота Озірковського Л.Д. є завершеною працею, що виконана автором самотійно на високому науковому рівні. В роботі розв'язана важлива науково-прикладна проблема розвитку теоретичних засад комплексного забезпечення рівня функціональної безпечності та надійності радіоелектронних систем відповідального призначення на етапі їх системотехнічного проектування.

За актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною значимістю одержаних результатів дисертаційна робота Озірковського Л.Д., яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, відповідає вимогам до докторських дисертацій п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р. та № 567 від 27.07.2016 р.), а її автор Озірковський Леонід Деонісійович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

професор кафедри кібербезпеки та захисту
інформації факультету інформаційних технологій
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка
доктор технічних наук, професор



С. В. Толюпа

Після засідання
ВЧЕКМІ СЕКРЕТАР НАЧ
КАРАУЛЬНА Н.В.
10.11.2020р.

