

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Шкілюк Олександр Петрович



УДК 004.942+621.398

**ЗАСОБИ БАГАТОВАРІАНТНОГО АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ
АЛГОРИТМІВ ПОВЕДІНКИ БОРТОВОЇ РАДІОТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ
СИСТЕМИ КОРОТКОТРИВАЛОГО ВИКОРИСТАННЯ**

05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Озірковський Леонід Деонісійович, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Харченко В'ячеслав Сергійович, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Сальник Юрій Павлович, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, начальник науково-дослідного відділу Наукового центру Сухопутних військ.

Захист дисертації відбудеться “01” грудня 2017 р. о 15⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.10 у Національному університеті “Львівська політехніка” (79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 226 головного навчального корпусу).

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий “27” жовтня 2017 р.

*Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, к.т.н., доцент*



І. В. Демидов

Актуальність теми. При виконанні завдання сучасним радіоелектронним комплексом його системами здійснюється збір і оброблення великої кількості інформації, яку необхідно передавати в центр керування комплексом. Згідно цієї інформації визначаються стани і режими роботи окремих пристроїв та систем комплексу в залежності від виконання конкретного завдання, зовнішніх та внутрішніх умов. Для отримання, первинного оброблення, передавання та зберігання цієї інформації застосовують радіотелеметричні системи. Бортова радіотелеметрична система, розміщена на літальному апараті або наземному транспортному засобі, повинна забезпечити успішне виконання своєї цільової функції з високою ймовірністю за короткий інтервал часу. Таку систему називають системою короткотривалого використання.

На етапі системотехнічного проектування бортової радіотелеметричної системи (БРТС) короткотривалого використання необхідно вибрати технічні рішення, які забезпечать задане значення показника її ефективності. Для визначення показника ефективності БРТС короткотривалого використання застосовується алгоритм її функціональної поведінки.

Алгоритм поведінки (АП) – це формалізоване представлення використання інформації складових БРТС короткотривалого використання при виконанні поставленого завдання, що складається з розгорнутої у часі послідовності певних операцій або процедур. Для такого алгоритму характерними є можливість введення часової надлишковості та обмеження тривалості виконання завдання. Особливостями АП можна назвати наявність: циклів, стохастичних і детермінованих переходів, що важливо для відтворення надійної й функціональної поведінки БРТС короткотривалого використання; процедур підключення резерву, процедур самоконтролю і діагностики програмно-апаратних засобів; процедур перемикання між складовими частинами системи. При визначенні середнього значення тривалості виконання АП необхідно враховувати виходи з циклу за певної умови та спроби не лише успішного, а й неуспішного його виконання. Слід відзначити, що для АП короткотривалого використання неврахування неуспішних спроб вносить похибку при визначенні середнього значення тривалості його виконання.

Показник ефективності АП визначається як ймовірність досягнення мети, що для прикладних завдань може інтерпретуватися як ймовірність правильного виконання алгоритму за відведений час. Тому на етапі системотехнічного проектування БРТС короткотривалого використання одним із основних завдань є вибір АП із сукупності варіантів, що полягає у синтезі АП шляхом зміни його конфігурації та параметрів окремих блоків і аналізі кожного з варіантів реалізації алгоритму. Це дозволяє перевірити правильність прийнятих технічних рішень, знайти слабкі місця системи і допомагає сформулювати рекомендації щодо забезпечення або підвищення її ефективності.

Тому для вибору варіанту АП потрібно мати сукупність засобів (моделей, методів та програмного забезпечення), які дозволять отримати достовірний результат за прийнятний час для тривалості етапу системотехнічного проектування. При моделюванні та аналізі алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання при можливості потрібно використовувати такі

методи, які дозволяють враховувати всі особливості АП та повністю або частково автоматизувати процес оцінювання показників його ефективності.

Для аналізу та оптимізації структурно-алгоритмічних систем, до яких належать алгоритми поведінки БРТС короткотривалого використання, академіком В. М. Глушковим було запропоновано мову алгоритмічних алгебр. З використанням цієї мови І. В. Сафонов показав, що використовуючи канонічні регулярні форми алгоритмів (лінійна, диз'юнктивна, ітеративна та паралельна), можна змоделювати як зовнішню (функціональну) так і внутрішню (надійнісну) поведінку будь-якої структурно-алгоритмічної системи. Розв'язання завдань проектування та оцінювання надійності алгоритмів продовжилося в роботах А. І. Губінського, А. Т. Ашерова, О. П. Ротштейна, М. Г. Грифа, Е. Б. Цоя, Г. В. Дружиніна. Їхні наукові здобутки були розвинені та вдосконалені у одноосібних та спільних із О. П. Ротштейном працях С. Д. Штовби. В їх працях реалізовано можливість нечіткого аналізу надійності алгоритмів, врахування помилок сумісних типів та оператора циклічного повторення.

Формалізація методів логіко-імовірнісного моделювання, теоретичні і методологічні основи яких були закладені І. А. Рябініним та А. С. Можаяєвим, полягає в тому, що на основі вербальної моделі АП потрібно вручну побудувати граф функціональної цілісності. Цей граф представляє вхідні дані для подальшого формування моделі алгоритму поведінки БРТС.

Для оцінювання імовірності успішного виконання АП та середнього значення тривалості його виконання можна застосувати і метод траєкторного моделювання. Для цього використовується графова модель алгоритму поведінки БРТС. Показники ефективності АП в такій моделі можна визначити за допомогою транзитивних імовірностей альтернативних переходів і послідовного перебору всіх можливих маршрутів проходження графа від вхідного вузла до вихідного.

Для аналізу певних класів АП використовують і мережі Петрі. Однак, під час моделювання АП з циклами, дія, пов'язана з прийняттям рішення, може ввести мережу в конфлікт. Тому моделювання АП за допомогою мережі Петрі вимагає формування такої послідовності подій, яка унеможливить конфлікт двох дозволених переходів. Використання кольорових (розмічених) мереж Петрі теж не дало прийняттого для практичного використання результату через ускладнення опису циклів. Спроби розв'язати завдання врахування циклів для аналізу поведінки систем були зроблені із застосуванням GO-FLOW-методу, який є подальшим розвитком GO-методу. При застосуванні цього методу має місце значне розширення GO-FLOW-схеми, коли збільшується кількість сигналів L , які утворюють 2^L комбінацій станів при збільшенні кількості циклів.

Метод імітаційного комп'ютерного моделювання дозволяє розв'язувати завдання аналізу великих систем, включаючи завдання оцінювання: варіантів структури системи, ефективності різних алгоритмів керування системою або її поведінки, впливу зміни різних параметрів системи. Однак, розроблення кожної імітаційної моделі (моделюючих алгоритмів для аналізу фіксованої системи) є окремим завданням, яка потребує значних часових затрат і не є гнучким при модифікації АП. Також зазначений підхід не дає можливості дослідити поведінку складної системи в кожному стані зокрема.

Альтернативним методом для аналізу алгоритмів поведінки є метод простору станів. У працях Б. Ю. Волочія представлено технологію моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем за допомогою структурно-автоматної моделі. Однак, для розв'язання завдання багатоваріантного аналізу алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання методу автоматизованої побудови графа станів і переходів потрібно модифікувати.

З проведеного аналізу інформаційних джерел встановлено, що жоден із розглянутих методів не дозволяє вирішувати завдання багатоваріантного аналізу алгоритмів поведінки складних систем з урахуванням всіх особливостей АП БРТС короткотривалого використання. Ця обставина породила актуальне наукове завдання розроблення засобів багатоваріантного аналізу та оцінювання показників ефективності алгоритму поведінки бортових радіотелеметричних систем короткотривалого використання.

Актуальність цього наукового завдання, його практичне значення і зумовили вибір теми, мети, завдань і структури дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Результати представлених досліджень пов'язані з виконанням планових науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України, які виконувались на кафедрі теоретичної радіотехніки та радіовимірювань Національного університету «Львівська політехніка», відповідають науковому напрямку та тематиці досліджень кафедри «Теорія і методи проектування радіотехнічних кіл, систем і комплексів та забезпечення їх якості», а саме: «Розроблення моделей, методів та алгоритмів для автоматизованої оцінки показників надійності радіоелектронних та електромеханічних пристроїв та систем» та «Розроблення моделей надійності, ризику та безпечності програмно-апаратних технічних систем». У перелічених науково-дослідних роботах автор приймав участь як виконавець.

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення засобів для розв'язання завдань параметричного синтезу алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання на етапі її системотехнічного проектування. Причому вибір алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання здійснюється з урахуванням таких особливостей: наявності успішних і неуспішних спроб виконання АП, що відображається в допустимому часі на виконання завдання та ефективного використанні часової надлишковості; надійності апаратного забезпечення при виконанні АП, що полягає у врахуванні надійнісної поведінки БРТС короткотривалого використання, процедур самоконтролю і діагностики апаратних засобів, розрізненні збоїв та втрат працездатності апаратних засобів.

Для досягнення поставленої в роботі мети було розв'язано наступні часткові завдання:

1. Проведено аналіз особливостей алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання для визначення можливостей їх математичного моделювання та визначення показників ефективності.

2. Модифіковано метод простору станів для розроблення моделей та оцінювання показників ефективності алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання.

3. Запропоновано метод побудови моделей алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання у вигляді «схеми шляхів».

4. Розроблено методику оцінювання показників ефективності алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання з урахуванням їх функціональних особливостей, в основу якої покладено модифікований метод простору станів і новий метод моделювання алгоритмів поведінки – метод «схеми шляхів».

5. Розроблено прототип програмного засобу для оцінювання показників ефективності алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання методом «схеми шляхів».

Об'єктом дослідження є процес взаємодії підсистем бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання під час виконання завдання згідно її алгоритму функціональної поведінки.

Предметом дослідження є показники ефективності алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання.

Показниками ефективності алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання є імовірність його успішного виконання за визначений проміжок часу та середнє значення тривалості його виконання.

Методи дослідження, що використані в роботі, базуються на теорії системотехнічного проектування радіотехнічних систем та комплексів, теорії моделювання складних систем, теорії марковських випадкових процесів, теорії надійності складних систем. Розроблення моделей алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання здійснене з використанням удосконаленої технології аналітичного моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем, у якій застосовано метод формалізованого представлення об'єктів дослідження у вигляді структурно-автоматної моделі та метод побудови моделей у вигляді графа станів і переходів на основі структурно-автоматної моделі, математичний апарат теорії моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем для побудови математичної моделі у вигляді системи диференційних рівнянь Колмогорова - Чепмена. Для їх розв'язання використано методи одержання чисельних розв'язків систем лінійних диференційних рівнянь. Для розроблення методу «схеми шляхів» застосовані методи теорії імовірності.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні результати роботи, які визначають її наукову новизну та виносяться на захист:

1. Вперше запропоновано метод побудови моделей алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання у вигляді «схеми шляхів», який, на відміну від існуючих, враховує ефективне використання часової надлишковості алгоритму поведінки та успішне і неуспішне його завершення і, разом з цим, дозволяє зменшити затрати часу на розроблення моделі алгоритму поведінки.

2. Вперше розроблено дві нові моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання для режиму запису і

напрявленої передачі та режиму запису, спрявленої передачі і відтворення телеметричної інформації, які, на відміну від відомих, не потребують представлення алгоритму поведінки канонічними регулярними формами і логічними функціями та враховують успішні і неуспішні спроби його виконання при визначенні середнього значення тривалості виконання алгоритму поведінки, що дає змогу підвищити достовірність результатів аналізу.

3. Набув подальшого розвитку метод автоматизованої побудови графа станів і переходів, який, на відміну від відомого, передбачає модифікацію запису умови відмови та оброблення результатів розв'язання системи лінійних диференціальних рівнянь для врахування часової надлишковості та успішного і неуспішного завершення алгоритму поведінки, що дало змогу формувати рекомендації для ефективного використання його часової надлишковості та підвищити достовірність показників ефективності.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

1. Запропоновано виконувати моделювання алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання модифікованим методом простору станів, який дає змогу проводити багатоваріантний аналіз показників ефективності та, в залежності від складності алгоритму поведінки, на 50-75 відсотків скорочує часові затрати при їх системотехнічному проектуванні.

2. Запропоновано методику моделювання алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання на основі методу «схеми шляхів», яка дала змогу формалізувати та автоматизувати процес отримання моделі алгоритму поведінки.

3. На основі методу «схеми шляхів» розроблено прототип програмного засобу для багатоваріантного аналізу показників ефективності алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання в режимі реального часу.

Результати дисертаційної роботи використані:

- у держбюджетній науково-дослідній роботі «Розроблення моделей, методів та алгоритмів для автоматизованої оцінки показників надійності радіоелектронних та електромеханічних пристроїв та систем» (номер держреєстрації №0110U001098);

- у держбюджетній науково-дослідній роботі «Розроблення моделей надійності, ризику та безпечності програмно-апаратних технічних систем» (номер держреєстрації № 0113U001371);

- у науково-дослідній роботі за шифром «Комплекс-С» у Науковому Центрі Сухопутних військ Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок автора в отриманих наукових результатах полягає в тому, що всі положення, які становлять суть дисертації, були сформульовані та одержані самостійно. В роботах, написаних у співавторстві, авторів дисертації належить: [3, 21, 22] – модифікований метод автоматизованої побудови графа станів і переходів, розроблення моделі для оцінювання показників ефективності програмно-апаратної радіоелектронної системи на основі її алгоритму поведінки; [11, 20] – розроблення методики оцінювання показників ефективності алгоритму поведінки радіоелектронного комплексу моніторингу повітряного простору; [19] – формалізація представлення

алгоритму поведінки радіоелектронної системи у вигляді структурно-алгоритмічної системи; [6, 10, 16, 17] – метод «схеми шляхів» і модель алгоритму поведінки з використанням цього методу; порівняння методів оцінювання показників ефективності алгоритмів поведінки радіоелектронних комплексів: методу простору станів, методу «схеми шляхів», методу мови алгоритмічних алгебр; [1, 2, 4, 5, 7 - 9, 12 - 15, 18] – участь в розробленні структурно-автоматних моделей об'єктів дослідження.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи доповідалися та обговорювалися:

- на 12 міжнародних наукових конференціях і семінарах: міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії TCSET» (Україна, Львів – Славсько, 2012, 2014); міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій РТ» (Україна, Севастополь, 2012); міжнародній конференції молодих вчених «Computer Science & Engineering CSE» в рамках міжнародного фестивалю науки «LITTERIS ET ARTIBUS» (Україна, Львів, 2013); міжнародній науково-технічній конференції «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи РТПСАС» (Україна, Київ, 2013, 2014); міжнародній науково-практичній конференції «Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки PREDT», (Україна, Чернівці, 2013, 2014); міжнародній конференції «Dependable Systems, Services & Technologies DeSSerT» (Україна, Київ, 2014); міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» (Україна, Запоріжжя, 2014); Міжнародній конференції з інформаційно-телекомунікаційних технологій та радіоелектроніки УкрМіКо'2016 (Україна, Київ, 2016); 22-й Міжнародній науково-технічній конференції GEOFORUM'2017 (Україна, Львів - Брюховичі - Яворів, 2017).

- на 3 науково-технічних конференціях України: науково-технічній конференції науково-педагогічних працівників «Проблеми та перспективи розвитку економіки і підприємництва та комп'ютерних технологій в Україні» (Львів, 2013); Всеукраїнських науково-практичних конференціях «Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій СПТЕЛ» (Львів, 2013, 2014).

Результати дисертаційної роботи неодноразово обговорювалися на наукових семінарах кафедри «Теоретична радіотехніка та радіовимірювання» Національного університету «Львівська політехніка».

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи висвітлено в 22 публікаціях, із них 1 – у іноземному періодичному виданні, 7 – у фахових виданнях України, 11 – у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій та 3 – у матеріалах науково-технічних конференцій України.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 150 найменувань, одного додатку. Загальний обсяг роботи складає 168 сторінок, із них 110 сторінок основного тексту, 17 рисунків та 11 таблиць, 2 додатки на 7 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі проведено обґрунтування актуальності тематики дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання дисертаційних досліджень, визначено об'єкт і предмет дослідження, відображено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, представлено зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Також наведено список публікацій здобувача та апробацію результатів дисертації, показано структуру та обсяг роботи.

У першому розділі дисертації – **«Завдання системотехнічного проектування радіотелеметричних систем»** – проведено аналіз сучасного стану методів, моделей та програмних засобів для розв'язання завдань багатоваріантного аналізу ефективності алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання. Разом з цим, здійснено огляд складу і принципів побудови телеметричних систем та виділені їх особливості, які є визначальними з точки зору оцінювання ефективності їх алгоритмів поведінки.

Алгоритм поведінки БРТС короткотривалого використання розробляється на етапі її системотехнічного проектування з урахуванням допустимого часу на виконання завдання та ефективного використання часової надлишковості. Для побудови математичних моделей АП бортової радіотелеметричної системи було проведено аналіз сучасних методів побудови моделей, які дають змогу проводити кількісне оцінювання показників ефективності АП. Метою аналізу був вибір методу і технології моделювання, які дають змогу повноцінно відобразити в одній моделі особливості функціонування радіотелеметричної системи, а також показники надійності її складових. Для визначення показників ефективності БРТС короткотривалого використання на сьогодні найчастіше застосовують такі методи моделювання: моделювання поведінки структурно-алгоритмічних систем мовою алгоритмічних алгебр; логіко-імовірнісне моделювання; імітаційне моделювання; мережі Петрі; GO-, GO-FLOW-методи; метод простору станів. Моделювання АП систем для забезпечення достовірності результатів зазвичай проводять кількома різними методами. Технологія моделювання повинна мати високий ступінь формалізації, щоб забезпечити безпомилкову побудову упродовж короткого часу декількох варіантів моделі АП залежно від змін структури БРТС та параметрів її складових для досягнення заданого рівня показників ефективності системи.

Для застосування методу простору станів доцільно використати технологію моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем, представлену у наукових працях Б. Ю. Волочія. Суть цієї технології полягає в представленні об'єкта дослідження за допомогою структурно-автоматної моделі, яка містить три множини даних: вектор станів (відображає суть кожного стану), множину формальних параметрів (відображає структуру об'єкта, можливості процедур та характеризує потоки подій) та дерево правил модифікації компонент вектора стану (відображає поведінку об'єкта при обраній структурі). Структурно-автоматна модель формалізовано відтворює поведінку складної системи і за допомогою спеціального алгоритму дає змогу отримати граф станів і переходів, інцидентний її поведінці.

Наявний програмний засіб ASNA, створений на основі цієї технології дозволяє розв'язувати завдання багатоваріантного аналізу алгоритмів поведінки складних систем. Він автоматизує процес побудови графа станів і переходів та формування аналітичної моделі у вигляді системи диференційних рівнянь Колмогорова - Чепмена, порядок якої визначається кількістю станів. При використанні цієї технології проєктант має змогу сам вибрати наскільки повно йому необхідно враховувати процеси, що протікають в системі. Можливість деталізації опису поведінки БРТС короткотривалого використання визначається відомою інформацією про об'єкт. Програмний засіб ASNA був розроблений для надійнішого аналізу та синтезу відмовостійких систем, поведінка яких описувалася лише стохастичними процесами. Тому в ньому у явній формі не передбачено можливості для розв'язання завдань оцінювання та аналізу АП, який містить не лише стохастичні, а й детерміновані переходи.

У другому розділі роботи – **«Удосконалення методу автоматизованої побудови графа станів і переходів для оцінювання ефективності алгоритмів поведінки радіотелеметричної системи короткотривалого використання»** – здійснено вибір та вдосконалення методу, який дає змогу автоматизовано будувати модель алгоритму поведінки, яка враховує особливості БРТС короткотривалого використання і дозволяє здійснити синтез АП через багатоваріантний аналіз. Основними критеріями вибору методу автоматизованої побудови графа станів і переходів, як базового для оцінювання ефективності алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання була можливість враховувати логіку виконання АП, технічні характеристики підсистем БРТС короткотривалого використання та наявність програмного засобу ASNA. Однак для використання цього методу виникає необхідність його вдосконалення шляхом внесення змін в окремі елементи структурно-автоматної моделі.

Суть вдосконалень полягає в наступному. Алгоритм поведінки БРТС короткотривалого використання має ряд особливостей, які необхідно в явній формі відобразити на блок-схемі АП, а саме: стохастичні і детерміновані переходи для розрізнення втрати працездатності апаратних засобів та збоїв програмного забезпечення, існування циклів в АП, реалізацію виходу з циклу за певної умови. Врахування цих особливостей дає змогу відобразити в моделі не лише надійнісну, а й функціональну поведінку БРТС короткотривалого використання. Тому потреба прийняти до уваги ці особливості АП при його моделюванні зумовила введення двох різних типів перевіряючих блоків.

Перевіряючі блоки АП відображають розгалуження і розділені на два типи: стохастичний блок альтернативного переходу і детермінований блок умовного переходу. Стохастичний блок альтернативного переходу, призначений для опису зміни режиму роботи БРТС короткотривалого використання в процесі виконання завдання, характеризується такими параметрами: p – імовірність правильного виконання попереднього операційного блоку або імовірність переходу з попереднього операційного або перевіряючого в наступний блок; $q = 1 - p$ – імовірність неправильного виконання попереднього операційного блоку або імовірність переходу з попереднього операційного або перевіряючого в наступний блок. Таким чином, використанням стохастичного блоку

альтернативного переходу можна відтворювати фрагменти надійнісної поведінки досліджуваної системи. Детермінований блок умовного переходу відображає фрагменти сценарію використання програмного забезпечення, виконання циклу з умовою та характеризується імовірностями: $p^+ = 1$, якщо виконується умова перевірки блоку; $q^- = 1$ в протилежному випадку. Таке представлення умовного переходу в детермінованих блоках зумовлене тим, що в подальшому необхідно математично співставити їх роботу зі стохастичними блоками альтернативного переходу. Операційні блоки АП відображають функції підсистем та пристроїв, які входять в склад БРТС короткотривалого використання. Тривалість виконання кожної функції або процедури є випадковою величиною і описується значенням $T_{сер}$, що відображає середній операційний час виконання функції або процедури. Необхідно зазначити, що послідовно з'єднані операційні блоки, зміни параметрів яких не потребують деталізації при моделюванні, об'єднують в один із підсумовуванням $T_{сер}$ кожного операційного блоку. Таким чином можна редукувати графічне відображення алгоритму, а відповідно і розмірність моделі, оскільки кількість операційних блоків АП визначає розмірність моделі.

Цикли АП графічно відображаються на блок-схемі розгалуженнями перевіряючих блоків з переходом на один із попередніх операційних блоків. При цьому перехід на цільовий операційний блок для унеможливлення зациклення алгоритму при моделюванні доцільно зробити не безпосередньо, а через проміжний блок, що виконуватиме функцію лічильника кількості виконаних циклів. Система позначень операційних та перевіряючих блоків на блок-схемі АП є важливою для унеможливлення плутанини та забезпечення зручності компонування формул, оцінювання в подальшому показників ефективності (див. табл. 1).

Згідно системи позначень операційних (ОБ) та перевіряючих (ПБ) блоків:

1. i -ий операційний блок позначається як $ОБ_i$;
2. Середнє значення тривалості виконання i -го $ОБ_i$ позначається як T_i ;
3. n -ий перевіряючий блок позначається як $ПБ_n$;
4. Імовірності переходу з n -го $ПБ_n$ у наступний блок можуть позначатися двома способами:

- простим – p_n і q_n , якщо не має значення тип наступного блоку;
- ідентифікованим – якщо інформація про тип наступного блоку має значення, а саме: для переходу з n -го $ПБ_n$ у m -ий $ПБ_m$ імовірність позначається як p_{n_m} , а для переходу з n -го $ПБ_n$ у i -ий $ОБ_i$ імовірність позначається як r_{n_i} ;

5. Блок-лічильник на блок-схемі не нумерується, оскільки несе допоміжну інформацію та відображає зміну ідентифікатора кількості повторень циклу. Блок завершення може нумеруватися або позначатися символічно, проте він не має середнього значення тривалості виконання.

6. Успішне або неуспішне виконання АП завершується у відповідному блоці.

Для дослідження показників ефективності алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання методом автоматизованої побудови графа станів і переходів необхідною є побудова структурно-автоматної моделі (САМ) – формалізованого представлення структури і поведінки досліджуваної системи.

На першому етапі модифікації САМ для моделювання АП потрібно врахувати те, що для таких алгоритмів відбувається лише одна подія – виконання операційного блоку. Множина формальних параметрів повинна містити всі технічні характеристики складових БРТС короткотривалого використання (середні значення тривалості виконання кожної функції БРТС короткотривалого використання, імовірності виконання цих функцій, надійність апаратних засобів і програмного забезпечення), що забезпечує побудову адекватної математичної моделі АП. Формування вектора стану (ВС) полягає в записі усіх змінних, які будуть використовуватися при побудові дерева правил модифікації ВС. Кількість компонент ВС визначає деталізацію опису об'єкта у моделі. З іншого боку кількість компонент ВС впливає на розмірність моделі. У ВС вносяться компоненти, які характеризують поточний стан БРТС короткотривалого використання в кожен момент часу, а також компоненти, що визначають особливості режиму її роботи.

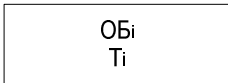
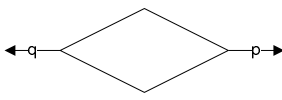
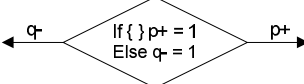
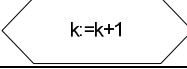
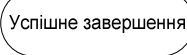
Інтенсивність переходу із j -го стану моделі БРТС у $(j+1)$ -ий дорівнює добутку інтенсивності виконання операційного блоку АП, що відповідає j -ому стану БРТС короткотривалого використання, на імовірності переходів перевіряючих блоків, що знаходяться на шляху АП, і веде до операційного блоку, який відповідає $(j+1)$ -ому стану моделі БРТС короткотривалого використання:

$$\lambda_{j_{(j+1)}} = \frac{1}{T_i} \cdot p_n \cdot p_m \quad \text{або} \quad \lambda_{j_{(j+1)}} = \frac{1}{T_i} \cdot p_{n_m} \cdot r_{m_{(i+1)}} , \quad (1, 2)$$

де T_i – середнє значення тривалості виконання операційного блоку $ОБ_i$ АП; p_n і p_{n_m} – імовірність переходу зі стохастичного блоку альтернативного переходу $ПБ_n$ в стохастичний блок альтернативного переходу $ПБ_m$; p_m і $r_{m_{(i+1)}}$ – імовірність переходу зі стохастичного блоку альтернативного переходу $ПБ_m$ у $ОБ_{(i+1)}$.

Слід зазначити, що введення в блок-схему алгоритму поведінки окрім стохастичного блоку альтернативного переходу ще й детермінованого блоку умовного переходу зумовило особливий запис формули розрахунку імовірності альтернативного переходу. Поки лічильник кількості повторень циклу не обнулиться або не досягне максимального значення, алгоритм може виконуватися виключно по одному з можливих шляхів через перехід p^+ або q^- залежно від умови перевірки детермінованого блоку умовного переходу. Тільки після закінчення циклу і зміни початкового результату перевірки умови детермінованого блоку умовного переходу на протилежний, алгоритм виконуватиметься через інший перехід. Формули розрахунку інтенсивності

Таблиця 1 – Блоки, які використовуються для графічного представлення алгоритмів поведінки складних систем

	Операційний блок $ОБ_i$
	Стохастичний блок альтернативного переходу $ПБ_n$
	Детермінований блок умовного переходу $ПБ_n$:
	Блок-лічильник
	Блок завершення

базової події, формули розрахунку імовірності альтернативного переходу та правила модифікації компонент ВС заносяться у відповідні поля дерева правил модифікації компонент ВС, яке відображає поведінку БРТС короткотривалого використання.

Для аналізу алгоритму поведінки потрібно отримати повний розподіл ймовірностей перебування БРТС короткотривалого використання у станах. Експортування даних моделювання з програмного засобу ASNA у електронні таблиці є необхідним для формування показників ефективності АП та їх подальшого дослідження. Вибір показника ефективності визначається конкретним завданням, виконання якого повинна забезпечити БРТС короткотривалого використання. Показник ефективності повинен відображати здатність системи виконувати свої основні функції та мати зрозумілий фізичний зміст.

Після експортування розподілу імовірностей перебування у станах у табличний процесор потрібно ідентифікувати стани, що відповідають тому операційному блоку або блоку завершення, для якого формується показник ефективності. Цей показник визначається шляхом підсумовування імовірностей перебування у відповідних станах.

Дослідження показників ефективності алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання полягає у багатократній зміні наборів вхідних даних у множині формальних параметрів САМ, визначених проектантом, від зміни яких буде залежати імовірність виконання цільової функції БРТС короткотривалого використання, автоматизованій генерації нових графів станів та переходів, систем лінійних диференціальних рівнянь Колмогорова - Чепмена, знаходженням її розв'язків у програмному засобі ASNA та отриманні значення показника ефективності. В результаті отримаємо сімейство характеристичних кривих показника ефективності в залежності від зміни конкретних вхідних параметрів. Це є підставою для вибору кращого з варіантів побудови БРТС короткотривалого використання. Для визначення середнього значення тривалості виконання алгоритму поведінки необхідно розв'язати матричне рівняння:

$$|T| = -|P| \cdot |B|^{-1}, \quad (3)$$

де $|T|$ – матриця часу виконання АП; $|P| = |1 \ 0 \ \dots \ 0|$ – матриця-рядок початкового розподілу ймовірності; $|B| = |A|^T$ – транспонована матриця інтенсивностей переходів. Середнє значення тривалості виконання алгоритму поведінки дорівнюватиме сумі всіх значень тривалостей перебування в станах матриці $|T|$, окрім станів завершення алгоритму (успішного і неуспішного).

Для розв'язання завдань аналізу ефективності БРТС короткотривалого використання на системотехнічному етапі її проектування необхідно проводити чисельні дослідження та розрахунки для оцінювання показників ефективності різних варіантів побудови алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання.

Достовірність результатів моделювання на етапі системотехнічного проектування забезпечується використанням двох принципово різних методів моделювання об'єкту проектування. Тому було необхідно обрати другий метод

моделювання АП. Визначальним фактором стала можливість автоматизації оцінки показників ефективності БРТС короткотривалого використання. Розглядаючи варіанти вибору між мовою алгоритмічних алгебр та методом траєкторного моделювання, вдалося розробити новий метод на основі методу траєкторного моделювання.

У третьому розділі роботи – «Оцінювання ефективності алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання з використанням методу «схеми шляхів» – для компактного відтворення алгоритму поведінки замість блок-схеми було розроблено нове математичне представлення АП – «схему шляхів».

«Схема шляхів» є представленням алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання в компактній формі, що відображає сукупність всіх шляхів, які ведуть до успішного або неуспішного виконання цільової функції БРТС короткотривалого використання. Для формування «схеми шляхів» операційні блоки (ОБ) потрібно перетворити у відповідні їм функціональні блоки (ФБ) і показати зв'язки між ними переходами L_{i_m} . Використання методу «схеми шляхів» здійснюється за такими правилами (див. табл. 2):

1. ФБ_i на «схемі шляхів» відповідає ОБ_i на блок-схемі АП та приймає його середнє значення тривалості виконання функції T_i .

2. Якщо фрагмент алгоритму виконується повторно, то на «схемі шляхів» він відображається повторюваним функціональним блоком (ПФБ_i), в якому враховується імовірність його повторного виконання $p_{ПФБ_i}$ та кількість його повторних виконань $k_{ПФБ_i}$.

3. Параметром переходу $p_{L_{i_m}}$, який зв'язує на «схемі шляхів» ФБ_i та ФБ_m, є добуток значень всіх імовірностей, відображених в стохастичних блоках альтернативного переходу та детермінованих блоках умовного переходу АП, що лежать на шляху між ОБ_i та ОБ_m.

4. Функціональний блок завершення на «схемі шляхів» відповідає сукупності однотипних блоків завершення на блок-схемі АП і не має параметра «середнє значення тривалості виконання».

Таким чином, для одного і того ж АП «схема шляхів» налічує стільки ж функціональних блоків, скільки на блок-схемі АП є операційних блоків. При цьому – зовсім не має перевіряючих блоків, а фрагмент алгоритму, що містить цикл на «схемі шляхів» може бути представлений одним повторюваним функціональним блоком.

Імовірність існування переходу $p(L)$ визначається добутком імовірностей p_{mn} , які належать стохастичним блокам альтернативного переходу, що лежать на даному переході L :

$$p(L) = \prod_{(m,n) \in L} p_{mn} \quad (4)$$

Таблиця 2 – Функціональні блоки, з яких формується «схема шляхів» алгоритму поведінки

ФБ _n T _n	Функціональний блок ФБ _i
ПФБ _n T _n pФБ _n kФБ _n	Повторюваний функціональний блок ПФБ _i
Успішне завершення	Блок завершення

Тривалість проходження переходу L визначається формулою:

$$T(L) = \sum_{m \in L} T_{Bm}, \quad (5)$$

де T_{Bm} – середнє значення тривалості виконання m -го функціонального блоку, що лежить на даному переході.

Взявши за основу формули (4) та (5) і розроблену «схему шляхів», з'являється можливість описати модель АП у формі запису виразу проходження найдовшого шляху S_{max} від початку до блоку завершення з урахуванням кількості виконаних циклів АП:

$$p(S_{max}) = \prod_{i=1}^I (p(L_i))^{N_i}, \quad (6)$$

$$T(S_{max}) = \sum_{m=1}^M (N_m \cdot T_{Bm}), \quad (7)$$

де $p(S_{max})$ – імовірність існування найдовшого шляху виконання S_{max} ; $T(S_{max})$ – тривалість проходження найдовшого шляху виконання S_{max} ; T_{Bm} – середнє значення тривалості виконання m -го функціонального блоку на «схемі шляхів»; L_i – i -ий перехід на «схемі шляхів»; I – кількість переходів на «схемі шляхів»; N_i – кількість обходів переходу L_i ; M – кількість функціональних блоків на «схемі шляхів»; N_m – кількість циклів виконання функціонального блоку T_m .

У випадку, якщо доступних повторень циклу немає, то показник кількості виконання функціонального блоку T_m рівний 0, тобто функціональний блок не виконується. Імовірність виконання цього блоку дорівнюватиме 1, але його тривалість виконання дорівнюватиме 0. Таким чином «нульовий» цикл не впливає на кінцеві значення імовірності існування та тривалості шляху виконання. При натуральних значеннях цього показника цикл повторюватиметься відповідну кількість разів, що відобразиться на значеннях показників ефективності АП.

В загальному вигляді математична модель АП представляється у формі виразу для проходження шляху S від початку до блоку завершення з урахуванням кількості виконуваних циклів АП. Імовірність $p(S)$ та середнє значення тривалості $T_{cep}(S)$ виконання алгоритму визначаються за формулами:

$$p(S) = \sum_{j=1}^J (p(S_j)), \quad (7)$$

$$T_{cep}(S) = \frac{1}{p(S)} \sum_{j=1}^J (p(S_j) \cdot T(S_j)). \quad (8)$$

Середнє значення тривалості виконання алгоритму $T_{cep}(S)$ визначається як середньозважене значення середніх значень тривалостей $T(S_j)$ всіх J шляхів успішного виконання алгоритму з урахуванням імовірності проходження j -го шляху $p(S_j)$ виконання алгоритму як вагового коефіцієнта та імовірності успішного виконання алгоритму $p(S)$. Варто відзначити, що автоматизація розрахунку формул (7), (8) дозволяє автоматизувати визначення всіх можливих шляхів виконання АП.

В цілому, формалізований метод «схеми шляхів» піддається автоматизації, що дає змогу розробити засоби багатоваріантного аналізу показників ефективності алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання. Цей

метод буде використовуватися в подальшому для підтвердження достовірності результатів моделювання, отриманих вдосконаленим методом автоматизованої побудови графа станів і переходів.

У четвертому розділі – «Розроблення моделей для оцінювання показників ефективності алгоритмів поведінки радіотелеметричних систем короткотривалого використання» – розглянуто і розв’язано завдання багатоваріантного аналізу показників ефективності алгоритму поведінки радіотелеметричної системи короткотривалого використання методом «схеми шляхів». Застосування зазначеного методу дозволило значно скоротити часові затрати на етапі системотехнічного проектування цієї системи.

За допомогою розробленої методики моделювання було побудовано математичну модель алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання, яка враховує технічні характеристики досліджуваної системи та вищезгадані особливості її функціональної поведінки. Розроблена модель знайшла застосування на етапі системотехнічного проектування досліджуваної системи.

Було проаналізовано два варіанти алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання в двох режимах роботи – режим запису і напрямленого передавання та режим запису, напрямленого передавання і відтворення. Залежності показників ефективності алгоритму поведінки системи (ймовірність успішного виконання АП $p_{ув}$ та середнє значення тривалості виконання $T_{сеп}$) від кількості повторень операцій запису і формування телеметричного кадру та передавання пакету телеметричних кадрів для кожного з описаних режимів роботи було визначено та наведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Показники ефективності алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання

Режим запису та напрямленого передавання				Режим запису, напрямленого передавання та відтворення			
		$p_{ув}$	$T_{сеп}, c$			$p_{ув}$	$T_{сеп}, c$
Кількість спроб запису і формування телеметричного кадру	k=0	0.979	14.33	Кількість спроб запису і формування телеметричного кадру	k=0	0.966	323.73
	k=1	9.782e-4	15.73		k=1	9.66e-04	325.13
	k=2	9.772e-7	17.13		k=2	9.65e-07	326.53
	k=3	9.762e-10	18.53		k=3	9.64e-10	327.93
Кількість спроб передавання пакету телеметричних кадрів	n=0	0.979	14.33	Кількість спроб передавання пакету телеметричних кадрів	n=0	0.966	323.73
	n=1	1.958e-3	16.08		n=1	1.93e-03	325.48
	n=2	3.917e-6	17.83		n=2	3.87e-06	327.23
	n=3	7.833e-9	19.58		n=3	7.73e-09	328.98

Результати дослідження показують недоцільність використання більше одного повторення операцій запису і формування телеметричного кадру та передавання пакету телеметричних кадрів, оскільки приріст ймовірності успішного виконання АП при подальшому збільшенні кількості повторень цих операцій є незначним, а час виконання АП суттєво збільшується.

Проведено порівняння середніх значень часу виконання АП для двох варіантів конфігурації алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання, отриманих без врахування та з урахуванням затрат часу на неуспішні спроби виконання АП. Для систем короткотривалого використання неврахування затрат часу на неуспішні спроби завищує середнє значення тривалості виконання АП. Результати подані в табл. 4.

Таблиця 4 – Порівняння середніх значень часу виконання АП для двох варіантів конфігурацій алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання

Конфігурації АП	Ймовірність виконання АП	Середнє значення тривалості виконання АП, с		Різниця між значеннями тривалостей виконання АП	
		без урахування затрат часу на неуспішні спроби	із урахуванням затрат часу на неуспішні спроби	абсолютна, с	відносна
Режим 1	0,9821	14,0815	14,3382	0,2567	1,79%
Режим 2	0,9693	315,282	323,7335	8,4516	2,61%

Засоби, моделі, методики, що були представлені вище, були апробовані і для проектування іншого класу систем – комплексів моніторингу наземної обстановки, для яких також характерною є необхідність виконання поставленого завдання із заданою надійністю протягом обмеженого короткого проміжку часу.

До складу комплексу моніторингу наземної обстановки входять активні системи: радіолокаційна (РЛС), оптико-електронна (ОЕС), встановлена на безпілотному літальному апараті (БпЛА), та пасивні системи: акустична, оптична, телевізійна, тепловізійна. Об'єднання інформації про наземну обстановку від усіх систем комплексу моніторингу можна здійснювати двома методами: перший метод полягає в тому, що комплексуювання інформації від всіх систем моніторингу відбувається об'єднанням за всіма можливими варіантами групування систем; другий метод передбачає необхідність вибору пріоритетної системи моніторингу і проведення комплексуювання відносно неї. Для вибору методу комплексуювання інформації було розроблено модель комплексу моніторингу наземної обстановки та проведено дослідження його показників ефективності: імовірності виявлення об'єктів при різних умовах наземної обстановки для трьох варіантів реалізації: без надання пріоритету жодній із систем моніторингу; з наданням пріоритету РЛС; з наданням пріоритету ОЕС на БпЛА (див. рис. 1).

Результати досліджень показують, що за несприятливих умов наземної обстановки вагомішою є імовірність виявлення і розпізнавання об'єктів активними системами моніторингу.

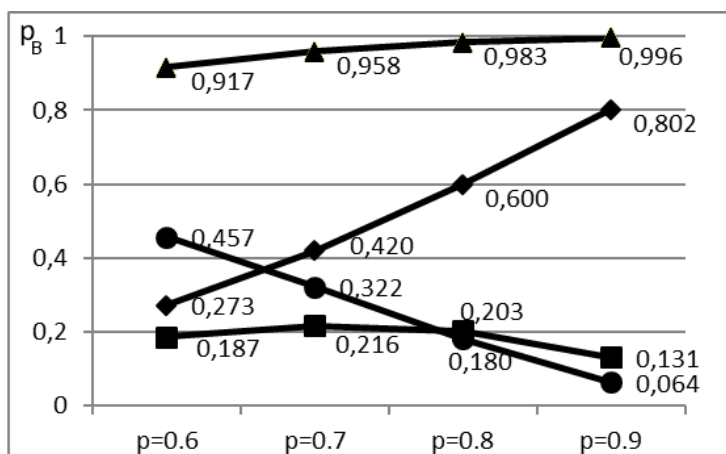


Рисунок 1 а – Без надання пріоритету жодній системі

На рис. 1 а використано такі позначення: ▲ – ймовірність виявлення об'єктів активними і пасивними системами; ◆ – ймовірність виявлення і розпізнавання об'єктів пасивними системами; ● – ймовірність виявлення і розпізнавання об'єктів активними системами; ■ – ймовірність виявлення, але нерозпізнавання об'єктів активними і пасивними системами;

На рис. 1 а, 1 б, 1 в показано залежності ймовірності виконання завдання комплексом моніторингу наземної обстановки від ймовірності виявлення об'єктів при різних умовах наземної обстановки.

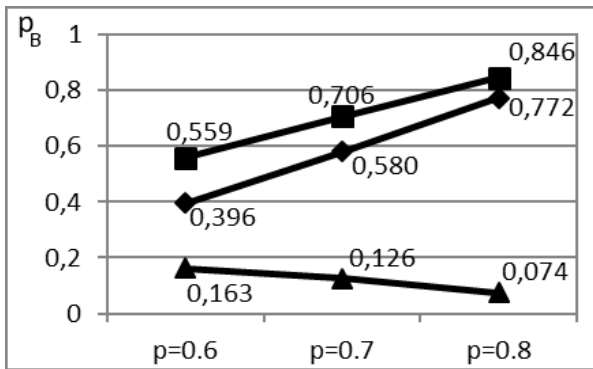


Рисунок 1 б – Із наданням пріоритету РЛС

На рис. 1 б і 1 в використано такі позначення: ▲ – ймовірність виявлення об'єктів активними і пасивними системами; ◆ – ймовірність виявлення і розпізнавання об'єктів активними і пасивними системами; ■ – ймовірність виявлення, але нерозпізнавання об'єктів активними і пасивними системами.

За сприятливих умов наземної обстановки зростає ймовірність виявлення і розпізнавання об'єктів пасивними системами моніторингу, тому в таких випадках доцільніше використовувати саме пасивні системи як основні, а активні системи – для допошуку об'єктів.

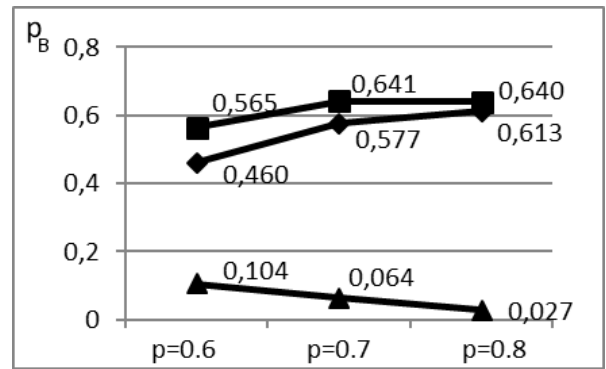


Рисунок 1 в – Із наданням пріоритету ОЕС

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі представлено розв'язання наукового завдання розроблення засобів багатоваріантного аналізу та оцінювання показників ефективності алгоритму поведінки бортових радіотелеметричних систем короткотривалого використання.

При розв'язанні поставленого завдання було отримано наступні результати:

1. Проведено аналіз особливостей алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання для визначення можливостей їх математичного моделювання та визначення показників ефективності. В результаті аналізу інформаційних джерел встановлено, що жоден із відомих методів не дозволяє в повній мірі вирішувати завдання багатоваріантного аналізу алгоритмів поведінки бортових радіотелеметричних систем короткотривалого використання протягом етапу системотехнічного проектування з урахуванням всіх особливостей їх алгоритмів поведінки.

2. Для розроблення моделей та оцінювання показників ефективності алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання було модифіковано метод автоматизованої побудови графа станів і переходів. Завдяки цьому здійснено врахування часової надлишковості та успішного і неуспішного завершення алгоритму поведінки для підвищення достовірності багатоваріантного аналізу його показників ефективності.

3. Моделювання алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання модифікованим методом простору станів дає змогу проводити багатоваріантний аналіз показників ефективності та, в залежності від складності алгоритму поведінки, на 50-75 відсотків скорочує часові затрати на етапі системотехнічного проектування. Це дозволяє формувати рекомендації щодо ефективного використання часової надлишковості алгоритму поведінки.

4. Запропоновано метод побудови моделей алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання у вигляді «схеми шляхів», який не потребує представлення алгоритму поведінки канонічними регулярними формами і логічними функціями, враховує ефективне використання часової надлишковості алгоритму поведінки та успішне і неуспішне його завершення. Метод «схеми шляхів» легко піддається формалізації та автоматизації, на основі чого було розроблено методику моделювання алгоритмів поведінки.

5. Розроблена методика моделювання алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання на основі методу «схеми шляхів» при визначенні середнього значення тривалості виконання алгоритму поведінки враховує успішні і неуспішні спроби його виконання. Таким чином це дало змогу підвищити достовірність результатів аналізу показників ефективності алгоритму поведінки.

6. На основі методу «схеми шляхів» розроблено прототип програмного засобу для багатоваріантного аналізу показників ефективності алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання в режимі реального часу.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ozirkovsky L. The Algorithm of Automated Development of Fault Trees for Safety Exploitation Assessment of Complex Technical Systems / L. Ozirkovsky, A. Mashchak, O. Shkiliuk, S. Volochiy // Central European Researchers Journal. – 2016. – Vol. 2. – Issue 2. – pp. 1-10.

2. Volochiy B. Automation of Building Fault Tree for Assessing Operational Safety of Fault-Tolerant Hardware/Software Systems / Volochiy B., Ozirkovsky L., Mashchak A., Shkilyuk O. // Матеріали Міжнародної конференції з інформаційно-телекомунікаційних технологій та радіоелектроніки (UkrMiKo'2016/UkrMiCo'2016). Київ. – 2016. – С. 491-494.

3. Volochiy B. Estimation of Indexes of Efficiency of Radioelectronic Hardware-Software Systems Based on the Algorithm of Behavior / B. Volochiy, L. Ozirkovsky, O. Shkiliuk, A. Mashchak // Матеріали 11-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії TCSET-2012». – Львів - Славсько. – 2012. – С. 322-323.

4. Volochiy B. Minimal Cut Sets Determination for Renewable Systems with Limited Repairs / B. Volochiy, L. Ozirkovsky, A. Mashchak, O. Shkiliuk // Матеріали 12-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії TCSET-2014». – Львів - Славсько. – 2014. – С. 216-218.

5. Volochiy B. Yu. Defining Minimal Cut Sets Based On Markov Model / Volochiy B. Yu., Ozirkovsky L. D., Mashchak A. V., Shkiliuk O. P. // Матеріали 6-ої Міжнародної конференції молодих вчених «Computer Science & Engineering CSE-2013» в рамках 4-го міжнародного фестивалю науки «LITTERIS ET ARTIBUS». – Львів. – 2013. – С. 90-91.

6. Volochiy B. Technique of Construction Models of Behavior Algorithms of Radio Electronic Complex System using the Scheme of Paths Method / Bohdan Volochiy, Leonid Ozirkovskyi, Oleksandr Shkiliuk, Andriy Mashchak // International Journal of Computing. – 2014. – Vol. 13. – Issue 3. – pp. 183-190.

7. Волочій Б. Ю. Автоматизація побудови дерева відмов для оцінки безпечності експлуатації складних технічних систем / Волочій Б. Ю., Озірковський Л. Д., Мащак А. В., Шкілюк О. П. // Тези IV Міжнародної науково-практичної конференції «Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки PREDT-2014». – Чернівці. – 2014. – С. 102-103.

8. Волочій Б. Ю. Автоматизація побудови дерева відмов для оцінки надійності та безпечності відмовостійких систем з відновленням / Волочій Б. Ю., Озірковський Л. Д., Мащак А. В., Шкілюк О. П. // Тези доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій», Запоріжжя, – 2014. – С. 268-269.

9. Волочій Б. Ю. Алгоритм автоматизованої побудови дерева відмов для оцінки безпечності експлуатації телекомунікаційних систем / Волочій Б. Ю., Озірковський Л. Д., Мащак А. В., Шкілюк О. П. // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій СПТЕЛ-2014». – Львів. – 2014. – С. 88-91.

10. Волочій Б. Ю. Метод аналізу ефективності алгоритмів поведінки радіоелектронних комплексів відповідального призначення / Волочій Б. Ю., Озірковський Л. Д., Шкілюк О. П., Мащак А. В. // Науково-технічний журнал «Радіоелектронні і комп'ютерні системи». – 2014. – №6 (70). – С. 130-134.

11. Волочій Б. Ю. Методика оцінки показників ефективності радіоелектронного комплексу моніторингу повітряного простору / Б. Ю. Волочій, Л. Д. Озірковський, О. П. Шкілюк, А. В. Мащак // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2013. – № 766. – С. 192-201.

12. Волочій Б. Ю. Методика побудови дерева відмов складної технічної системи на основі графу станів і переходів / Б. Ю. Волочій, Л. Д. Озірковський, А. В. Мащак, О. П. Шкілюк // Вісник Академії митної служби України, серія "Технічні науки". – 2014. – №1 (51). – С. 10-19.

13. Волочій Б. Ю. Методика розрахунку мінімальних січень для відмовостійких систем на основі структурно-автоматної моделі / Волочій Б. Ю., Озірковський Л. Д., Мащак А. В., Шкілюк О. П., Кулик І. В. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2013. – № 52. – С. 38-45.

14. Волочій Б. Ю. Отримання мінімальних січень, котрі призводять до втрати працездатності телекомунікаційної системи / Волочій Б. Ю., Озірковський Л. Д., Мащак А. В., Шкілюк О. П. // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій СПТЕЛ-2013». – Львів. – 2013. – С. 263-266.

15. Волочій Б. Ю. Оцінка надійності програмно-апаратних систем за допомогою моделі їх поведінки / Волочій Б. Ю., Озірковський Л. Д., Чопей Р. С., Мащак А. В., Шкілюк О. П. // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2014. – № 796. – С. 222-231.

16. Волочій Б. Ю. Порівняння методів оцінки показників ефективності алгоритмів поведінки радіоелектронних комплексів / Волочій Б. Ю., Озірковський Л. Д., Шкілюк О. П., Мащак А. В. // Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2014. – № 59. – С. 29-39.

17. Волочій Б. Ю. Порівняння методів оцінки показників ефективності алгоритмів поведінки радіоелектронних комплексів / Волочій Б. Ю., Озірковський Л. Д., Шкілюк О. П., Мащак А. В. // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи РТПСАС-2014». – Київ. – 2014. – С. 189-191.

18. Волочій Б. Ю. Розрахунок мінімальних січень для відмовостійких систем на основі структурно-автоматної моделі / Волочій Б. Ю., Озірковський Л. Д., Мащак А. В., Шкілюк О. П., Кулик І. В. // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи РТПСАС-2013». – Київ. – 2013. – С. 160-161.

19. Волочій Б. Ю. Формалізоване представлення алгоритму поведінки радіоелектронної структурно-алгоритмічної системи / Волочій Б. Ю., Озірковський Л. Д., Шкілюк О. П., Мащак А. В. // Тези III Міжнародної науково-практичної конференції «Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки PREDT-2013». – Чернівці. – 2013. – С. 36-37.

20. Озірковський Л. Д. Розробка методики побудови марковської моделі алгоритму поведінки програмно-апаратної системи / Озірковський Л. Д., Шкілюк О. П., Мащак А. В. // Матеріали 9-ої науково-технічної конференції науково-педагогічних працівників «Проблеми та перспективи розвитку економіки і підприємництва та комп'ютерних технологій в Україні». – Львів. – 2013. – С. 499-503.

21. Петлюк І. Модель процесу взаємодії систем спостереження розвідувального комплексу з об'єктом викриття з урахуванням особливостей оперативно-тактичної обстановки / Петлюк І., Петлюк О., Шкілюк О. // Матеріали 22-ої Міжнародної науково-технічної конференції GEOFORUM'2017, Львів - Брюховичі - Яворів. – 2017. – С. 29-30.

22. Шкілюк О. П. Оцінка показників ефективності програмно-апаратної радіоелектронної системи на основі її алгоритму поведінки / О. П. Шкілюк, А. В. Мащак // Матеріали 8-ої Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій РТ-2012». – Севастополь. – 2012. – С. 56.

АНОТАЦІЯ

Шкілюк О. П. Засоби багатоваріантного аналізу ефективності алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи. – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2017.

В дисертаційній роботі представлено розв’язання наукового завдання розроблення засобів багатоваріантного аналізу та оцінювання показників ефективності алгоритму поведінки бортових радіотелеметричних систем короткотривалого використання на основі створення нового методу побудови математичних моделей їх алгоритмів поведінки для автоматизованого оцінювання та аналізу показників ефективності таких систем.

При виконанні дисертаційного дослідження набув подальшого розвитку метод автоматизованої побудови графа станів і переходів, який передбачає модифікацію запису умови відмови та оброблення результатів розв’язання системи лінійних диференціальних рівнянь для врахування часової надлишковості та успішного і неуспішного завершення алгоритму поведінки. Як другий метод було запропоновано метод побудови моделей алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи у вигляді «схеми шляхів», який в компактній формі відображає технічні характеристики системи і не потребує представлення алгоритму поведінки канонічними регулярними формами та логічними функціями. Прототип програмного засобу, що реалізує метод «схеми шляхів», дозволяє проводити багатоваріантний аналіз показників ефективності алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання в режимі реального часу.

Ключові слова: бортова радіотелеметрична система, показники ефективності, алгоритм поведінки, багатоваріантний аналіз.

АННОТАЦИЯ

Шкилюк А.П. Средства многовариантного анализа эффективности алгоритмов поведения бортовой радиотелеметрической системы кратковременного использования. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 - радиотехнические и телевизионные системы. - Национальный университет «Львовська політехніка», Львов, 2017.

В диссертационной работе представлено решение научной задачи разработки средств многовариантного анализа и оценки показателей эффективности алгоритма поведения бортовых радиотелеметрических систем кратковременного использования на основе создания нового метода построения математических моделей их алгоритмов поведения для автоматизированной оценки и анализа показателей эффективности таких систем. При выполнении диссертационного исследования получил дальнейшее развитие метод автоматизированного построения графа состояний и переходов, а в качестве альтернативного метода был предложен метод построения моделей алгоритма поведения в виде схемы путей. Это позволяет решать задачи многовариантного анализа алгоритмов поведения и их дальнейшего параметрического синтеза в режиме реального времени.

Ключевые слова: бортовая радиотелеметрическая система, показатели эффективности, алгоритм поведения, многовариантный анализ.

ANNOTATION

Shkiliuk O.P. Means for multivariate analysis of behavior algorithms efficiency of onboard telemetry system with short-term use. – On the rights of the manuscript.

The dissertation for candidate (Ph.D.) degree in technical sciences on the specialty 05.12.17 – radio engineering and television systems. Lviv Polytechnic National University of Ministry for Education and Science of Ukraine, Lviv, 2017.

This thesis presents the solution of the scientific problem of developing means for multivariate analysis and estimation of efficiency indexes of a behavior algorithm of an onboard radio telemetry system with short-term use. New method for constructing mathematical models of behavior algorithms of such systems for automated evaluation and analysis of their efficiency indexes is presented. The efficiency indexes of onboard radio telemetry system were carried out: the probability of successful execution of the behavior algorithm within certain period of time and the average duration of execution of the behavior algorithm.

The behavior algorithm of the onboard radio telemetry system has some features that should be explicitly reflected on its flowchart. These features are: existence of loops and unsuccessful attempts of behavior algorithm execution allows displaying not only reliability but also functional behavior of the radio telemetry system and includes an ability to use time redundancy and hardware diagnostics. The stochastic and deterministic transitions are taken into account for distinction of hardware failures and faults and an exit from loop by certain conditions. For behavior algorithm of short-term used systems, the neglect of unsuccessful attempts makes an error with the efficiency indexes evaluation. Such error subsequently affects the results of parametrical synthesis of the onboard radio telemetry system.

From the analysis of information sources it was revealed, that neither of known methods fully allows solving the task of behavior algorithm analysis of complex system during pre-design stage. So, it was established the important task to improve the state-space method and to develop new method of constructing mathematical models for evaluation and analyzing the efficiency indexes of behavior algorithms.

The method for automated construction of the graph of states and transitions was improved. On basis of this modified state-space method the technique for studying models of behavior algorithms of short-term used systems was developed.

The scheme of paths method was proposed as the second method for constructing models and analyzing behavior algorithms. It allows formalizing and automation of the efficiency indexes evaluation of the behavior algorithms. Thus, a technique based on scheme of paths method and a mission-related software prototype were developed. The software prototype provides real-time solution for multivariate analysis and parametric synthesis of behavior algorithms of onboard radio telemetry system with short-term use.

Key words: onboard radio telemetry system, efficiency indexes, behavior algorithm, multivariate analysis.