

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Шкілюк Олександр Петрович

УДК 004.942+621.398

ДИСЕРТАЦІЯ

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

05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи
(шифр і назва спеціальності)

05 «Технічні науки»
(галузь знань)

Подається на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник –
Озірковський Леонід Деонісійович,
к.т.н., доцент

Ідентичність всіх примірників дисертації

ЗАСВІДЧУЮ:

*Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради*

/І.В. Демидов/

Львів – 2017

АНОТАЦІЯ

Шкілюк О.П. Засоби багатоваріантного аналізу ефективності алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.12.17 «Радіотехнічні та телевізійні системи» (172 - Телекомунікації та радіотехніка). - Національний університет «Львівська Політехніка» МОН України, Львів, 2017.

На етапі системотехнічного проектування бортових радіотелеметричних систем (БРТС) короткотривалого використання однією з основних задач є вибір відповідного алгоритму поведінки (АП) із сукупності варіантів або синтез варіанту АП шляхом зміни його конфігурації та параметрів окремих блоків. Даний вибір здійснюють шляхом аналізу кожного варіанту АП, що дозволяє перевірити правильність прийнятих рішень, знайти слабкі місця системи, що допомагає сформулювати рекомендації щодо забезпечення або підвищення її ефективності. Для вибору варіанту АП потрібно мати сукупність засобів (моделей, методів та програмного забезпечення), які дозволять отримати достовірні результати в межах тривалості етапу системотехнічного проектування.

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

Перший розділ роботи містить огляд інформаційних джерел за темою дисертації в рамках проведення аналізу особливостей функціонування АП радіотелеметричної системи короткотривалого використання та сучасного стану методів, моделей, засобів для розв'язання завдань багатоваріантного аналізу ефективності АП такої системи. Разом з цим, здійснено огляд складу і

принципів побудови БРТС короткотривалого використання та виділені їх особливості, які є визначальними з точки зору оцінювання ефективності її АП.

Для АП систем короткотривалого використання неврахування неуспішних спроб виконання алгоритму вносить похибку в показники ефективності. Ця похибка в подальшому впливає на результат параметричного синтезу радіотелеметричної системи. З проведеного аналізу інформаційних джерел встановлено, що жоден з відомих методів не дозволяє в повній мірі вирішити завдання аналізу АП складних систем протягом етапу передпроектних досліджень, що породило актуальне завдання розроблення нового методу побудови математичних моделей АП для оцінки та аналізу показників ефективності радіотелеметричної системи короткотривалого використання, що дасть змогу створити автоматизовані засоби багатоваріантного аналізу АП. Показники ефективності – імовірність успішного виконання алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання за визначений проміжок часу та середнє значення тривалості роботи алгоритму – визначаються конкретним завданням, виконання якого повинна забезпечити БРТС короткотривалого використання.

У другому розділі здійснено вдосконалення методу автоматизованої побудови графу станів і переходів, який дає змогу автоматизовано будувати модель алгоритму поведінки. Алгоритм поведінки БРТС короткотривалого використання має низку особливостей, які необхідно в явній формі відобразити на його блок-схемі: наявності успішних і неуспішних спроб виконання АП, що відображається в допустимому часі на виконання завдання та ефективному використанні часової надлишковості; надійності апаратного забезпечення при виконанні АП, що полягає у врахуванні надійнісної поведінки БРТС короткотривалого використання, процедур самоконтролю і діагностики апаратних засобів і програмного забезпечення в АП, розрізненні збоїв та втрат працездатності апаратних засобів.

Для дослідження показників ефективності АП БРТС короткотривалого використання методом автоматизованої побудови графу станів і переходів

необхідною є побудова структурно-автоматної моделі – формалізованого представлення структури і поведінки досліджуваної системи – яка відображає особливості АП БРТС короткотривалого використання і дозволяє здійснити синтез АП через багатоваріантний аналіз.

Дослідження показників ефективності АП БРТС короткотривалого використання полягає у багатократній зміні наборів вхідних даних у множині формальних параметрів структурно-автоматної моделі, 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 за допомогою програми 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 реалізації БРТС короткотривалого використання.

Завдання багатоваріантного аналізу показників ефективності АП та його подальшого параметричного синтезу має розв'язуватися не менше, ніж двома методами в межах етапу системотехнічного проектування. Серед варіантів вибору між мовою алгоритмічних алгебр та методом траєкторного моделювання, вдалося розробити новий метод на основі методу траєкторного моделювання.

Третій розділ роботи присвячено розробленню методу схеми шляхів – компактного відтворення алгоритму поведінки замість застосування його блок-схеми. Схема шляхів є формалізованим представленням поведінки БРТС короткотривалого використання, що відображає сукупність всіх шляхів, які ведуть до успішного виконання або невиконання цільової функції БРТС короткотривалого використання.

Для формування схеми шляхів операційні блоки блок-схеми АП потрібно перетворити у відповідні їм функціональні блоки на схемі шляхів і переходами показати зв'язки між ними. Тому, для одного і того ж АП схема шляхів налічує

стільки ж функціональних блоків, скільки на блок-схемі АП є операційних блоків, при цьому зовсім немає перевіряючих (умовних) блоків, а фрагмент алгоритму, що містить цикл на схемі шляхів може бути представлений одним повторюваним функціональним блоком. Взявши за основу розроблену схему шляхів, з'явилася можливість описати модель АП у формі запису виразу проходження найдовшого шляху від початку до успішного виконання з урахуванням кількості виконання циклів та успішних і неуспішних спроб виконання АП. В цілому, метод схеми шляхів легко піддається автоматизації, що дало змогу розробити засоби багатоваріантного аналізу показників ефективності алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання.

У четвертому розділі розглянуто і вирішено завдання багатоваріантного аналізу показників ефективності АП радіотелеметричної системи короткотривалого використання методом схеми шляхів, що дозволило значно скоротити часові затрати на етапі системотехнічного проектування цієї системи. За допомогою розробленої методики моделювання було побудовано математичну модель АП радіотелеметричної системи короткотривалого використання, яка враховує структуру досліджуваної системи, її технічні характеристики, особливості функціональної поведінки, що знайшла застосування на етапі системотехнічного проектування досліджуваної системи.

При розробленні моделі АП бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання було проаналізовано два варіанти алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання в двох режимах роботи – запису, напрямленої передачі, відтворення та запису, напрямленої передачі, визначено залежність показників ефективності – ймовірність успішного виконання АП $p_{ув}$ та середню тривалість виконання $T_{сер}$ – від кількості повторень визначених операцій.

Засоби, моделі, методики, що були представлені вище також можна застосувати 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. Отримання інформації про наземні об'єкти є складним і актуальним завданням. До складу комплексу моніторингу наземної обстановки входять: акустична, оптична, оптико-електронна, тепловізійна, радіолокаційна та оптико-електронна система, розміщена на безпілотному літальному апараті. Об'єднання інформації про наземну обстановку від всіх систем полягає в тому, що або комплексування інформації від всіх систем моніторингу відбувається об'єднанням за всіма можливими варіантами групування систем або передбачає необхідність вибору опорної системи моніторингу і щодо неї проводити комплексування. Для розв'язання завдання вибору методу комплексування 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 з систем моніторингу; з наданням пріоритету радіолокаційній системі; з наданням пріоритету оптико-електронній системі, розміщеній на безпілотному літальному апараті.

В рамках розв'язання розв'язання наукового завдання розроблення засобів багатоваріантного аналізу та оцінювання показників ефективності алгоритму поведінки бортових радіотелеметричних систем короткотривалого використання набув подальшого розвитку метод автоматизованої побудови графу станів і переходів, який враховує особливості алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання, що дало змогу підвищити достовірність результатів моделювання, та запропоновано метод побудови моделей алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи у вигляді схеми шляхів, який в компактній формі відображає технічні характеристики системи і враховує всі можливі шляхи проходження АП. Таким чином з'явилася можливість застосування методики побудови моделей АП бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання модифікованим методом простору станів, яка дозволяє проводити багатоваріантний аналіз показників ефективності та значно скорочує часові затрати при проектуванні, а також методики побудови моделей алгоритмів

поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання схемою шляхів, що дало змогу формалізувати та автоматизувати процес отримання моделі алгоритму поведінки. Для проведення багатоваріантного аналізу АП бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання в режимі реального часу було розроблено прототип програмного засобу. Завдяки цьому було отримано нові моделі АП бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання, яка не потребує представлення АП канонічними регулярними формами і логічними функціями; враховує успішні та неуспішні спроби виконання АП при визначенні середнього значення тривалості виконання, що підвищує достовірність результатів аналізу.

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

Список публікацій здобувача:

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

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

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

3. 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. (Index Copernicus).

4. 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.

5. 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.

6. 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. (Index Copernicus).

7. 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.

8. 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. (Index Copernicus).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. 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.

10. Volochiy B. Estimation of Indexes of Efficiency of Radioelectronic Hardware-Software Systems Based on the Algorithm of Behavior / B. Volochiy, L. Ozirkovskyu, 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. (Scopus)

11. Volochiy B. Minimal Cut Sets Determination for Renewable Systems with Limited Repairs / B. Volochiy, L. Ozirkovskyu, 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.

12. 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.

13. Волочій Б. Ю. Автоматизація побудови дерева відмов для оцінки безпеки 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.

14. Волочій Б. Ю. Автоматизація побудови дерева відмов для оцінки надійності та безпеки 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.

15. 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.

16. 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.

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.

ABSTRACT

Shkliliuk O.P. Means for multivariate analysis of behavior algorithms efficiency of onboard telemetry system with short-term use. - Proficiency scientific treatise on the rights of the manuscript.

A thesis submitted in fulfilment of the candidate of sciences (Ph.D.) degree in technical sciences on specialty 05.12.17 «Radio engineering and television systems» (172 - Telecommunications and Radio Engineering). - 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 and development of automation means for such analysis.

In the stage of design of radio telemetry system with short-term use (RTS) there is there important task to choose the behavior algorithm from the set of

potential variants or to synthesize behavior algorithm variant by changing parameters of certain blocks. This choice is made on the basis of analysis of each behavior algorithm variant that allows us to check the correctness of decisions and find the weaknesses of the system, that helps us to form recommendations for providing or increasing behavior algorithm efficiency. So for choosing the version of the behavior algorithm we must have a set of tools (models, methods and software) that will provide reliable results within the duration of design stage of RTS

The first chapter provides an overview of information sources on the topic of the dissertation, particularly of the analysis of the features of functioning of the radio telemetry system with short-term use and the current state of methods, models, tools for solving tasks of multivariate analysis of the behavior algorithm efficiency of such systems. At the same time, an overview of the composition and construction principles of RTS was made and the features that are crucial in terms of evaluating the behavior algorithm efficiency were highlighted. For behavior algorithm of short-term used systems, the neglect of unsuccessful attempts makes an error in the efficiency indexes of the algorithm. This error subsequently affects the result of parametrical synthesis of RTS. From the analysis of information sources it was revealed that none of the known methods do not allow to fully solve the task of analysis behavior algorithm of complex systems during pre-design stage studies that established the important task to develop new method of constructing mathematical models of behavior algorithm to evaluate and analyze the efficiency indexes of behavior algorithm. Efficiency indexes - the probability of successful execution of behavior algorithm of RTS for certain period of time and the average duration of the algorithm execution – are defined by specific task that is provided by RTS, appointment system and general requirements to the result of its operation.

In the second chapter the automated method for constructing graph of states and transitions was modified for using the state space method to solve the task multivariate analysis of behavior algorithm. This enables automated building of behavior model of RTS. The behavior algorithm of RTS has some features that should explicitly reflect on its flowchart: the existence of loops in behavior algorithm

allows to display not only reliability but also functional behavior of RTS and includes the ability to use time redundancy and spare, hardware self-monitoring and diagnostic. The stochastic and deterministic transitions are taken into account for distinction of hardware failures and faults and implement loop exit under certain conditions.

For studying the efficiency indexes of behavior algorithm of RTS using method of automated construction of graph of states and transitions it is necessary to build the necessary structural automaton model – formalized representation of the structure and behavior of the system, which reflects the features of behavior algorithm of RTS and allows to provide the synthesis of the behavior algorithm through multivariate analysis. Research of efficiency indexes of behavior algorithm of RTS consists in repeatedly changing sets of input data in a set of formal parameters of structural automaton model (from these changes the probability of execution of objective function of RTS depends on), automated generation of new graphs of states and transitions of linear differential equations Kolmogorov – Chapman, finding its solutions in software ASNA and obtaining values of efficiency indexes. As result there is the set of characteristic curves of efficiency indexes depending on changes in certain input parameters. This research is the basis for selecting the best implementation of RTS.

However, within the duration of design stage of RTS the task of multivariate analysis of behavior algorithm and further of parametrical synthesis of behavior algorithm has to be solved at least by two methods. The new method has to make it possible the automation means for multivariate analysis of behavior algorithm.

So as the second method among the algorithmic algebra language and method of trajectory simulation the choice fell on developing new method based on method of trajectory simulation because of its the ability to automate the evaluation of efficiency indexes of behavior algorithm.

The third chapter is devoted to development of “scheme of paths” method. The scheme of paths is simpler formalized representation of behavior algorithm instead of using its flowchart and reflects behavior of RTS and all ways that lead to the

successful or non-successful execution of objective function of RTS. The scheme of paths forming requires converting operational units from flowchart into conformed to them functional units and indicating all transitions between them. For the same behavior algorithm the scheme of paths has any conditional block and as many functional blocks as the flowchart of behavior algorithm has operational units. If fragment of the algorithm is repeatedly performed algorithm (includes loops) it can be represented by one repetitive functional unit. Therefore, mathematical model of behavior algorithm is presented on the basis of scheme of paths in the form of expression for the longest path from start to successful or unsuccessful performance, taking into account the loops number. Overall, formalized “scheme of paths” method is available to automate, that allowed to develop the means for multivariate analysis of behavior algorithm.

In the fourth chapter it is considered and solved the the task of multivariate analysis of efficiency indexes of behavior algorithm of onboard radio telemetry system with short-term use by applying scheme of paths method. Using modeling techniques, the mathematical model of behavior algorithm of the onboard radio telemetry system was developed, taking into account the structure of the system, its technical characteristics, functional behavior. Thus, it significantly reduces the time and costs during design of the onboard radio telemetry system. The paper suggested the analysys of two variants of behavior algorithm of onboard telemetry system with short-term use in two modes. The efficiency indexes of onboard radio telemetry system – the probability of successful execution of behavior algorithm for certain period of time and the average duration of the execution of the probability of successful execution of behavior algorithm for certain period of time depending on the number of loops specified operations were carried out.

Methods, models, techniques that were presented above can also be applied to design another class of systems – system of terrestrial environment monitoring, which is also characterized by requirement the objective function execution with high reliability for a limited short period of time. Getting information about terrestrial objects is complex and important task. The system of terrestrial environment

monitoring includes passive systems: acoustic, optical, opto-electronic, thermal imaging and active systems: radar and unmanned aerial vehicles. Fusion information from all systems of terrestrial environment monitoring at processing can be divided into two ways: the first way is data fusion from all the monitoring systems is the union of all possible options for grouping systems and the second way requires selecting the reference system of monitoring and further fuse information.

For solving the task of choosing the way of information integration the model of behavior algorithm the systems of terrestrial environment monitoring in different modes was developed and study of its efficiency indexes – the probability of detecting objects under different conditions of the terrestrial situation for the three implementations: without giving priority to any of the monitoring system and giving priority to the provision of radar system and giving priority to the provision of unmanned aerial vehicles. So as result of completed work the method of automated construction of the graph of states and transitions was further developed and on its basis the technique for constructing models of behavior algorithms by modified state-space method was proposed. As an alternative method for constructing models of behavior algorithms, the scheme of paths was proposed. Thus the technique based on scheme of paths method was developed, that allowed to formalize and automate the process of constructing models of behavior algorithms.

The prototype of software for multivariate analysis of behavior algorithms for onboard radio telemetry system with short-term use provides the real-time solution of the task of behavior algorithms analysis and their parametric synthesis.

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

The list of author's publications:

Proceedings where basic scientific results of thesis were published:

1. Ozirkovskyy L. The Algorithm of Automated Development of Fault Trees for Safety Exploitation Assessment of Complex Technical Systems / L. Ozirkovskyy,

A. Mashchak, O. Shkiliuk, S. Volochiy // Central European Researchers Journal. – 2016. – Vol. 2. – Issue 2. – pp. 1-10.

2. 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.

3. Volochiy B. Yu. Method of Efficiency Analysis of Behavior Algorithms of Radio Electronic Complex System for Critical Applications / B. Yu. Volochiy, L. D. Ozirkovsky, O. P. Shkiliuk, A. V. Mashchak. // Scientific and technical journal "Radio electronic and computer systems". – 2014. – №6 (70). – pp. 130 – 134. (Index Copernicus)

4. Volochiy B. Yu. Method of Efficiency Indexes Estimation of The Radio Electronic Complex System of Air Space Monitoring / B. Yu. Volochiy, L. D. Ozirkovsky, O. P. Shkiliuk, A. V. Mashchak // Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Radio Electronics and Telecommunications. – 2013. – № 766. – pp. 192–201.

5. Volochiy B. Yu. Technique of Fault Tree Building of Complex Technical Systems Based on State Graph and Transition / B. Yu. Volochiy, L. D. Ozirkovsky, A. V. Mashchak, O. P. Shkiliuk // Bulletin of the Academy of Customs Service of Ukraine, Series "Technical Sciences". – 2014. – №1 (51). - pp. 10-19.

6. Volochiy B. Yu. Method of Computation of Minimal Cut Sets of Fault-Tolerant Systems Based on Structural-Automatic Model / B. Yu. Volochiy, L. D. Ozirkovsky, A. V. Mashchak, O. P. Shkiliuk, I. V. Kulyk // Bulletin of National Technical University of Ukraine. Series Radiotechnique. Radioapparatus Building. – 2013. – № 52. – pp. 38–45. (Index Copernicus)

7. Volochiy B. Yu. Estimation the Reliability of Hardware/Software Systems by Using Models of their Behavior / B. Yu. Volochiy, L. D. Ozirkovsky, R. S. Chohey, A. V. Mashchak, O. P. Shkiliuk // Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Radio Electronics and Telecommunications. – 2014. – № 796. – pp. 222–231.

8. Volochiy B. Yu. Comparison of Methods for Efficiency Indexes Estimation of Behavior Algorithms of Radioelectronic Complex Systems / B. Yu. Volochiy, L. D. Ozirkovsky, O. P. Shkiliuk, A. V. Mashchak // Bulletin of National Technical University of Ukraine. Series Radiotechnique. Radioapparatus Building. – 2014. – № 59. - pp. 29-39. (Index Copernicus)

Proceedings that certify an improvement of thesis materials:

9. 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. // Materials of scientific and technical IEEE International conference of information-telecommunication technologies and radio electronics (UkrMiCo'2016). Kyiv. – 2016. – pp. 491-494.

10. 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 // Proceedings of the XI-th International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2012. – Lviv - Slavsko. – 2012. – pp. 322–323. (Scopus)

11. Volochiy B. Minimal Cut Sets Determination for Renewable Systems with Limited Repairs / B. Volochiy, L. Ozirkovsky, A. Mashchak, O. Shkiliuk // Proceedings of the XII-th International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2014. – Lviv - Slavsko. – 2014. – pp. 216–218.

12. Volochiy B. Yu. Defining Minimal Cut Sets Based On Markov Model / Volochiy B. Yu., Ozirkovsky L. D., Mashchak A. V., Shkiliuk O. P. // Proceedings of the 6-th International Conference of Young Scientists «Computer Science & Engineering CSE-2013» by 4-th International Youth Science Festival “LITTERIS ET ARTIBUS”. – Lviv. – 2013. – pp. 90–91.

13. Volochiy B. Yu. Fault Tree Build Automation for Safety Estimation of Complex Technical System / Volochiy B. Yu., Ozirkovsky L. D., Mashchak A. V., Shkiliuk O. P. // Proceedings of the 4-th International Scientific and Practical

Conference “Physical and Technological Problems of Radio Engineering Devices, Telecommunication, Nano- and Microelectronics PREDT-2014”. – Chernivtsi. – 2014. – pp. 102–103.

14. Volochiy B. Yu. Automation of Fault Tree Building for Safety and Reliability Estimation of Fault-Tolerant Systems with Recovery / Volochiy B. Yu., Ozirkovskyi L. D., Mashchak A. V., Shkiliuk O. P. // Proceedings of the 7-th International Scientific and Practical Conference “Modern problems and achievements in the field of radio engineering, telecommunication and information technologies”. – Zaporizhzhia, – 2014. – pp. 268–269.

15. Volochiy B. Yu. Algorithm of Automated Construction of Fault Tree for Estimation the Safety of Exploitation of Telecommunication Systems / Volochiy B. Yu., Ozirkovskyi L. D., Mashchak A. V., Shkiliuk O. P. // Proceedings of Ukrainian Scientific and Practical Conference “Modern Problems of Telecommunications and Training of Specialists in the Field of Telecommunications SPTTEL-2014”. – Lviv. – 2014. – pp. 88–91.

16. Volochiy B. Yu. Acquiring Minimal Cut Sets, which Lead to Disability of Telecommunications System / Volochiy B. Yu., Ozirkovskyi L. D., Mashchak A. V., Shkiliuk O. P. // Proceedings of Ukrainian Scientific and Practical Conference “Modern Problems of Telecommunications and Training of Specialists in the Field of Telecommunications SPTTEL-2013”. – Lviv. – 2013. – pp. 263–266.

17. Volochiy B. Yu. Comparison of Methods for Efficiency Indexes Estimation of Behavior Algorithms of Radioelectronic Complex Systems / Volochiy B. Yu., Ozirkovskyi L. D., Shkiliuk O. P., Mashchak A. V. // Proceedings of International Scientific and Technical Conference “Radioengineering fields, signals, apparatus and systems REFSDS’2014”. – Kyiv. – 2014. – pp. 189–191.

18. Volochiy B. Yu. Computation of Minimal Cut Sets of Fault-Tolerant Systems Based on Structural-Automatic Model / Volochiy B. Yu., Ozirkovskyi L. D., Mashchak A. V., Shkiliuk O. P., Kulyk I. V. // Proceedings of International Scientific and Technical Conference “Radioengineering fields, signals, apparatus and systems REFSDS’2013”. – Kyiv. – 2013. – pp. 160–161.

19. Volochiy B. Yu. Formalized Representation of Behavior Algorithm of Radio Electronic Structural Algorithmic System / Volochiy B. Yu., Ozirkovskyi L. D., Shkiliuk O. P., Mashchak A. V. // Proceedings of the 3-rd International Scientific and Practical Conference “Physical and Technological Problems of Radio Engineering Devices, Telecommunication, Nano- and Microelectronics PREDT-2013”. – Chernivtsi. – 2013. – pp. 36–37.

20. Ozirkovskyi L. D. Development of Techniques for Constructing Markov Model of Behavior Algorithm of Software/Hardware system / Ozirkovskyi L. D., Shkiliuk O. P., Mashchak A. V. // Proceedings of the 9-th Scientific and Practical Conference of Scientific and Pedagogical Staff “Problems and Prospects of Economic Development and Entrepreneurship and Computer Technologies in Ukraine”. – Lviv. – 2013. – pp. 499–503.

21. Petliuk I. Model of Process of Surveillance Systems Interaction of Reconnaissance Complex System with the Object of Exposure, Taking into Account the Peculiarities of Operational and Tactical Situation / Petliuk I., Petliuk O., Shkiliuk O. // Proceedings of the 22-th International Scientific and Practical Conference GEOFORUM’2017. – Lviv - Briukhovychi - Yavoriv. – 2017. – pp. 29–30.

22. Shkiliuk O. P. Evaluation of Indexes of Efficiency of Software and Hardware Radio Electronic System Based on the Algorithm of Behavior / Shkiliuk O. P., Mashchak A. V. // Materials of the 8-th International Young Scientist Conference “Modern Issues in Radio Engineering and Telecommunications RT – 2012”. – Sevastopol. – 2012. – P. 56.

ЗМІСТ

Вступ.....	24
Розділ 1. Завдання системотехнічного проектування радіотелеметричних систем	34
1.1. Аналіз особливостей радіотелеметричних систем	34
1.2. Склад і принципи побудови радіотелеметричних систем	35
1.3. Аналіз підходів оцінювання показників ефективності алгоритму поведінки інформаційно-керуючої системи	39
1.4. Висновки до розділу 1	53
Розділ 2. Удосконалення методу автоматизованої побудови графа станів і переходів для оцінювання ефективності алгоритмів поведінки радіотелеметричної системи короткотривалого використання.....	54
2.1. Спосіб представлення алгоритму поведінки.....	54
2.2. Аналіз методу простору станів і рекомендації щодо його вдосконалення..	61
2.3. Вдосконалення методу побудови структурно-автоматних моделей алгоритмів поведінки систем	62
2.3.1. Формування множини формальних параметрів та вектора стану	63
2.3.2. Відображення в структурно-автоматній моделі циклів повторення алгоритму поведінки.....	64
2.3.3. Розробка структурно-автоматної моделі для аналізу алгоритму поведінки.....	65
2.3.4. Верифікація розробленої структурно-автоматної моделі.....	66
2.4. Аналітична модель алгоритму поведінки.....	68
2.5. Формування показників ефективності алгоритму поведінки.....	69
2.6. Висновки до розділу 2	76
Розділ 3. Оцінювання ефективності алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання з використанням методу «схеми шляхів».....	78

3.1. Необхідність вибору другого методу аналізу ефективності алгоритмів поведінки.....	78
3.2. Розробка методу «схеми шляхів» як представлення алгоритму поведінки.	79
3.2.1. Формалізоване представлення алгоритму поведінки «схемою шляхів»...	79
3.2.2. Математична модель алгоритму поведінки, отримана методом «схеми шляхів»	82
3.3. Методика побудови моделі алгоритму поведінки та дослідження його показників ефективності з використанням «схеми шляхів»	85
3.3.1. Вхідні дані для побудови моделі алгоритму поведінки з використанням «схеми шляхів».....	85
3.3.2. Математична модель алгоритму поведінки.....	86
3.3.3. Автоматизація визначення імовірності та середнього значення тривалості успішного виконання алгоритму поведінки.....	87
3.3.4. Верифікація методу шляхів для побудови моделі алгоритму поведінки..	92
3.4. Порівняння методів оцінки показників ефективності алгоритмів поведінки .	93
3.5. Висновки до розділу 3	98
Розділ 4. Розроблення моделей для оцінювання показників ефективності алгоритмів поведінки радіотелеметричних систем короткотривалого використання	100
4.1. Розробка моделей для оцінки показників ефективності алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання безпілотного літального апарату.....	100
4.1.1. Опис радіотелеметричної системи короткотривалого використання.....	100
4.1.2. Розробка вербальної моделі функціонального алгоритму радіотелеметричної системи короткотривалого використання.....	102
4.1.3. Розробка алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання	109
4.1.4. Побудова моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання модифікованим методом простору станів	112

4.1.4.1. Побудова структурно-автоматної моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання, що працює в режимі запису, напрямленої передачі та відтворення.....	113
4.1.4.2. Побудова структурно-автоматної моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання, що працює в режимі запису та напрямленої передачі	120
4.1.5. Розробка моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання методом «схеми шляхів», що працює в режимах запису, напрямленої передачі та відтворення	124
4.1.6. Розробка моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання методом «схеми шляхів», що працює в режимах запису і напрямленої передачі	126
4.1.7. Дослідження показників ефективності алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання методом «схеми шляхів»	128
4.2. Розробка моделей для оцінки показників ефективності алгоритмів поведінки радіоелектронного комплексу моніторингу наземної обстановки ..	130
4.2.1. Розробка моделі алгоритму поведінки радіоелектронного комплексу моніторингу наземної обстановки.....	132
4.2.2. Розробка структурно-автоматної моделі радіоелектронного комплексу моніторингу наземної обстановки.....	137
4.2.3. Дослідження моделей алгоритмів поведінки радіоелектронного комплексу моніторингу наземної обстановки.....	138
4.3. Висновки до розділу 4	142
Висновки	143
Список використаних джерел	145
Додаток А. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	162
Додаток Б. Акти впровадження результатів дисертації.....	165

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВД – режим відтворення;

ВЕ – відокремлюваний елемент;

ЗП – режим запису інформації;

ІКС – інформаційно-керуюча система;

НП – режим напрямленої передачі інформації;

ОБ – операційний блок;

ПБ – перевіряючий блок;

ПМКВС – правила модифікації компонент вектора стану;

РЕК – радіоелектронний комплекс;

РКМНО – радіоелектронний комплекс моніторингу наземної обстановки;

БРТС – бортова радіотелеметрична система;

САМ – структурно-автоматна модель;

ТК – телеметричний кадр;

ТМІ – телеметрична інформація;

ШВЧ – шкала внутрішнього часу.

ВСТУП

При виконанні завдання сучасним радіоелектронним комплексом (РЕК) 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 (БРТС), 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.

Структура БРТС короткотривалого використання формується так, щоб забезпечувати виконання поставленого завдання в умовах дії зовнішніх природних і штучних завад, при виникненні збоїв та відмов окремих підсистем. В склад БРТС короткотривалого використання входять різні за функціональним призначенням підсистеми, кожна з яких виконує свій набір процедур. Для сучасних БРТС короткотривалого використання характерний високий рівень структурної та функціональної інтеграції, що забезпечує автоматизацію отримання, передачі та обробки інформації.

Актуальність теми. В процесі розроблення нових та вдосконалення існуючих БРТС короткотривалого використання підвищуються вимоги щодо точності, надійності, оперативності отримання телеметричної інформації. На етапі системотехнічного проектування бортової радіотелеметричної системи (БРТС) короткотривалого використання необхідно вибрати технічні рішення, які забезпечать задане значення показника її ефективності. Тому актуальною задачею є визначення показників ефективності БРТС короткотривалого використання на етапі системотехнічного проектування ще до моменту практичної реалізації її прототипу, що знизить затрати часу і коштів на проведення натурних випробувань.

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.

Аналіз алгоритму поведінки дозволяє перевірити правильність прийнятих рішень, знайти слабкі місця системи, що допоможе сформулювати рекомендації щодо забезпечення або підвищення її ефективності. Узагальнений показник ефективності БРТС короткотривалого використання згідно [130] може відображатися показником надійності алгоритму поведінки системи, який визначається як імовірність досягнення мети, що для прикладних завдань може інтерпретуватися як імовірність та час правильного виконання алгоритму.

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.

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. 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 дозволять 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. Можасвим, 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 $2L$ 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, 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:

1. «Розроблення моделей, методів та алгоритмів для автоматизованої оцінки показників надійності радіоелектронних та електромеханічних пристроїв та систем», номер держреєстрації №0110U001098;

2. «Розроблення моделей надійності, ризику та безпечності програмно-апаратних технічних систем», номер держреєстрації № 0113U001371.

Також результати дисертаційної роботи використані у науково-дослідній роботі за шифром «Комплекс-С» у Науковому центрі Національної Академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного.

Мета і задачі 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 ефективному використанні часової надлишковості; надійності апаратного забезпечення при виконанні АП, що полягає у врахуванні надійнішої 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'єкт дослідження – процес взаємодії підсистем бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання під час виконання завдання згідно її алгоритму функціональної поведінки.

Предмет дослідження – 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 досліджень, 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 напрямленої передачі та режиму запису, напрямленої 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 диференційних 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:

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.

4. 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»;

- у держбюджетній науково-дослідній роботі «Розроблення моделей надійності, ризику та безпечності програмно-апаратних технічних систем»;
- у науково-дослідній роботі за шифром «Комплекс-С» у Науковому центрі 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 вирішені самостійно. У працях, опублікованих у співавторстві, авторові належать: [48, 113, 146] – модифікований метод автоматизованої побудови графа станів і переходів, розроблення моделі для оцінювання показників ефективності програмно-апаратної радіоелектронної системи на основі її алгоритму поведінки; [74, 111] – розроблення методики оцінювання показників ефективності алгоритму поведінки радіоелектронного комплексу моніторингу повітряного простору; [82] – формалізація алгоритму поведінки радіоелектронної структурно-алгоритмічної системи; [52, 72, 78, 79] – 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; [24, 47, 50, 51, 68 - 70, 74 - 77, 80] – 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: міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії» (Україна, Львів – Славськo, 2012, 2014); міжнародна молодіжна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій» (Україна, Севастополь, 2012); міжнародна конференція молодих вчених «Computer Science & Engineering» в рамках міжнародного фестивалю науки «LITTERIS ET ARTIBUS» (Україна,

Львів, 2013); міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи» (Україна, Київ, 2013, 2014); міжнародна науково-практичної конференція «Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки», (Україна, Чернівці, 2013, 2014); міжнародна конференція «Dependable Systems, Services & Technologies» (Україна, Київ, 2014); міжнародна науково-практичної конференція «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» (Україна, Запоріжжя, 2014); Міжнародна конференція з інформаційно-телекомунікаційних технологій та радіоелектроніки УкрМіКо'2016 (Україна, Київ, 2016); 22-га Міжнародна науково-технічна конференція GEOFORUM'2017 (Україна, Львів - Брюховичі - Яворів, 2017).

- на 3 науково-технічних конференціях України: науково-технічна конференція науково-педагогічних працівників «Проблеми та перспективи розвитку економіки і підприємництва та комп'ютерних технологій в Україні» (Львів, 2013); Всеукраїнська науково-практичної конференції «Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій» (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 виданні, 7 – у фахових виданнях України, 11 – у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій та 3 – у матеріалах науково-технічних конференцій України.

Структура 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.

РОЗДІЛ 1

ЗАВДАННЯ СИСТЕМОТЕХНІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ РАДІОТЕЛЕМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ

1.1. Аналіз особливостей радіотелеметричних систем

Технічна складність сучасних систем потребує контролю великої кількості параметрів, які визначають стан і режими роботи окремих пристроїв та системи в цілому, а також параметрів навколишнього середовища та медико-біологічних параметрів людини або тварини. Радіотелеметричні системи широко застосовуються для дистанційного моніторингу і контролю різноманітних радіотехнічних пускових комплексів [9, 42, 137], електроенергетичних систем [58, 145], виробничих систем [6, 15, 92, 101]; літальних та космічних апаратів [2, 7, 19, 144], живих організмів [1, 3, 5, 45], об'єктів нафтогазової промисловості [56, 133, 138]; водопостачання та водовідведення [33, 39]; наземного та водного транспорту [53, 65, 141] тощо.

Такі радіотелеметричні системи дозволяють дистанційно отримати дані про віддалені об'єкти для отримання інформації про значення вимірюваних параметрів (напруги, струму, тиску, температури, прискорення тощо). Інформація, отримана в реальному часі від радіотелеметричних систем, завдяки технічним засобам контролю і керування об'єктами на відстані із застосуванням спеціалізованих перетворень сигналів для ефективного використання каналів зв'язку, дозволяє негайно реагувати на події, що відбуваються на об'єкті спостереження [143].

Складові частини радіотелеметричних систем можуть бути статичними та мобільними, мати наземне [6, 15, 58, 100], підземне [56, 83, 138], надводне [53], підводне [33, 37] базування, на пілотованих та безпілотних літальних апаратах [2, 7, 8, 144]. Ці обставини визначають кількість підсистем, що входить в склад БРТС короткотривалого використання, їх тип, засоби амортизації і стабілізації, масо-габаритні показники, енергоспоживання, наявність і вид технічного обслуговування, тощо. В залежності від місця базування при формуванні

складу радіотелеметричних систем необхідно враховувати: погодні умови (вологість, наявність туману, опадів тощо), тривале перебування у воді під тиском (для радіотелеметричних систем підводного базування), значні гравітаційні перевантаження (для радіотелеметричних систем літальних апаратів), вібрацію, високий тиск і температуру (для радіотелеметричних систем ракетно-космічної техніки, нафтогазової промисловості та металургії), критичність отриманої інформації, тощо. Вимоги до забезпечення роботи радіотелеметричних систем у екстремальних умовах висувуються перед розробниками [9, 137] та регламентуються рядом стандартів [37 – Telemetry (TM) Systems Radio Frequency (RF) Handbook, 41 – Telemetry Solutions for Weapon Separation Testing, 110 – Оборудование радиотелеметрическое. Термины и определения: ГОСТ 19619-74].

1.2. Склад і принципи побудови радіотелеметричних систем

Для радіотелеметричних систем, як до різновиду великих систем, характерні значний рівень автоматизації та високий ступінь структурної та функціональної інтеграції обладнання [90, 91, 116]. В склад радіотелеметричних систем входять різні за функціональним призначенням підсистеми, кожна з яких виконує свій набір процедур і пов'язана з іншими інформаційно-керуючою системою для контролю і обміну необхідними даними та службовою інформацією. На етапі системотехнічного проектування радіотелеметричних систем необхідно враховувати максимум чинників, що можуть впливати на їх функціонування та надійність, та компенсувати і/або мінімізувати негативний вплив для забезпечення заданих показників ефективності таких систем [91, 98, 106].

Радіотелеметричні системи, в залежності від типу радіоелектронних комплексів (РЕК), в склад яких вони можуть входити, призначені для отримання, первинної обробки, передачі та збереження інформації про:

- функціонування і стан систем та пристроїв, що входять в склад РЕК;

- відповідність характеристик систем та пристроїв РЕК заданим технічним вимогам;
- виявлення несправностей систем та пристроїв РЕК та, якщо це можливо, їх дистанційне усунення;
- параметри навколишнього середовища;
- медико-біологічні параметри людини.

До всіх сучасних радіотелеметричних систем можна сформувавши ряд загальних вимог:

- можливість одночасної передачі багатьох різноманітних параметрів (напруги, струму, тиску, температури, прискорення тощо);
- забезпечення заданої точності отримання і передачі телеметричної інформації;
- забезпечення високого рівня автоматизації отримання, передачі та обробки інформації;
- забезпечення високої надійності використовуваних телеметричних засобів;
- забезпечення необхідних масо-габаритних параметрів.

Суть телеметричних вимірювань полягає в тому, що вимірювана величина перетворюється в електричний сигнал, який потім передається по каналу зв'язку. Таким чином, передається не сама вимірювана величина, а еквівалентний їй сигнал, параметри якого вибирають так, щоб спотворення при передачі були мінімальними [136].

Застосування в сучасних бортових радіотелеметричних системах (БРТС) короткотривалого використання пристроїв автоматичного перетворення, кодування і обробки телеметричної інформації з широким застосування спеціальних та універсальних мікропроцесорів і мікроконтролерів забезпечує високу точність і оперативність отримання телеметричної інформації, для збору якої зазвичай використовуються або телеметричні датчики (з можливістю роботи в телеметричних системах зі спеціальним вбудованим модулем зв'язку), або пристрої зв'язку з об'єктом, до яких підключаються звичайні датчики [84].

Будь-яка БРТС короткотривалого використання повинна включати в себе підсистеми та пристрої, що здійснюють [83]:

- телеобробку даних;
- керування спільними або індивідуальними засобами відображення інформації;
- контроль за дотриманням регламенту передачі даних;
- стеження за зміною параметрів;
- контроль достовірності передаваної (одержуваної) інформації і контроль справності давачів;
- реєстрацію, зберігання і відображення інформації;
- програмну реалізацію адаптивних алгоритмів передачі інформації;
- реалізацію самотестування і резервування.

Інформаційно-керуюча система (ІКС) призначена для обміну службовою інформацією та даними між програмно-апаратними підсистемами, що входять до радіотелеметричних систем, і визначає її ефективність [67, 87, 88]. Відповідно до типових структурних схем БРТС короткотривалого використання з врахуванням ІКС, представлена в роботах [84, 135] в склад бортової БРТС короткотривалого використання входять:

- набір давачів, які вимірюють фізичні параметри та формують первинні електричні сигнали;
- пристрої узгодження, які нормують (перетворюють первинні сигнали в сигнали із заданими наперед межами допустимих змін) і/або здійснюють аналогово-цифрове перетворення попередньо отриманих сигналів;
- синхронізатор – пристрій, що формує періодичні послідовності сигналів, які визначають часовий ритм роботи телеметричного обладнання [110];
- бортовий еталон часу – призначений для забезпечення роботи бортових систем та пристроїв, формування сигналів системи єдиного часу і зведення їх до єдиного відліку часу;
- пристрій формування групового телеметричного сигналу – здійснює кодування паралельних сигналів в послідовний код, командного слова, сигналів

синхронізації і бортового часу, маркерних сигналів розділення телеметричних кадрів та інших службових сигналів, що призначені для декодування групового телеметричного сигналу при прийомі.

- запам'ятовуючий пристрій – призначений для зберігання телеметричної інформації;
- антена радіопередавача випромінює сформований груповий телеметричний сигнал у ефір.

Оскільки ІКС забезпечує успішне виконання цільової функції БРТС короткотривалого використання, то визначення показників ефективності БРТС короткотривалого використання ще на етапі її системотехнічного проектування – до моменту практичної реалізації прототипу БРТС короткотривалого використання є дуже важливою задачею, що знизить затрати часу і коштів на проведення натурних випробувань. Таку задачу можна вирішувати на основі алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання, який реалізовується в ІКС, і є визначальним для функціонування БРТС короткотривалого використання.

Алгоритм поведінки (АП) – це формалізоване представлення логіки використання інформації БРТС короткотривалого використання при виконанні поставленого завдання, що складається з послідовності певних процедур. Алгоритм поведінки БРТС короткотривалого використання може бути заданий у різній формі (блок-схемою, вербально, псевдокодом) і характеризується часовою надлишковістю та обмеженням на тривалість виконання завдання [82].

Алгоритм поведінки БРТС короткотривалого використання розробляється на етапі її системотехнічного проектування з врахуванням [96, 97]:

- допустимого часу на виконання задачі;
- ефективного використання часової надлишковості ІКС;
- функціональної та надійнісної поведінки БРТС короткотривалого використання;
- процедур самоконтролю та діагностики апаратних засобів;
- розрізнення збоїв та виходів з ладу апаратних засобів.

Тому при моделюванні та аналізі АП БРТС короткотривалого використання при можливості потрібно використовувати такі підходи, які дозволять:

- враховувати наявність циклів в АП та кількості їх повторень для відтворення не лише надійної, а й функціональної поведінки БРТС короткотривалого використання, що відображає використання часової надлишковості ІКС, процедур підключення резерву, самоконтролю і діагностики апаратних засобів та програмного забезпечення;
- при визначенні час виконання алгоритму враховувати спроби не лише успішного, а й неуспішного виконання для забезпечення достовірності результатів моделювання;
- врахувати стохастичні і детерміновані переходи для розрізнення виходів з ладу апаратних засобів та збоїв програмного забезпечення, перемикання між складовими частинами системи, реалізації виходу з циклу за певної умови.
- повністю або частково автоматизувати процес оцінки показників ефективності АП БРТС короткотривалого використання.

1.3. Аналіз підходів оцінювання показників ефективності алгоритму поведінки інформаційно-керуючої системи

Розробка засобів оцінки показників ефективності полягає у побудові моделі БРТС короткотривалого використання, яка б враховувала її надійнісну та функціональну поведінку, і спрямована на кількісну оцінку ефективності системи. Моделювання поведінки систем для забезпечення достовірності результатів зазвичай проводять кількома різними методами [96].

Розрахунок ефективності БРТС короткотривалого використання на етапі системотехнічного проектування дає змогу провести обґрунтований вибір структури системи та алгоритму її поведінки, перевірити правильність прийнятих рішень, знайти слабкі місця системи, що дозволяє сформулювати рекомендації щодо забезпечення або підвищення її ефективності. Для цього необхідно прийняти до уваги всю відому інформацію про БРТС

короткотривалого використання з точки зору її поведінки, що підвищить адекватність розробленої моделі і після аналізу результатів моделювання дозволить зробити конструктивні висновки щодо ефективності досліджуваної системи [142].

Узагальнений показник ефективності БРТС короткотривалого використання згідно [86] може відображатися показником надійності алгоритмічного процесу поведінки системи, який визначається як імовірність досягнення мети, що для прикладних задач може інтерпретуватися як:

- імовірність правильного виконання алгоритму;
- час виконання алгоритму.

Для визначення показників ефективності БРТС короткотривалого використання (імовірність виконання цільової функції, середнє значення тривалості виконання цільової функції) [100] на сьогодні найчастіше застосовують такі підходи:

- мову моделювання поведінки структурно-алгоритмічних систем (мову алгоритмічних алгебр) [54, 80, 81, 142]
- логіко-імовірнісне моделювання [21, 24, 29, 103]¹;
- імітаційне моделювання [16, 20, 35, 132];
- мережі Петрі [4, 25, 26, 126,];
- GO-, GO-FLOW-методи [23, 51, 52];
- метод траєкторного моделювання [57, 58, 105];
- метод простору станів [10, 17, 109, 120].

Значний вклад в теорію надійності алгоритмів внесли роботи І. В. Сафонова з надійнісного проектування та оптимізації алгоритмів [121 - 124], А. І. Губінського [81, 90], А. Т. Ашерова [54], О. П. Ротштейна [90, 110, 112, 114], М. Г. Грифа та Е. Б. Цоя [80] з надійності людино-машинних систем, Г. В. Дружиніна з надійності технологічних процесів [85] та інших науковців.

Основою моделювання поведінки систем є алгоритмічні структури у вигляді типових комбінацій основних та допоміжних операцій. Для алгоритмічних структур розроблено моделі розрахунку показників надійності

за імовірно-часовими характеристиками безпомилкового виконання окремих операцій. В цих роботах розглядаються задачі оцінки та забезпечення показників надійності алгоритмічних процесів.

Згідно монографії [115] під алгоритмічним процесом розуміється розгорнута у часі послідовність дій, операцій або робіт, виконання яких забезпечує досягнення мети. Цю послідовність дій можна формалізувати деяким алгоритмом з такими властивостями:

- його правильне виконання забезпечує досягнення наперед заданої мети;
- він складається з елементарних операцій, які утворюють кінцеву множину;
- послідовність операцій алгоритму є детермінована;
- одночасно може виконуватися дискретна, наперед визначена кількість операцій, причому для систем без паралелізму вона рівна одиниці;
- він має початок і кінець, причому перехід з початкового стану в кінцевий здійснюється за кінцеву кількість операцій.

Типовими представниками алгоритмічних процесів є: процеси функціонування АСУ та комп'ютерних мереж, процеси автоматизованої обробки інформації і прийняття рішень, технологічні процеси виробництва продукції, процеси функціонування людино-машинних систем, алгоритми діяльності операторів тощо.

У роботах [121, 123, 124] та монографії [122] за основу моделювання зовнішньої (функціональної) і внутрішньої (надійної) поведінки алгоритмічно-структурних систем вибрано мову алгоритмічних алгебр, запропоновану Глушковым В.М. і вдосконалену Сафоновим І.В. Мовою алгоритмічних алгебр, використовуючи канонічні регулярні форми алгоритмів (лінійна, диз'юнктивна, ітеративна та паралельна), можна змодельовати будь-який АП БРТС короткотривалого використання. Модель АП БРТС короткотривалого використання з використанням мови алгоритмічних алгебр формується шляхом складання логічних виразів, сукупність яких дає змогу отримати модель АП у вигляді логічної функції. Графічно АП БРТС короткотривалого використання представляється у деревовидній формі, що є

окремою трудомісткою задачею, а внесення змін в структуру АП вимагає повної перебудови моделі.

Як показано в монографії [122], імовірність та тривалість правильного виконання складного алгоритму, що містить цикли, можна визначити двома шляхами:

- використовуючи ітеративну регулярну форму для моделювання фрагменту АП з циклами. При цьому кількість повторень циклів вважається необмеженою, тому імовірність правильного виконання алгоритму є завищеною, зате його тривалість нормується за імовірністю правильного виконання;
- використовуючи диз'юнктивну регулярну форму. В цьому випадку кількість повторень циклів є строго визначеною, імовірність правильного виконання алгоритму не завищується, однак його тривалість є заниженою, бо вона не нормується за імовірністю правильного виконання.

На етапі проектування структурно-алгоритмічних систем зазвичай відсутні достовірні числові початкові дані про надійність операторів та логічних умов алгоритмів поведінки. В таких випадках в монографії [111] та статті [113] пропонується використовувати експертні лінгвістичні оцінки характеристик надійності з подальшою їх формалізацією нечіткими числами. Під нечіткі початкові данні розроблена покрокова методика узагальнення моделей надійності алгоритмічних структур. За нею з чітких моделей надійності синтезують аналітичні правила розрахунку границь α -зрізів нечітких показників надійності.

В роботах [110, 112, 114] О. П. Ротштейном було запропоновано компактні матричні моделі надійності операторів, логічних умов та алгоритмічних структур для врахування помилок різних типів. Обмеження цих моделей надійності полягає в тому, що вони розроблені для випадку помилок несумісних типів. Це обмеження було знято в статтях [116, 142], результатом чого стало підвищення адекватності прогнозування надійності АП за рахунок узагальнення матричних моделей надійності на випадок помилок сумісних типів. Напрацювання І. В. Сафонова, А. І Губінського, А. Т. Ашерова,

О. П. Ротштейна були розвинуті та вдосконалені у одноосібних та спільних із О. П. Ротштейном наукових працях С. Д. Штовби [111, 113, 115, 116,].

Результатом проведених наукових досліджень у цих роботах стала методика та, розроблені згідно неї з використанням мови алгоритмічних алгебр, комплекс нечітких моделей безпомилковості, тривалості та вартості для 15 типових алгоритмічних структур. Для 10 алгоритмічних структур вперше отримано нечіткі моделі надійності та вперше розроблено нечіткі моделі переривання трьох алгоритмічних структур з пам'яттю на кількість контролів. Використання оператора циклічного повторення дозволяє, на відміну від попередніх робіт інших науковців, враховувати цикли в алгоритмі. Велика кількість базових алгоритмічних структур відносно чотирьох канонічних регулярних форм у І.В.Сафонова, а саме 15, значно розширює можливості підходу нечіткого аналізу надійності алгоритмів, запропонованого О. П. Ротштейном і С. Д. Штовбою, однак громіздкість процедур автоматизації надійнісного аналізу АП ускладнює його використання на практиці.

Основні теоретичні підходи і рекомендації до побудови логіко-імовірнісних моделей (ЛІМ) та методологічні основи до формалізації їх побудови було закладено в роботах А. С. Можасєва, І. А. Рябініна та їх послідовників [96, 97, 103] у вигляді загальної логіко-імовірнісної технології моделювання. В основі цієї технології моделювання лежить побудова дерева подій. Ідея формалізації полягає в тому, що на основі вербальної моделі будується вручну граф функціональної цілісності, який є графічним відображенням ЛІМ і є вхідними даними для подальшого формування моделі. Перевагами такої технології моделювання є значне скорочення часу розробки надійнісних ЛІМ складних систем, можливість оперативного проведення багатоваріантного аналізу. Обмеженням цієї технології є неможливість врахування циклічних процесів в функціональній поведінці досліджуваної системи, тобто враховується лише надійнісна поведінка системи. Ця технологія орієнтована на аналіз надійності та безпечності автоматизованих систем

керування літальних апаратів, наземного транспорту, технологічних процесів та електроенергетичних систем.

У статтях J. Magott, P. Skrobanek [21] і Y. Papadopoulou, J. McDermid, R. Sasse, G. Heiner [24] представлено методи моделювання поведінки систем на основі дерева відмов для оцінки безпечності складних систем. Такі дерева відмов пов'язують небезпечну подію (головну) з основними (вихідними) подіями, які спричинили появу головної події. Обмеженням цих методів є ручна побудова дерев відмов, що є трудо- і часомісткою задачею, оскільки вимагає детального розгляду всіх подій, що можуть призвести до відмови системи.

У статті Andrew Rae і Peter Lindsay [29] представлено метод автоматизації побудови дерев відмов, відштовхуючись від поведінки складної системи, який реалізований у прототипі програмного засобу "Eucalypt". Однак суттєвим обмеженням цього методу є неврахування циклічної поведінки досліджуваної системи.

У роботі Мушовця К. В. [98] запропоновано нову методику аналізу надійності та розроблено універсальну модель надійності телеметричної системи космічного апарату на базі модифікованого аналітичного загального логіко-імовірнісного методу. Універсальна модель дозволяє будувати структурно-функціональні схеми надійності досліджуваних систем, що враховують вплив елементів телеметричної системи космічного апарату та впливи, що виникають при взаємодії з навколишнім середовищем. Застосування методики аналізу надійності на базі універсальної моделі дозволяє підвищити достовірність результатів аналізу надійності телеметричної системи космічного апарату, однак для оцінки її показників ефективності ця методика має ті ж обмеження, які характерні для загального методу ЛІМ.

Конкурентним підходом до ЛІМ є GO-метод, представлений у статтях Shen Zupеі та Huang Xiangrui [51, 52] для розробки алгоритмів оцінки імовірності успішного виконання своїх функцій системами електроживлення (power supply system) [52] та закачування води (water injection system) [51]. Для

моделювання поведінки БРТС короткотривалого використання за допомогою GO-методу потрібно побудувати GO-схему (GO-chart), оператори якої відповідають операторам АП, а сигнали – переходам між операторами АП. Однак суттєвим обмеженням цього методу є неврахування циклів при функціонуванні системи.

У роботі Takeshi Matsuoka [23] представлено точний метод для вирішення задачі врахування логічних циклів для аналізу надійності систем з використанням GO-FLOW-методу, який є подальшим розвитком GO-методу, і, на відміну дерев відмов, є більш придатною технологією для аналізу систем з часовою залежністю станів. Система, яка включає в себе логічний цикл, описується логічним рівнянням. Якщо це логічне рівняння може бути вирішене аналітично, то і логічний цикл може бути врахований в аналізі надійності системи. Обмеженням розробленого методу є значне розширення GO-FLOW-схеми при збільшенні кількості логічних циклів, оскільки L сигналів схеми утворюють 2^L комбінацій станів.

В практиці моделювання об'єктів потрібно вирішувати задачі з формалізованим описом і врахуванням причинно-наслідкових зв'язків у складних системах, де паралельно протікає декілька процесів. Для цього застосовують мережеві підходи (N-схеми), наприклад мережі Петрі [25, 26, 126, 132]. Важливою особливістю моделей процесів функціонування систем з використанням N-схем є простота побудови ієрархічних конструкцій. Звідси випливає можливість ефективного використання N-схем для моделювання паралельних, асинхронних і розподілених процесів у різноманітних системах. Типові N-схеми на основі звичайних розмічених мереж Петрі застосовують для опису подій довільної тривалості. Однак такі моделі відображають лише порядок появи подій у досліджуваній системі. Для відображення часових параметрів функціонування систем на базі N-схем потрібно використовувати різні розширення апарату мереж Петрі.

Блок-схему алгоритму поведінки системи можна представити мережею Петрі у формі вузлів та дуг між ними. Виконання АП моделюється рухом

маркера (токена). Інструкції/команди в блок-схемі моделюються операційними та умовних блоками, а в мережі Петрі – переходами. Відповідно переходи в блок-схемі інтерпретуються в мережі Петрі як вузли (місця). Кожен перехід на блок-схемі АП точно відповідає одному вузлу мережі Петрі.

Таким чином, N-схема виконується шляхом запусків переходів під керуванням міток та їх розподілу в мережі. Перехід запускається видаленням маркерів з його вхідних позицій і утворенням нових маркерів у вихідних позиціях. Перехід може запускатися тільки тоді, коли він дозволений, тобто коли кожна з його вхідних позицій має число маркерів, принаймні рівне числу дуг з поточної позиції у перехід.

Моделювання системи за допомогою мережі Петрі вимагає формування такої послідовності подій, щоб унеможливити конфлікт двох дозволених переходів. Тоді один перехід може видалити маркер і відключити другий перехід. Це означає, що для моделювання блок-схеми алгоритму поведінки з циклами, дія, зв'язана з прийняттям рішення, вводить мережу в конфлікт. Вибір методу розв'язання конфлікту є складною методологічною проблемою [25].

У статті N. Sadou та H. Demmou [30] представлено метод аналізу імовірності небезпечних сценаріїв вбудованих систем, що базується на мережі Петрі. Завдяки цьому аналізу, починаючи з небезпечного стану, можна повернутися по ланцюжку причинності і вказати всі можливі сценарії, що ведуть до небезпечних станів (feared scenarios). Кожен сценарій представлений у вигляді часткової послідовності подій, які ведуть появи небезпечної події. У випадку звичайної мережі Петрі зменшується кількість небезпечних сценаріїв через одноразове виявлення циклу та його аналіз. Мережа Петрі з формулами лінійної логіки дозволяє отримати мінімальний сценарій при умовах:

- порядок настання подій регулюється ефективним зв'язком причин і наслідків в системі;
- перелік заходів за сценарієм повинен бути мінімальним (тобто без циклів);
- кінцеве маркування відповідно до небезпечних станів повинне бути мінімальним.

У представленому методі не описано реалізацію кількісного аналізу небезпечних сценаріїв, але допускається застосування імітаційного моделювання для оцінки імовірності виникнення небезпечного сценарію. Також неврахування кількості циклів можна вважати суттєвим обмеженням розглянутого методу.

Розширений апарат мереж Петрі, а саме кольорові мережі Петрі (Colored Petri Nets), був застосований у статті M. Bouali, P. Barger і W. Schon [4] для аналізу зворотної досяжності (backward reachability) вбудованих систем на прикладі сценарію поломки гальм. Проведене дослідження потребувало формальної моделі структури або поведінки системи як основи для побудови дерева зворотної досяжності ситуації поломки гальм кольоровою мережею Петрі. Перевагою апарату кольорової мережі Петрі є врахування циклів, хоча їх опис є ускладнений через еволюцію значень маркерів (token values evolution).

Мінімальний цикл між вузлом і переходом представляє собою простий таймер або семплер (sampler). Щоб уникнути нескінченного повторення ітерацій, пропонується використання:

- послідовності (sequence), що дозволяє визначити тільки одну операцію після заданого числа ітерацій таймера;
- дуальності (duality) – спочатку розрахувати кількість необхідних ітерацій для досягнення такого значення таймера, щоб можна було змоделювати цикл, а потім застосувати послідовність.

Таким чином в кольорових мережах Петрі значення виконання циклу генерується відповідно до використаної послідовності.

Імітаційне моделювання дозволяє розглядати процеси, що відбуваються в системі, практично на будь-якому рівні деталізації [16, 20, 45, 128]. Метод імітаційного моделювання дозволяє вирішувати задачі аналізу великих систем, включаючи задачі оцінки: варіантів структури системи, ефективності різних алгоритмів керування системою або її поведінки, впливу зміни різних параметрів системи. Імітаційне моделювання може бути покладено також в основу структурного, алгоритмічного і параметричного синтезу великих

систем, коли потрібно Створити систему із заданими характеристиками при певних обмеженнях, але яка є оптимальною за деякими критеріями оцінки ефективності.

Однак, розробка кожної імітаційної моделі є окремою задачею, яка потребує значних часових затрат і не є гнучкою при модифікації алгоритму поведінки. При вирішенні задач синтезу систем на основі їх імітаційних моделей крім розробки моделюючих алгоритмів для аналізу фіксованої системи необхідно також розробити алгоритми пошуку оптимального варіанту системи. Крім цього, імітаційна модель не дає змоги дослідити поведінку складної системи в кожному стані зокрема.

Альтернативним методом для аналізу процесів, що можуть відбуватися в складних системах, є метод простору станів. У монографії К. Негойце [102] викладено використання простору станів для теорії систем в області керування, а також показано принципи реалізації алгоритмів керування складних систем.

У статті Х. В. Саркісяна та М. М. Матюшина [120] показано можливість використання методу дерев пошуку станів для підтримки прийняття рішень для комплексної оцінки функціонування бортової системи космічного апарату. Наочність процесу отримання поточної оцінки бортової системи сприяє більш повному розумінню фахівцями групи керування польотом поточної ситуації. Однак цей метод з використанням оціночних функцій одиничних параметрів може бути використаний лише в випадку, якщо кількість параметрів, що описують роботу даної системи, не перевищує певних меж і при формуванні дерева станів бортової системи передбачена динамічна настройка орієнтованого графа. Також обмеженнями є складність створення уніфікованих дерев для всіх бортових систем космічного апарату, тобто для кожної бортової системи необхідна побудова дерева окремо, та необхідність зміни процедури оцінки при зміні вихідних даних і числа операцій порівняння.

Для марковських процесів, які є частковим випадком простору станів, характерний експоненційний закон розподілу часу між двома подіями, що зумовило їх широке застосовуються на початковому етапі проектування систем

для оцінки надійності складних технічних систем і електро- та радіовиробів, що не піддаються старінню та зношуванню, а також для порівняння оцінок показників надійності [101].

Для складних систем, поведінка яких відображається марковським або напів-марковським процесами в монографії К. Райншке та І. А. Ушакова [109] було запропоновано правила побудови моделей систем і методики оцінки їхньої надійності.

У наукових працях Hoang Pham [27], Israel Koren і С. Mani Krishna [17] розглядається застосування марковських і напів-марковських процесів для моделювання і аналізу надійності та поведінки складних систем.

У статті [10] автори Christopher Dabrowski і Fern Hunt представили модель поведінки комп'ютерної системи на основі ланцюга Маркова з дискретним часом, призначену для передбачення сценаріїв відмов.

Суттєвим обмеженням підходів [10, 17, 27, 109] є ручна побудова графа станів та переходів – графічного представлення марковської моделі, та системи лінійних диференційних рівнянь Колмогорова – Чепмена – аналітичного математичного представлення. Відсутність автоматизації робить розробку моделі поведінки великої системи дуже тривалою і затратною справою, а також ускладнює верифікацію побудованої моделі.

У дисертації Л. Д. Озірковського [105] вирішено задачу розробки засобів оцінки ефективності алгоритмів пошуку і виявлення цілей прицільних радіоелектронних комплексів, створено математичні моделі, методики та програмні засоби для автоматизації процедури аналізу алгоритмів, завдяки чому зменшуються затрати часу на етапі системотехнічного проектування прицільних радіоелектронних комплексів. Побудовані математичні моделі алгоритму пошуку і виявлення цілей прицільного радіоелектронного комплексу дають можливість отримати значення його показників ефективності для заданої конфігурації комплексу з врахуванням рівня кваліфікації оператора.

У статті Б. Ю. Волочія [71] розглянуто марковську модель як засіб комплексного моделювання інформаційних систем з функціональним

резервуванням, а у монографії [81] представлено технологію моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем. Для введення цієї технології було розроблено удосконалену методику побудови моделей поведінки дискретно-неперервних стохастичних систем, яка полягає в представленні об'єкта дослідження за допомогою структурно-автоматної моделі, що містить вектор станів, множину формальних параметрів та дерево правил модифікації компонент вектора стану. Структурно-автоматна модель відображає поведінку складної системи.

На основі цієї технології було розроблено програму ASNA [49, 63], який дозволив автоматизувати процес побудови графа станів та переходів та формування системи диференційних рівнянь Колмогорова – Чепмена, порядок якої визначається кількістю станів. При використанні цього підходу проєктант має змогу сам вибирати наскільки точно йому необхідно враховувати процеси, що протікають в системі. Можливість деталізації опису поведінки ІКС дослідження визначається лише відомою інформацією про об'єкт, що впливає на адекватність побудованої моделі ІКС, та можливостями програми ASNA.

Однак ця технологія не враховує нормування середнього значення тривалості успішного виконання АП за імовірністю його успішного виконання, що занижує середнє значення тривалості виконання алгоритму.

Для дослідження варіантів реалізації АП також можна використати метод траєкторного моделювання [57, 58, 105], який дає змогу отримати імовірність і середній час виконання завдання без отримання для них закону розподілу і придатний для аналізу дискретно-неперервних випадкових процесів, при цьому не породжує проблем, пов'язаних з розширенням фазового простору (що характерно для методу простору станів) при збільшенні кількості компонент вектора стану.

В алгоритмі поведінки існує множина маршрутів, кожний з яких є впорядкованим переліком блоків, що послідовно виконуються. Залежно від поєднання значень початкових даних в процесі виконання АП обираються різні маршрути, імовірності успішного проходження яких, в загальному випадку,

різні. Вибір маршруту визначається умовними переходами. Випадковий характер появи різних початкових даних визначає випадковість в обиранні маршрутів, які відрізняються імовірностями правильного виконання та часом виконання алгоритму. Тому для оцінки імовірності правильного виконання та часу виконання алгоритму необхідно описати динаміку поведінки комплексу за допомогою транзитивних імовірностей альтернативних переходів.

Для оцінки показників ефективності БРТС короткотривалого використання може використовуватися її графова модель алгоритму поведінки, в якій вершини відповідають операційним блокам, а дуги – переходам. Якщо роботу кожного операційного блока описати як процедуру, в якій відбувається перевірка умов, розрахунок інтенсивностей переходів та імовірностей альтернативних переходів, а також модифікація вектора стану, то перехід до іншого операційного блока можна організувати як виклик іншої процедури. Для того щоб пройти всі можливі маршрути, необхідно запам'ятовувати всі місця розгалужень алгоритму, через які прокладений даний маршрут, щоб мати можливість повернення до них та послідовного перебору всіх можливих маршрутів.

У процесі проходження кожного маршруту необхідно накопичувати значення імовірностей та часу. В момент досягнення операційного блока, який символізує успішне виконання завдання, необхідно скинути результати в ньому та повернутися до останнього розгалуження. В цьому операційному блоці накопичується результат. Після проходження всіх можливих маршрутів отримується значення імовірності успішного виконання завдання та середнього часу успішного виконання завдання за заданих початкових умов.

Як видно з табл. 1.1, жоден із розглянутих вище методів не дозволяє в повній мірі вирішити завдання аналізу алгоритмів поведінки складних систем, що породило актуальну задачу розробки такого методу побудови математичних моделей алгоритмів поведінки для оцінки та аналізу показників ефективності БРТС короткотривалого використання, який враховував би строго визначену

кількість повторень циклів, наявність стохастичних і детермінованих переходів алгоритму та нормування середнього значення тривалості алгоритму поведінки за його імовірністю успішного виконання, що в загальному підвищило б достовірність математичної моделі. З практичної точки зору необхідно створити автоматизовані засоби багатоваріантного аналізу алгоритмів поведінки складних систем, в яких блок-схема алгоритму поведінки повинна швидко модифікуватися для скорочення часу розробки моделі.

Таблиця 1.1 – Порівняння різних підходів для моделювання та аналізу алгоритмів поведінки складних систем

особливості методи	придатність для багатоваріантного аналізу за короткий час	урахування кількості повторень циклів	урахування успішних та неуспішних спроб виконання АП при визначенні його часу виконання	урахування стохастичних, детермінованих переходів
мова алгоритмічних алгебр	ні	так	так	так
метод простору станів	ні	так	ні	ні
удосконалений метод простору станів	так	так	ні	ні
логіко- імовірнісне моделювання	ні	ні	ні	ні
метод траєкторного моделювання	ні	так	так	ні
імітаційне моделювання	ні	так	ні	так
розмічені мережі Петрі	ні	так	ні	так
GO/GO-FLOW методи	ні	ні/так	ні	ні

1.4. Висновки до розділу 1

1. В результаті проведеного огляду інформаційних джерел встановлено, що інформаційно-керуюча система та реалізований в ній алгоритм поведінки мають визначальний вплив на ефективність функціонування систем телеметричних вимірювань, особливо за наявності в їх складі сучасних пристроїв автоматичного перетворення, кодування і обробки телеметричної інформації з широким застосування спеціальних та універсальних мікропроцесорів і мікроконтролерів.

2. Задачу оцінки показників ефективності радіотелеметричної системи короткотривалого використання можна вирішувати на етапі її системотехнічного проектування на основі алгоритму поведінки, оскільки інформаційно-керуюча система забезпечує успішне виконання цільової функції радіотелеметричної системи короткотривалого використання, а сам алгоритм поведінки реалізовується в інформаційно-керуючій системі.

3. З огляду доступних інформаційних джерел встановлено особливості застосування різних методів (алгоритмічні структури, логіко-імовірнісне моделювання, імітаційне моделювання, мережі Петрі, GO-метод, метод траєкторного моделювання, метод простору станів) для моделювання та аналізу алгоритмів поведінки складних систем.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ ГРАФА СТАНІВ І ПЕРЕХОДІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ ПОВЕДІНКИ РАДІОТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ КОРОТКОТРИВАЛОГО ВИКОРИСТАННЯ

2.1. Спосіб представлення алгоритму поведінки

Методика побудови моделей та дослідження показників ефективності БРТС короткотривалого використання передбачає послідовне виконання окремих етапів згідно технології моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем [81].

Перед побудовою моделей необхідно:

- досконало вивчити особливості досліджуваної системи;
- визначити її складові частини;
- прийняти до уваги технічні характеристики кожної з них та характер її взаємодії з іншими складовими.

Це дозволяє сформулювати АП, який задає вхідні дані для побудови моделі БРТС короткотривалого використання.

Побудову моделі БРТС короткотривалого використання слід починати із формування алгоритму поведінки, який відображає процес виконання цільової функції системи з врахуванням функціонального та надійнісного аспектів поведінки БРТС короткотривалого використання, взаємодії її складових частин та послідовності використання інформації.

Зазвичай функціональні алгоритми систем представляють їхніми блок-схемами з використанням типових елементів, саме тому алгоритми поведінки графічно теж доцільно зобразити блок-схемою, що складається з операційних та перевіряючих блоків, які з'єднуються між собою лініями зі стрілками, що вказують шлях виконання АП.

Алгоритм поведінки БРТС короткотривалого використання має ряд особливостей, описаних в підрозділі 1.2, які необхідно в явній формі відобразити на блок-схемі АП, а саме:

- наявність циклів в АП, що дає змогу відобразити не лише надійнісну, а й функціональну поведінку БРТС короткотривалого використання, що включає використання часової надлишковості ІКС, процедур підключення резерву, самоконтролю і діагностики апаратних засобів та програмного забезпечення;
- врахування стохастичних і детермінованих переходів для розрізнення виходів з ладу апаратних засобів та збоїв програмного забезпечення та реалізації виходу з циклу за певної умови.

Тому потреба прийняти до уваги ці особливості АП при його моделюванні зумовила введення двох різних типів перевіряючих блоків.

Для побудови блок-схеми АП БРТС короткотривалого використання доцільно представити наступним чином.

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 $T_{\text{сер}}$, що відображає середній операційний час виконання функції або процедури. Слід відзначити, що процедури відрізняються від функцій тим, що функції повертають значення параметра, наприклад кількість виконаних циклів, а процедури – ні.

Необхідно зазначити, що послідовно з'єднані операційні блоки, зміни параметрів яких не потребують деталізації при моделюванні, об'єднують в один із сумуванням $T_{\text{сер}}$ кожного операційного блоку. Таким чином можна редукувати графічне відображення алгоритму, а відповідно і розмірність моделі, оскільки кількість операційних блоків АП визначає розмірність моделі.

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 задачі та характеризується такими параметрами:

- p – представляє імовірність правильного виконання попереднього операційного блоку або імовірність переходу з попереднього операційного або перевіряючого в наступний блок;
- q – представляє імовірність неправильного виконання попереднього операційного блоку або імовірність переходу з попереднього операційного або перевіряючого в інший блок, відмінний від згаданого у попередньому абзаці.

Таким чином використанням стохастичного блоку альтернативного переходу можна відтворити надійнісну поведінку досліджуваної системи.

В результаті перевірки умови стохастичного блоку, на його виходах з імовірністю безвідмовної роботи з'являється відповідь “так”, а з імовірністю відмови - відповідь “ні”.

Детермінований блок умовного переходу відображає сценарій використання програмного забезпечення, виконання циклу з умовою та характеризується імовірностями:

- $p_i^+ = 1$, якщо виконується умова перевірки i -го блоку;
- $q_i^- = 1$ в протилежному випадку.

Таке представлення умовного переходу в детермінованих блоках зумовлене тим, що в подальшому необхідно математично співставити їх роботу з стохастичними блоками альтернативного переходу.

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.

Успішне чи неуспішне виконання АП у завершується у відповідному блоці.

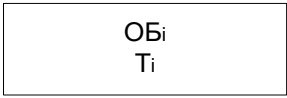
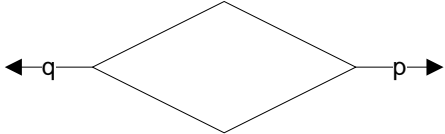
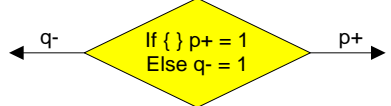
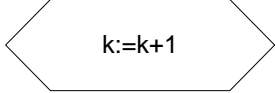
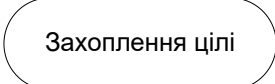
Система позначень операційних та перевіряючих блоків на блок-схемі АП є важливою для унеможливлення плутанини та забезпечення зручності розробки формул оцінки показників ефективності у подальшій роботі.

Система позначень операційних та перевіряючих блоків на блок-схемі АП передбачає що:

1. i -ий операційний блок позначається як $ОБ_i$;
2. Середнє значення тривалості виконання i -го операційного блоку АП $ОБ_i$ позначається як T_i ;
3. n -ий перевіряючий блок позначається як $ПБ_n$;
4. Імовірності переходу з n -го перевіряючого блоку $ПБ_n$ можуть позначатися двома способами:
 - простим – якщо не цікавить тип наступного блоку, то імовірності переходу з n -го перевіряючого блоку $ПБ_n$ позначатися як p_n і q_n ;
 - ідентифікованим – якщо інформація про тип наступного блоку має значення:
 - імовірність переходу з n -го перевіряючого блоку $ПБ_n$ у m -ий перевіряючий блок $ПБ_m$ позначається як p_{n_m} ;
 - імовірність переходу з n -го перевіряючого блоку $ПБ_n$ у i -ий операційний блок позначається як r_{n_i} ;
5. Блок-лічильник на блок схемі не нумерується, оскільки несе допоміжну інформацію, але відображає зміну ідентифікатора кількості повторень циклу;
6. Блок завершення може або нумеруватися так, як і операційний блок, або позначатися символічно, проте він не має параметра середнього значення тривалості виконання.

Вигляд всіх блоків, які використовуються для побудови блок-схеми АП, приведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Блоки, які використовуються для графічного представлення алгоритмів поведінки складних систем

	<p>Операційний блок $ОБ_i$:</p> <p>T_i – середнє значення тривалості виконання</p>
	<p>Стохастичний блок альтернативного переходу</p> <p>$ПБ_n$: $p+q=1$ – імовірності переходу</p>
	<p>Детермінований блок умовного переходу $ПБ_n$:</p>
	<p>Лічильник кількості виконань</p>
	<p>Блок завершення</p>

Алгоритм поведінки РЕК пошуку, виявлення і захоплення цілі передбачає функції та процедури: отримання цілевказівки, пошук цілі, повторний пошук цілі, контроль, діагностика, введення координат цілі, захоплення цілі (рис. 2.1). Таке графічне представлення АП є першим кроком побудови його математичної моделі.

Для блок схеми тестового алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору (рис. 2.1) слід задати вхідні дані, що містять технічні характеристики складових системи та описують характер їхньої взаємодії.

Цей алгоритм поведінки включає один цикл, який повторює фрагмент пошуку цілі, що складається з 8 операційних блоків (4 з них – кінцеві) та 5 перевіряючих блоків (4 стохастичні альтернативного переходу та 1 детермінований умовного переходу).

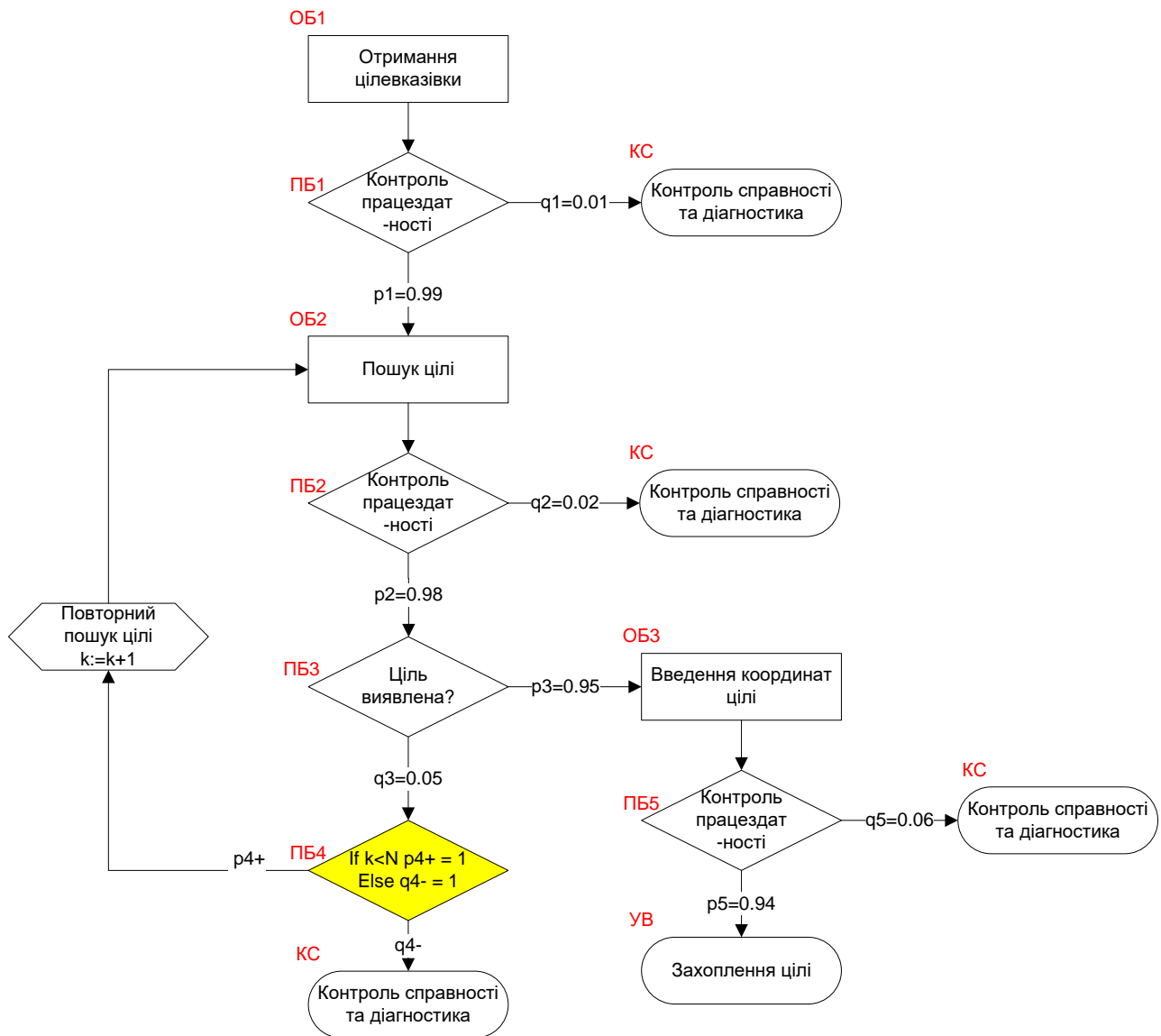


Рисунок 2.1 – Блок-схема алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі для РЕК моніторингу повітряного простору

Відповідно до блок-схеми тестового алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору (рис. 2.1), потрібно зберегти параметри операційних та перевіряючих блоків:

$T_1 = 1$ с – середнє значення тривалості виконання ОБ₁ “Отримання цілевказівки”;

$T_2 = 2$ с – середнє значення тривалості виконання ОБ₂ “Пошук цілі”;

$T_3 = 3$ с – середнє значення тривалості виконання ОБ₃ “Введення координат цілі”;

$K = 2$ – допустима кількість повторень циклу пошуку цілей;

$p_1 = 0.99$ – імовірність переходу з ОБ₁ “Отримання цілевказівки” через стохастичний блок альтернативного переходу ПБ₁ “Контроль працездатності” в ОБ₂ “Пошук цілі”;

$q_1 = 1 - p_1$ – імовірність переходу з ОБ₁ “Отримання цілевказівки” через стохастичний блок альтернативного переходу ПБ₁ “Контроль працездатності” в ОБ_{КС} “Контроль справності та діагностика”;

$p_2 = 0.98$ – імовірність переходу з ОБ₂ “Пошук цілі” через стохастичний блок альтернативного переходу ПБ₂ “Контроль працездатності” в стохастичний блок альтернативного переходу ПБ₃ “Ціль виявлена?”;

$q_2 = 1 - p_2$ – імовірність переходу з ОБ₂ “Пошук цілі” через стохастичний блок альтернативного переходу ПБ₂ “Контроль працездатності” в ОБ_{КС} “Контроль справності та діагностика”;

$p_3 = 0.95$ – імовірність переходу з стохастичного блоку альтернативного переходу ПБ₃ “Ціль виявлена?” в ОБ₃ “Введення координат цілі”;

$q_3 = 1 - p_3$ – імовірність переходу з стохастичного блоку альтернативного переходу ПБ₃ “Ціль виявлена?” в детермінований блок умовного переходу ПБ₄ – блок перевірки умови виконання циклу;

$p_4^+ = 1$ – імовірність переходу з детермінованого блоку перевірки умови виконання циклу ПБ₄ через лічильник кількості виконань в ОБ₂ “Пошук цілі”, якщо умова істинна;

$q_4^- = 1$ – імовірність переходу з детермінованого блоку перевірки умови виконання циклу ПБ₄ в ОБ_{КС} “Контроль справності та діагностика”, якщо умова хибна;

$p_5 = 0.94$ – імовірність переходу з ОБ₃ “Введення координат цілі” через стохастичний блок альтернативного переходу ПБ₅ “Контроль працездатності” в ОБ_{УВ} “Захоплення цілі”;

$q_5 = 1 - p_5$ – імовірність переходу з ОБ₃ “Введення координат цілі” через стохастичний блок альтернативного переходу ПБ₅ “Контроль працездатності” в ОБ_{КС} “Контроль справності та діагностика”.

2.2. Аналіз методу простору станів і рекомендації щодо його вдосконалення

Для застосування методу простору станів доцільно використати технологію моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем представлену у монографії Б. Ю. Волочія [81]. 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’єкту) та дерево правил модифікації компонент вектора стану (відображає поведінку об’єкта).

Структурно-автоматна модель формалізовано відтворює поведінку складної системи і за допомогою спеціального програмного забезпечення дає змогу отримати граф станів і переходів інцидентний її поведінці. Завдяки формалізації процесу побудови математичної моделі АП БРТС короткотривалого використання, мінімальним затратам часу на побудову моделі, а також того факту, що технологія побудови моделі АП мінімізує імовірність внесення помилки проєктантом, застосування методу простору станів відповідає вимогам необхідним для проведення багатоваріантного аналізу ефективності АП БРТС короткотривалого використання.

Наявність програмного забезпечення на основі цієї технології дозволяє вирішувати задачі багатоваріантного аналізу алгоритмів поведінки складних систем. Програма ASNA дає можливість автоматизувати процес побудови графа станів та переходів та сформулювати аналітичну модель у вигляді системи

диференційних рівнянь Колмогорова – Чепмена, порядок якої визначається кількістю станів. При використанні цього підходу проєктант має змогу сам вибирати наскільки точно йому необхідно враховувати процеси, що протікають в системі. Можливість деталізації опису поведінки БРТС короткотривалого використання визначається лише відомою інформацією про об'єкт, що впливає на адекватність побудованої моделі БРТС короткотривалого використання, та можливостями програмни ASNA. Програма ASNA був з самого початку був розроблений надійнісного проєктування та аналізу відмовостійких систем, поведінка яких описувалася лише стохастичними процесами і тому в ньому не передбачено у явній формі можливості для вирішення задачі оцінки та аналізу АП, який містить не лише стохастичні, а й детерміновані переходи.

Звідси впливає необхідність вдосконалення методу автоматизованої побудови графу станів і переходів шляхом внесення змін в окремі елементи структурно-автоматної моделі.

2.3. Вдосконалення методу побудови структурно-автоматних моделей алгоритмів поведінки систем

Для дослідження показників ефективності АП БРТС короткотривалого використання згідно технології [81] необхідною є побудова структурно-автоматної моделі (САМ) – формалізованого представлення структури і поведінки досліджуваної системи.

Структурно-автоматна модель – це сукупність трьох множин даних: множина формальних параметрів, що містить усі константи та їх значення, які використовуються при формуванні математичної моделі БРТС короткотривалого використання; вектор стану, призначений для кодування станів, у яких може знаходитися БРТС короткотривалого використання в процесі виконання завдання; дерево правил модифікації компонент вектора стану – формалізоване представлення поведінки та функціонування БРТС короткотривалого використання.

На першому етапі вдосконалення САМ для моделювання алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання потрібно врахувати те, що для таких АП відбувається лише одна подія – виконання операційного блока.

2.3.1. Формування множини формальних параметрів та вектора стану

Особливі вимоги ставляться до множини формальних параметрів, оскільки вона 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 забезпечить побудову адекватної математичної моделі АП БРТС короткотривалого використання.

Окремою задачею є формування вектора стану (ВС), що полягає в записі усіх змінних, які будуть використовуватися при побудові дерева правил модифікації вектора стану. 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 роботи БРТС короткотривалого використання.

Правильна нумерація усіх блоків повинна забезпечити зручність та швидкість формування формул розрахунку інтенсивності базової події (ФРІБП) та формули розрахунку імовірності альтернативного переходу (ФРІАП) у відповідних полях поля дерева правил модифікації компонент вектора стану (ПМКВС) при подальшій роботі із САМ.

У САМ у множину формальних параметрів потрібно ввести задані імовірності правильного виконання функцій БРТС короткотривалого використання та середні значення тривалості їх виконання згідно системи позначень, описаної у підрозділі 2. 1.

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

Перехід відбувається лише між описаними станами, тому у ФРІБП обов'язково повинні бути вирази, що описують середнє значення тривалості виконання операційного блоку, а у ФРІАП – імовірність альтернативного переходу до наступного операційного блоку.

Інтенсивності переходів між станами визначаються за формулами (2.1) або (2.2):

$$\lambda_{j-(j+1)} = \frac{1}{T_i} \cdot p_n \cdot p_m \quad (2.1)$$

або

$$\lambda_{j-(j+1)} = \frac{1}{T_i} \cdot p_{n_m} \cdot r_{m_i+1} \quad (2.2)$$

де T_i – середнє значення тривалості виконання операційного блоку ОБ _{i} АП;

p_n і p_{n_m} – імовірність переходу з стохастичного блоку альтернативного переходу ПБ _{n} в стохастичний блок альтернативного переходу ПБ _{m} ;

p_m і r_{m_i+1} – імовірність переходу з стохастичного блоку альтернативного переходу ПБ _{m} у ОБ _{$i+1$} .

2.3.2. Відображення в структурно-автоматній моделі циклів повторення алгоритму поведінки

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_4^+ або p_4^- 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.

$p_4^+ = 1$ – ймовірність переходу з детермінованого блоку перевірки умови виконання циклу, якщо умова істинна;

$q_4^- = 1$ – ймовірність переходу з детермінованого блоку перевірки умови виконання циклу, якщо умова хибна;

Формули розрахунку інтенсивності базової події, формули розрахунку ймовірності альтернативного переходу та правила модифікації компонент вектора стану заносяться у відповідні поля дерева правил модифікації компонент вектора стану, яке відображає поведінку БРТС короткотривалого використання.

Для аналізу алгоритму поведінки у поле умови відмови програмного модуля ASNA не потрібно нічого записувати – це дає змогу отриманий повний розподіл ймовірностей перебування БРТС короткотривалого використання у станах.

2.3.3. Розробка структурно-автоматної моделі для аналізу алгоритму поведінки

Для заповнення множини формальних параметрів алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору використаємо параметри, приведені у підпункті 2. 1.

Вектор стану досліджуваного АП представлений наступними компонентами:

V1 – відображає номер виконуваного операційного блока згідно блок-схеми АП (рис. 2.1);

V2 – відображає кількість виконаних циклів АП.

Компоненти вектора стану можуть набувати цілих значень:

$V1=1 \dots 3$ – при виконанні відповідних операційних блоків;

$V1=111$ – при досягненні стану “Захоплення цілі”;

$V1=000$ – при досягненні стану “Контроль справності та діагностика”;

$V1=0 \dots 2$ – після виконання відповідної кількості циклів АП.

Згідно внесених удосконалень САМ для алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору, який приведено на рис. 2.1, сформовано САМ, яка подана в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Структурно-автоматна модель алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору

Умови та обставини	ФРІБП	ФРІАП	ПМКВС
$V1=1$	$1/T1$	$p1$	$V1:=2$
$V1=1$	$1/T1$	$q1$	$V1:=000$
$V1=2$	$1/T2$	$p2*p3$	$V1:=3$
$V1=2$	$1/T2$	$q2$	$V1:=000$
$(V1=2) \text{ AND } (V2 < N)$	$1/T2$	$p2*q3*p4$	$V1:=2; V2:=V2+1$
$(V1=2) \text{ AND } (V2=N)$	$1/T2$	$p2*q3*q4$	$V1:=000$
$V1=3$	$1/T3$	$p5$	$V1:=111$
$V1=3$	$1/T3$	$q5$	$V1:=000$

2.3.4. Верифікація розробленої структурно-автоматної моделі

Після побудови САМ АП її необхідно верифікувати. Верифікація моделі АП здійснюється перевіркою наявності всіх можливих варіантів його виконання на графі станів та переходів.

Ця задача є складною і особливістю такої верифікації САМ АП є те, що вона проводиться поступовою перевіркою кожного запису дерева правил модифікації та шляхом перевірки окремих гілок АП.

Верифікація здійснюється наступним чином: для одного з варіантів вхідних даних здійснюється розробка графа станів та переходів системи з використанням сформованої структурно-автоматної моделі та програмного модуля ASNA. Для цього необхідно ввести в розгалужуючі перевіряючі блоки АП значення імовірностей 0 або 1 і згенерувати граф станів та переходів.

Для такого ж самого набору вхідних даних на основі вербальної моделі, шляхом логічного перебору всіх можливих ситуацій здійснюється ручна побудова графа станів та переходів (рис. 2.2). Якщо ж отримані графи станів та переходів співпадають то вважається, що структурно-автоматна модель побудована вірно, а результати моделювання є коректними.

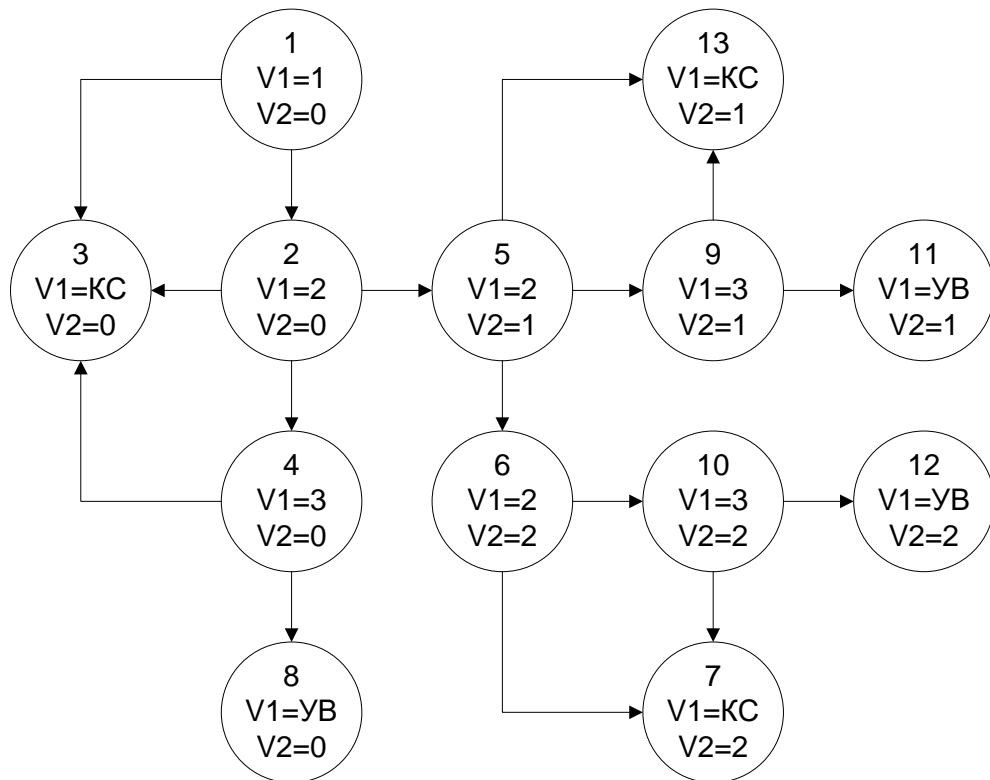


Рисунок 2.2 – Граф станів та переходів алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору

Таким чином, проаналізувавши отриманий граф і переконавшись у відсутності переходів на вимкнуті стани, забезпечується ізоляція вибраних гілок алгоритму, що показує наскільки правильно записано умови і правила переходу на конкретну гілку АП.

2.4. Аналітична модель алгоритму поведінки

Верифікована САМ АП РЕК є вхідними даними для програмного модуля ASNA-1, який автоматизовано генерує граф станів та переходів, і на його основі формує аналітичну модель у вигляді системи лінійних диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена.

Для прикладу взято модель АП РЕК моніторингу повітряного простору (2.3), яка представлена графом з 13 станами та 16 переходами (рис. 2.2).

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_1(t)}{dt} &= -\lambda_{2,1}P_2(t) - \lambda_{3,1}P_3(t) \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} &= \lambda_{2,1}P_1(t) - \lambda_{3,2}P_3(t) - \lambda_{4,2}P_4(t) - \lambda_{5,2}P_5(t) \\
 \frac{dP_3(t)}{dt} &= \lambda_{3,1}P_1(t) + \lambda_{3,2}P_2(t) + \lambda_{3,4}P_4(t) \\
 \frac{dP_4(t)}{dt} &= \lambda_{4,2}P_2(t) - \lambda_{3,4}P_3(t) - \lambda_{8,4}P_8(t) \\
 \frac{dP_5(t)}{dt} &= \lambda_{5,2}P_2(t) - \lambda_{6,5}P_6(t) - \lambda_{9,5}P_9(t) - \lambda_{13,5}P_{13}(t) \\
 \frac{dP_6(t)}{dt} &= \lambda_{6,5}P_5(t) - \lambda_{7,6}P_7(t) - \lambda_{10,6}P_{10}(t) \\
 \frac{dP_7(t)}{dt} &= \lambda_{7,6}P_6(t) + \lambda_{7,10}P_{10}(t) \\
 \frac{dP_8(t)}{dt} &= \lambda_{8,4}P_4(t) \\
 \frac{dP_9(t)}{dt} &= \lambda_{9,5}P_5(t) - \lambda_{11,9}P_{11}(t) - \lambda_{13,9}P_{13}(t) \\
 \frac{dP_{10}(t)}{dt} &= \lambda_{10,6}P_6(t) - \lambda_{7,10}P_7(t) - \lambda_{12,10}P_{12}(t) \\
 \frac{dP_{11}(t)}{dt} &= \lambda_{11,9}P_9(t) \\
 \frac{dP_{12}(t)}{dt} &= \lambda_{12,10}P_{10}(t) \\
 \frac{dP_{13}(t)}{dt} &= \lambda_{13,5}P_5(t) + \lambda_{13,9}P_9(t)
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

Програмний модуль ASNA за допомогою чисельного методу Рунге-Кутта - Мерсона дозволяє знайти розв'язки системи лінійних диференціальних рівнянь і подати їх у вигляді розподілу імовірностей перебування у станах.

2.5. Формування показників ефективності алгоритму поведінки

Для розрахунку заданих показників ефективності необхідно експортувати дані моделювання з програмного модуля ASNA у електронні таблиці для формування показників ефективності АП та їх подальшого дослідження.

У випадках, коли розмірність графа станів та переходів є великою (сотні та тисячі станів), великим інтервалом часу, протягом якого проводяться дослідження та великою точністю розв'язання системи диференціальних рівнянь двовимірний масив кінцевих значень набуває великої розмірності. Кількість стовпців отриманої матриці є рівною кількості станів графа станів та переходів, а кількість рядків залежить від інтервалу на якому проводиться дослідження та точності методу розрахунку диференціальних рівнянь. Таким чином обробка результатів та розрахунок показників ефективності за допомогою електронних таблиць при збільшенні розмірності графа станів та переходів стає дуже трудомісткою.

Після експортування розподілу імовірностей перебування у станах у табличний процесор, потрібно визначити порядкові номери перебування АП у певному режимі роботи. Це необхідно для ідентифікації станів режиму роботи, для якого формується показник ефективності шляхом сумування імовірностей перебування у відповідних станах.

Вибір показника ефективності визначається конкретною задачею, виконання якої повинна забезпечити БРТС короткотривалого використання, призначенням системи та загальними вимогами до результату її функціонування. Показник ефективності повинен відображати здатність системи виконувати свої основні функції та мати зрозумілий фізичний зміст.

Для алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору доцільно визначити такі показники ефективності як імовірність та середнє значення тривалості успішного виконання.

З табл. 2.3 за ознакою компонента ВС $V1=111$ визначемо стани, що відповідають успішному виконанню АП.

Таблиця 2.3 – Ідентифікація станів алгоритму поведінки за компонентам вектора стану

№ стану	Вектор стану	№ стану	Вектор стану
1	$V1=1; V2=0$	8	$V1=111; V2=0$
2	$V1=2; V2=0$	9	$V1=3; V2=1$
3	$V1=000; V2=0$	10	$V1=3; V2=2$
4	$V1=3; V2=0$	11	$V1=111; V2=1$
5	$V1=2; V2=1$	12	$V1=111; V2=2$
6	$V1=2; V2=2$	13	$V1=000; V2=1$
7	$V1=000; V2=2$		

У табл. 2.4 представлено розподіл імовірностей перебування у станах для алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору. У колонці T відображено час виконання АП, у колонках 1 – 13 ймовірності перебування АП у відповідних станах у відповідний момент часу.

Колонки 8, 11 і 12 виділені, оскільки вони позначають стан успішного виконання АП. У колонці $P_{ув}$ отримано імовірність успішного виконання алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору за шляхом сумування імовірностей перебування у відповідних станах.

Таблиця 2.4 – Розподіл імовірностей перебування у станах для алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору

Час	Номери станів									P _{ув}
	1	2	3	.	8	.	11	12	13	
0,1	0,90484	0,09186	0,00100	.	0,00002	.	0,00000	0,00000	0,00000	0,00002
0,3	0,74082	0,23738	0,00301	.	0,00057	.	0,00000	0,00000	0,00000	0,00057
0,5	0,60653	0,34109	0,00506	.	0,00240	.	0,00001	0,00000	0,00000	0,00241
0,7	0,49659	0,41204	0,00715	.	0,00603	.	0,00003	0,00001	0,00000	0,00606
0,9	0,40657	0,45749	0,00928	.	0,01174	.	0,00006	0,00002	0,00000	0,01182
1,1	0,33287	0,48327	0,01147	.	0,01965	.	0,00013	0,00004	0,00000	0,01982
1,3	0,27253	0,49404	0,01370	.	0,02978	.	0,00023	0,00006	0,00000	0,03007
1,5	0,22313	0,49349	0,01596	.	0,04203	.	0,00038	0,00009	0,00000	0,04250
1,7	0,18268	0,48457	0,01826	.	0,05628	.	0,00057	0,00012	0,00000	0,05697
1,9	0,14957	0,46960	0,02057	.	0,07234	.	0,00082	0,00016	0,00001	0,07332
2,1	0,12246	0,45041	0,02289	.	0,09001	.	0,00112	0,00021	0,00001	0,09134
.
24,9	0,00000	0,00001	0,08504	.	0,86543	.	0,04232	0,00367	0,00002	0,91143
26,5	0,00000	0,00000	0,08507	.	0,86583	.	0,04237	0,00367	0,00001	0,91188
28,1	0,00000	0,00000	0,08508	.	0,86606	.	0,04241	0,00368	0,00001	0,91214
31,3	0,00000	0,00000	0,08509	.	0,86627	.	0,04244	0,00368	0,00000	0,91239
34,5	0,00000	0,00000	0,08510	.	0,86635	.	0,04245	0,00368	0,00000	0,91248
37,7	0,00000	0,00000	0,08510	.	0,86638	.	0,04245	0,00368	0,00000	0,91251
40,0	0,00000	0,00000	0,08510	.	0,86638	.	0,04245	0,00368	0,00000	0,91251

Дослідження показників ефективності АП 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 РЕК, автоматизованій генерації нових графів станів та переходів, систем лінійних диференційних рівнянь Колмогорова – Чепмена, знаходженням її розв’язків у програмному модулі ASNA та отримання 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.

Використавши методику [73], було визначено показники ефективності АП РЕК моніторингу повітряного простору: імовірність успішного виконання АП – $p_{УВ}$ та середнє значення тривалості виконання АП – $T_{УВ}$.

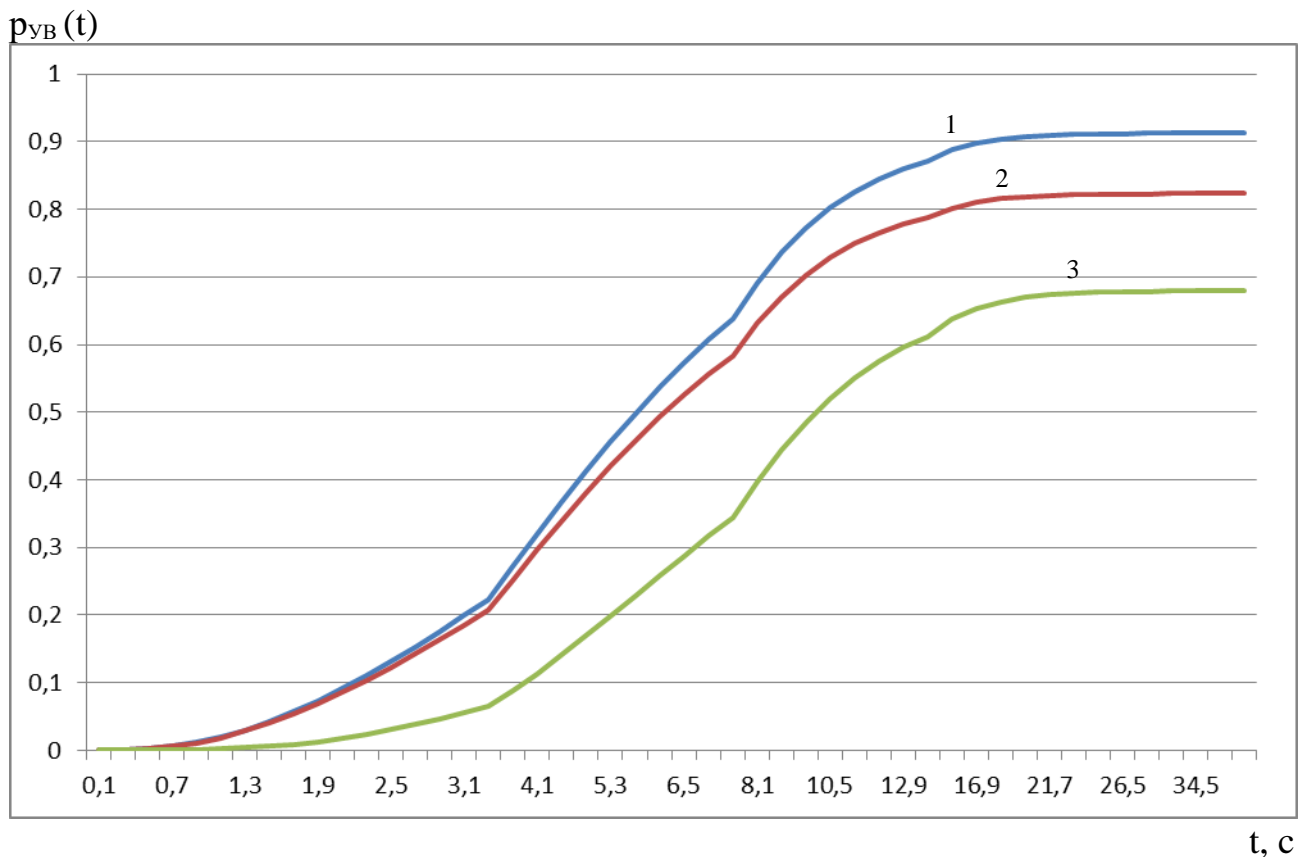


Рисунок 2.3 – Залежність імовірності успішного виконання алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору від часу виконання при різній інтенсивності відмов апаратних засобів:

крива 1 – $\lambda = 10^{-7} \frac{1}{год}$; крива 2 – $\lambda = 10^{-6} \frac{1}{год}$; крива 3 – $\lambda = 10^{-5} \frac{1}{год}$;

На рис. 2.4 і 2.5 зображено вклад імовірності успішного виконання алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору при допустимих значеннях кількості виконаних циклів у сумарну імовірність успішного виконання АП.

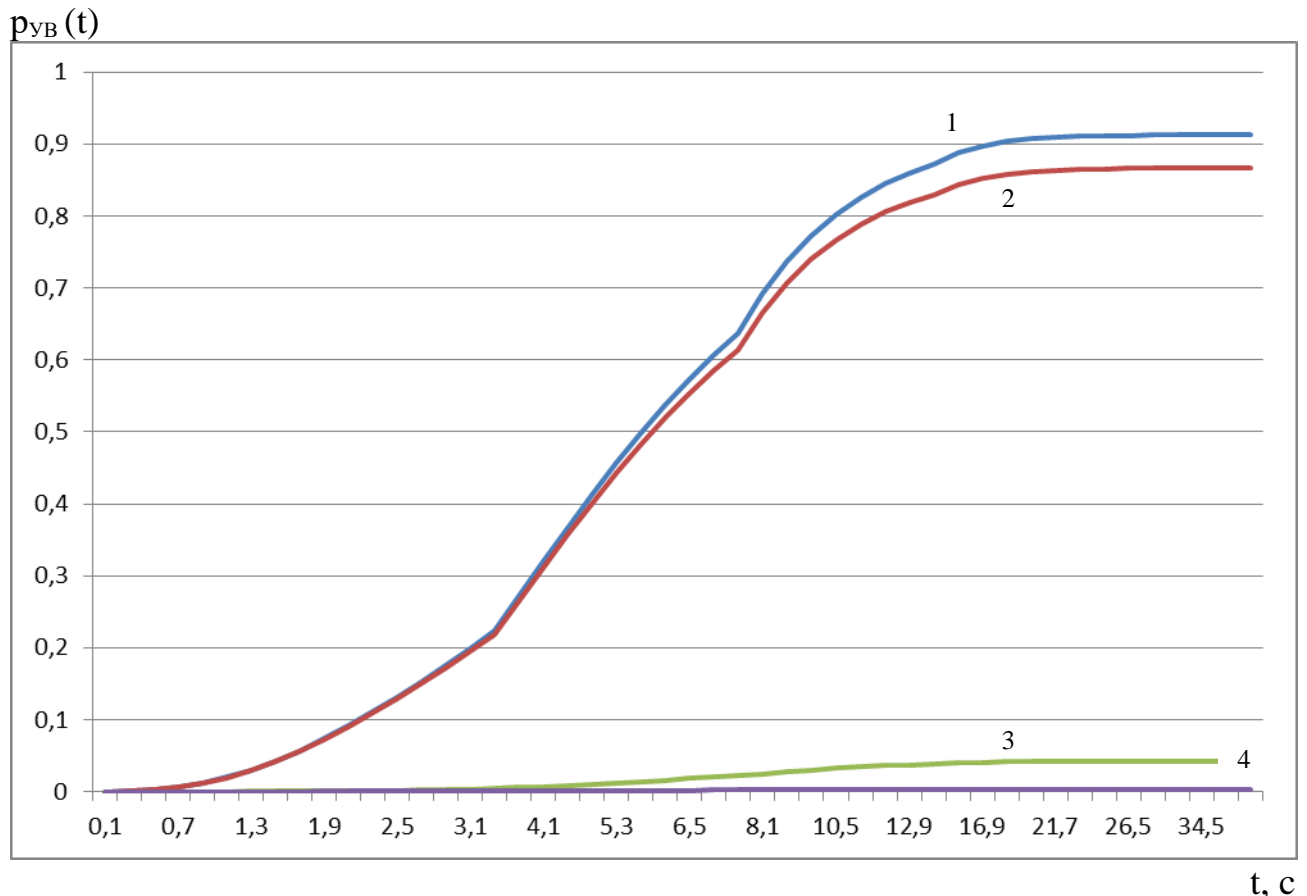


Рисунок 2.4 – Залежність імовірності успішного виконання алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору від часу виконання: крива 1 – сумарна імовірність успішного виконання АП; крива 2 – імовірність успішного виконання АП при $k=0$ виконаних циклів; крива 3 – імовірність успішного виконання АП при $k=1$ виконаних циклів; крива 4 – імовірність успішного виконання АП при $k=2$ виконаних циклів

Як видно з графіків (рис. 2.4 і 2.5), визначальне значення має виконання АП з першого проходу, оминаючи цикл повторення пошуку цілі. Виконання циклу один раз при проходженні алгоритму надає значний приріст до сумарної імовірності успішного виконання. Використання подвійного виконання циклу повторення пошуку цілі виглядає недоцільним, оскільки прирість імовірності успішного виконання є незначним, а час виконання зростає суттєво.

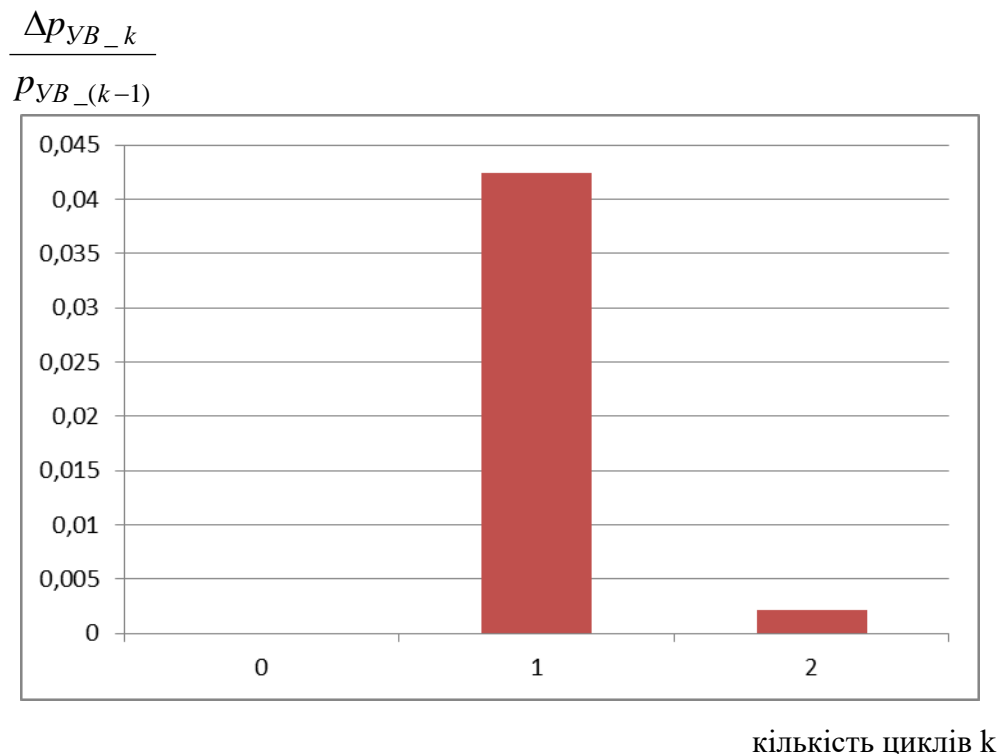


Рисунок 2.5 – Приріст ймовірності успішного алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору відносно значення ймовірності його попереднього успішного виконання в залежності від кількості циклів k у алгоритмі поведінки

Для визначення середнього значення успішного виконання алгоритму поведінки необхідно вирішити матричне рівняння:

$$|T| = -|P| \cdot |B|^{-1} \quad (2.4)$$

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 успішного виконання алгоритму поведінки дорівнюватиме елементам сумі всіх елементів матриці $|T|$ окрім станів завершення алгоритму (успішного і неуспішного).

Визначення середнього значення тривалості виконання АП можна здійснити безпосередньо програмному модулі ASNA. Для цього необхідно записати у полі умови відмови таке значення вектора стану, що відповідає успішному виконанні АП.

Для алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору ($V1$ – компонент ВС, яким позначено номер виконуваного операційного блоку, 111 – ознака компонента ВС успішного виконання) в поле умови відмови необхідно записати вираз $V1=111$. Таким чином програмний модуль ASNA-1 автоматизовано об'єднає всі розрізнені стани успішного виконання алгоритму, в яких $V1=111$, в один і виведе на екран розраховане середнє значення тривалості успішного виконання АП.

Розв'язавши систему лінійних диференційних рівнянь (2.3) адаптивним чисельним методом Рунге – Кутта, було отримано показники ефективності: $p_{VB} = 0.91251$; $T_{VB} = 5.9956 \text{ с}$.

Якщо цю ж систему лінійних диференційних рівнянь розв'язати аналітичним методом матричної експоненти, то отримаємо для заданих вхідних даних такі значення показників ефективності: $p_{VB} = 0.91251$; $T_{VB} = 5.9899 \text{ с}$.

2.6. Висновки до розділу 2

1. Було розроблено методику побудови моделей, оцінки та дослідження показників ефективності алгоритму поведінки, яка включає наступні етапи:

- побудова алгоритму поведінки;
- формалізований опис алгоритму поведінки, що передбачає побудову структурно-автоматної моделі і включає в себе формування:
 - компоненті вектора стану, який відображає суть кожного стану;
 - множини формальних параметрів, яка відображає технічні характеристики досліджуваної системи;
 - дерева правил модифікації компонент вектора стану, що відтворює поведінку об'єкта;
- побудова аналітичної моделі;
- формування показників ефективності АП БРТС короткотривалого використання;
- дослідження показників ефективності АП БРТС короткотривалого використання.

Розроблена методика дозволяє будувати моделі алгоритмів поведінки з високим ступенем адекватності.

2. За допомогою розробленої методики моделювання було побудовано математичну модель алгоритму поведінки, яка враховує структуру досліджуваної системи, її технічні характеристики, особливості функціональної поведінки, що дає змогу провести багатоваріантний аналіз показників ефективності АП БРТС короткотривалого використання.

3. Вперше розроблено модель алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору, в якій враховано:

- наявність циклів та кількості їх повторень для відтворення не лише надійнішої, а й функціональної поведінки;

- використання часової надлишковості БРТС короткотривалого використання, процедур підключення самоконтролю і діагностики апаратних засобів;

- наявність стохастичних і детермінованих переходів для перемикання між складовими частинами системи та реалізації виходу з циклу за певної умови.

4. Наведено приклади розв'язання задач оцінки і аналізу показників ефективності АП, які показали вплив кількості повторень циклу алгоритму на імовірність його успішного виконання.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ ПОВЕДІНКИ БОРТОВОЇ РАДІОТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ КОРОТКОТРИВАЛОГО ВИКОРИСТАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ «СХЕМИ ШЛЯХІВ»

3.1. Необхідність вибору другого методу аналізу ефективності алгоритмів поведінки

Для вирішення задач аналізу ефективності БРТС короткотривалого використання на системотехнічному етапі її проектування необхідно проводити чисельні дослідження та розрахунки для оцінки показників ефективності різних варіантів алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання.

Проведення таких досліджень можливе у тому випадку, коли проєктант має в своєму розпорядженні адекватну математичну модель АП БРТС короткотривалого використання. Достовірність результатів на етапі системотехнічного проектування забезпечується використанням двох принципово різних методів моделювання об'єкту проектування.

При виборі другого методу слід керуватися табл. 1.1. Доцільним є вибір такого методу, що дасть змогу врахувати якнайбільше особливостей моделювання алгоритмів поведінки.

Серед можливих варіантів вибору між мовою алгоритмічних алгебр та методом траєкторного моделювання було вирішено розробити новий метод на основі методу траєкторного моделювання. Визначальним фактором стала можливість автоматизації оцінки показників ефективності БРТС короткотривалого використання.

Завдяки формалізації процесу побудови математичної моделі АП БРТС короткотривалого використання, мінімальним затратам часу на побудову моделі, а також того факту, що технологія побудови моделі АП мінімізує імовірність внесення помилки проєктантом, застосування розробленого методу, що отримав назву «схема шляхів» відповідає вимогам необхідним для

проведення багатоваріантного аналізу ефективності АП БРТС короткотривалого використання.

3.2. Розробка методу схеми шляхів як представлення алгоритму поведінки

Графічне представлення АП, є першим кроком в запропонованому методі побудови його математичної моделі. Наступним кроком є формування схеми шляхів. Використаємо тестовий алгоритм пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору (рис. 2.1) для демонстрації застосування методу схеми шляхів для завдання багатоваріантного аналізу алгоритмів поведінки радіотелеметричних систем короткотривалого використання.

3.2.1. Формалізоване представлення алгоритму поведінки «схемою шляхів»

Блок-схема АП є зручним, але з точки зору моделювання доволі громіздким представленням поведінки складних систем, особливо таких, що можуть налічувати десятки операційних і перевіряючих блоків. Тому необхідно розробити компактне формалізоване представлення АП у явній формі, що буде відображати всі шляхи досягнення цільової функції системи без втрати інформативності.

Для компактного відтворення алгоритму поведінки замість блок-схеми було розроблено нове математичне представлення АП – схему шляхів.

Схема шляхів є формалізованим представлення поведінки радіотелеметричної системи в компактній формі, що відображає сукупність всіх шляхів, які ведуть до успішного виконання або невиконання 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 $L_{i, m}$.

Побудова схеми шляхів здійснюється за такими правилами:

1. Функціональний блок $ФБ_i$ на схемі шляхів характеризується середнім значенням тривалості виконання функції T_i і відповідає операційному блоку $ОБ_i$ на блок-схемі АП;

2. Якщо фрагмент алгоритму виконується повторно, то на схемі шляхів він відображається функціональним блоком ПФБ_i з повторним виконанням його функції – функціональним блоком з повторенням, в якому враховується кількість повторних виконань $kПФБ_i$ та імовірність повторного виконання $pПФБ_i$;

3. Параметром переходу $L_{i, m}$, який зв'язує на схемі шляхів функціональні блоки $ФБ_i$ та $ФБ_m$, є добуток значень $pL_{i, m}$ всіх імовірностей відображених в стохастичних блоках альтернативного переходу та детермінованих блоках умовного переходу АП, що лежать на шляху між операційними блоками $ОБ_i$ та $ОБ_m$;

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

Таким чином для одного і того ж АП схема шляхів налічує стільки ж функціональних блоків ФБ, скільки на блок-схемі АП є операційних блоків ОБ, зовсім не має перевіряючих блоків ОБ, а фрагмент алгоритму, що містить цикл на схемі шляхів може бути представлений одним функціональним блоком з повторенням ПФБ.

Всі функціональні блоки, з яких формується схема шляхів алгоритму поведнки, зображено в табл. 3.1.

Приклад переходу від блок-схеми алгоритму поведнки до його схеми шляхів представлено на рис. 3.1.

Таблиця 3.1 – Функціональні блоки, з яких формується схема шляхів алгоритму поведінки

ФБ _i Т _i	Функціональний блок ФБ _i : Т _i – середнє значення тривалості виконання
ПФБ _i Т _i рФБ _i кФБ _i	Функціональний блок з повторенням ПФБ _i : Т _i – середнє значення тривалості виконання, рФБ _i – імовірність повторного виконання, функціонального блоку ПФБ _i кФБ _i – кількість повторних виконань
Захоплення цілі	Блок завершення

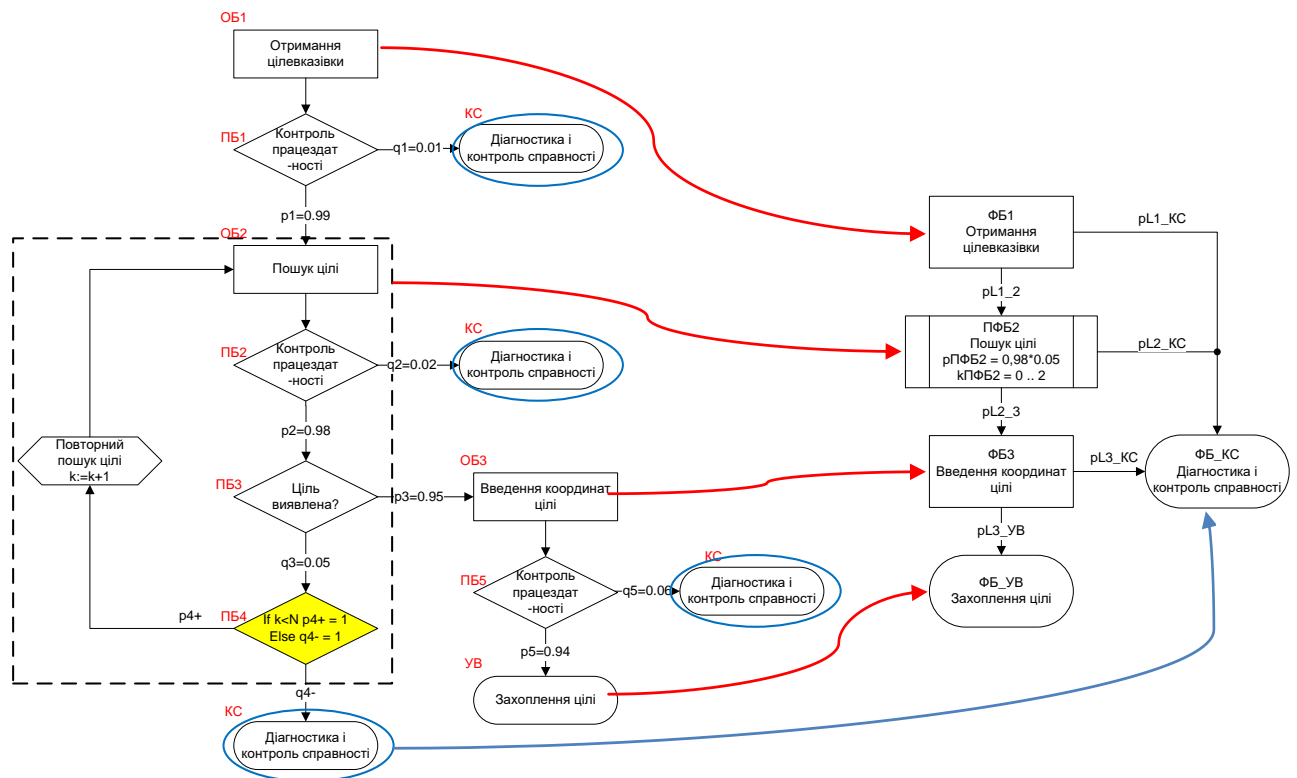


Рисунок 3.1 –Формування схеми шляхів з блок схеми алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі для РЕК моніторингу повітряного простору

Керуючись вищезазначеними правилами потрібно побудувати схему шляхів для алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору. Вона складається з 5 функціональних блоків (один з них – функціональний блок з повторенням) і зображена на рис 3.2.

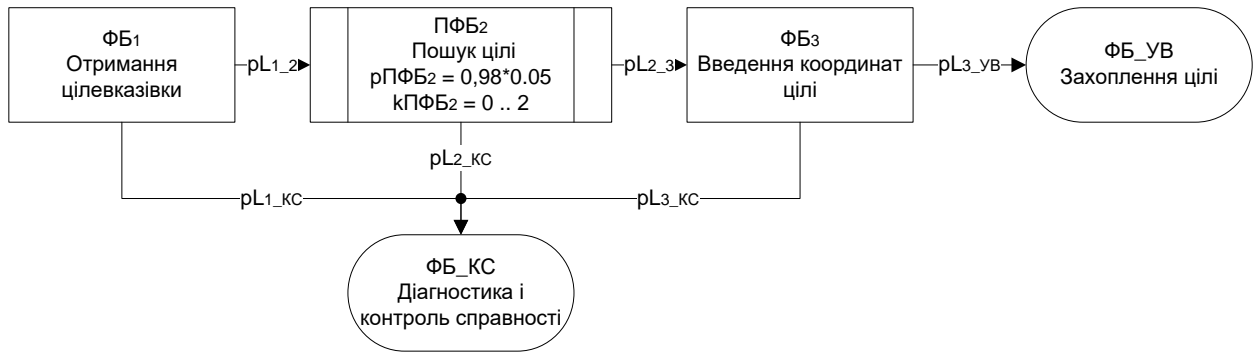


Рисунок 3.2 – Схема шляхів для алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору

Отже, як видно з рис. 3.1 і 3.2, схема шляхів АП повністю відображає всі можливі шляхи досягнення алгоритмом цільової функції у явній, але у значно компактнішій формі, ніж блок-схема АП. Це є передумовою для створення математичної моделі АП, отриманої методом схеми шляхів.

3.2.2. Математична модель алгоритму поведінки, отримана методом «схеми шляхів»

Згідно з [57, 58] імовірність існування шляху визначається добутком імовірностей альтернативних переходів p_{mn} , що лежить на даному шляху:

$$p(L) = \prod_{(m,n) \in L} p_{mn} \quad (3.1).$$

Тривалість проходження шляху визначається формулою:

$$T(L) = \sum_{m \in L} T_{Bm} \quad (3.2),$$

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

Взявши за основу формули (3.1 і 3.2) і розроблену схему шляхів з'являється можливість описати модель АП у формі запису виразу проходження найдовшого шляху від початку до успішного виконання з врахуванням кількості виконання циклів АП:

$$p(S_{\max}) = \prod_{i=1}^I (p(L_i))^{N_i} \quad (3.3),$$

$$T(S_{\max}) = \sum_{m=1}^M (N_m \cdot T_{Bm}) \quad (3.4),$$

де $p(S_{\max})$ – імовірність існування найдовшого шляху успішного виконання;

$T(S_{\max})$ – тривалість проходження найдовшого шляху успішного виконання;

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 успішного виконання. При натуральних значеннях показника цикл повторюватиметься відповідну кількість разів, що відобразиться на значеннях показників ефективності АП.

Перевагою методу шляхів є особливість того, що зміна послідовності проходження всіх гілок алгоритму від початку до успішного виконання не впливає на результати дослідження показників ефективності АП.

В загальному вигляді математична модель АП представляється у формі виразу для проходження шляху від початку до успішного виконання з врахуванням кількості виконуваних циклів АП.

Імовірність $p(S_{VB})$ та середнє значення тривалості $T_{сер}(S_{VB})$ успішного виконання алгоритму визначаються за формулами:

$$p(S) = \sum_{j=1}^J (p(S_j)), \quad (3.5)$$

$$T_{сер}(S) = \frac{1}{p(S)} \sum_{j=1}^J (p(S_j) \cdot T(S_j)). \quad (3.6)$$

Середнє значення тривалості успішного виконання алгоритму $T_{сер}(S)$ визначається як середньозважене значення середніх значень тривалостей $T_j(S)$ всіх J шляхів успішного виконання алгоритму з врахуванням імовірності проходження j -го шляху $p_j(S)$ успішного виконання алгоритму як вагового коефіцієнта, і нормується за імовірністю успішного виконання алгоритму $p(S)$.

Варто відзначити, що автоматизація розрахунку формул (3.5, 3.6) дозволяє автоматизувати визначення всіх можливих шляхів успішного виконання АП.

В цілому формалізований метод шляхів легко піддається автоматизації, що дає змогу розробити засоби багатоваріантного аналізу показників ефективності АП.

3.3. Методика побудови моделі алгоритму поведінки та дослідження його показників ефективності з використанням «схеми шляхів»

Методика побудови моделей поведінки ІКС та дослідження їх показників ефективності складається з трьох етапів. На першому етапі необхідно перейти від блок схеми АП до його схеми шляхів згідно правил і рекомендацій, описаних в підрозділі 2.1.

3.3.1. Вхідні дані для побудови моделі алгоритму поведінки з використанням «схеми шляхів»

Для блок схеми тестового алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору (рис. 2.1) слід задати вхідні дані, що містять технічні характеристики складових системи та описують характер їхньої взаємодії.

Відповідно до блок-схеми тестового алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі (рис. 2.1), потрібно зберегти параметри операційних та перевіряючих блоків, описаних в підрозділі 2.1.

Для схеми шляхів алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі (рис. 3.1) параметри функціональних блоків аналогічні відповідним операційним блокам з блок схеми алгоритму (рис. 2.1) з врахування кількості повторень циклу k :

$T_1 = 1$ с – середнє значення тривалості виконання ФБ₁ “Отримання цілевказівки”;

$T_2 = 2$ с – середнє значення тривалості виконання ПФБ₂ “Пошук цілі”;

$$p_{\text{ПФБ}_2} = p_2 \cdot q_3 \cdot p_4^+ = 0.98 \cdot 0.05 \cdot 1 = 0.049 ;$$

$k_{\text{ФБ}_2} = 0..2$ – діапазон зміни кількості повторень циклу пошуку цілей;

$T_3 = 3$ с – середнє значення тривалості виконання ФБ₃ “Введення координат цілі”;

Після цього необхідно визначити імовірності існування переходів:

$$pL_{1_2} = p_1 = 0.99;$$

$$pL_{1_{KC}} = q_1 = 0.01;$$

$$pL_{2_3} = p_2 \cdot p_3 = 0.98 \cdot 0.95 = 0.931;$$

$$pL_{2_{KC}} = p_2 \cdot q_3 \cdot p_4^+ = 0.98 \cdot 0.05 \cdot 1 = 0.049;$$

$$pL_{3_{VB}} = p_5 = 0.94;$$

$$pL_{3_{KC}} = q_5 = 0.06.$$

Блок успішного виконання “Захоплення цілі” на схемі виконання відповідає аналогічному блоку завершення з блок-схеми АП, а чотири блоки неуспішного виконання “Діагностика і контроль справності” з блок-схеми АП об’єднуються на схемі шляхів в один блок завершення з відповідною назвою.

3.3.2. Математична модель алгоритму поведінки

Для визначення імовірності та середнього значення тривалості успішного виконання алгоритму представимо математичну модель алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілей у формі запису виразу проходження найдовшого шляху від початку до кінця з врахуванням кількості циклів виконання АП.

Імовірність успішного виконання алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі визначається за формулою:

$$p(S_{VB}) = pL_{1_2} \cdot (pПФБ_2)^{kПФБ_2} \cdot pL_{2_3} \cdot pL_{3_{VB}} \quad (3.7)$$

Оскільки на блок-схемі АП перевіряючий блок розміщується після операційного блоку, тобто умова циклу завжди перевіряється після виконання функції, то звідси випливає, що тіло циклу завжди виконується хоча б один раз.

Тому середнє значення тривалості успішного виконання алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі визначається за формулою:

$$T_k(S_{yB}) = T_1 + T_2 \cdot (1 + k\text{ПФБ}_2) + T_3. \quad (3.8)$$

3.3.3. Автоматизація визначення імовірності та середнього значення тривалості успішного виконання алгоритму поведінки

За формулами (3.5) і (3.6) потрібно визначити показники ефективності АП. Для цього було розроблено такі етапи автоматизованого визначення імовірності та середнього значення тривалості успішного виконання алгоритму поведінки:

Етап 1. Внести вхідні дані, ідентифікувати переходи на схемі шляхів.

Записати формули для визначення імовірності та середнього значення тривалості виконання алгоритму поведінки $p(S_{yB})$ та $T(S_{yB})$.

Задати діапазон зміни кількості повторень циклу $k=[0, K]$.

Задати початкові значення: $p(S_{yB})=0$, $T(S_{yB})=0$.

Етап 2. Поки $k < K$, інкрементувати k .

Розрахувати поточне значення $p(S_{yB})$.

Розрахувати поточне значення $T(S_{yB})$.

Перемножити поточні значення $p(S_{yB})$ та $T(S_{yB})$.

Додати розраховане $p(S_{yB})$ до попереднього значення $p(S_{yB})$.

Додати розраховане $T(S_{yB})$ до попереднього значення $T(S_{yB})$.

Етап 3. Коли $k=K$, розрахувати значення $T_{\text{ср}}(S_{yB})$ та $p(S_{yB})$ за формулами (3.5) та (3.6) відповідно.

Вивести кінцеві значення імовірності успішного виконання алгоритму поведінки та його середнє значення тривалості.

Для тестового пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору, використовуючи розроблений вербальний алгоритм автоматизації, було визначено вищевказані показники ефективності АП було здійснено таким чином:

1. Згідно розробленого алгоритму автоматизованого визначення показників ефективності алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору необхідно внести в модель вхідні дані:

Таблиця 3.2 – Вхідні дані моделі алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору

Параметри ОБ		Параметри ПБ	
$T_1 = 1$ с		$p_1 = 0.99$	$q_1 = 1 - p_1$
$T_2 = 2$ с	$K = 2$	$p_2 = 0.98$	$q_2 = 1 - p_2$
$T_3 = 3$ с		$p_3 = 0.95$	$q_3 = 1 - p_3$
		$p_4^+ = 1$	$q_4^- = 1$
		$p_5 = 0.94$	$q_5 = 1 - p_5$

2. Відповідно до внесених вхідних даних та блок схеми АП слід ідентифікувати переходи на схемі шляхів:

$$pL_{1_2} = p_1 = 0.99;$$

$$pL_{2_3} = p_2 \cdot p_3 = 0.98 \cdot 0.95 = 0.931;$$

$$pПФБ_2 = p_2 \cdot q_3 \cdot p_4^+ = 0.98 \cdot 0.05 \cdot 1 = 0.049;$$

$$pL_{3_{УВ}} = p_5 = 0.94;$$

$$pL_{1_{КС}} = q_1 = 0.01;$$

$$pL_{2_{КС}} = p_2 \cdot q_3 \cdot q_4^- = 0.98 \cdot 0.05 \cdot 1 = 0.049;$$

$$pL_{3_{КС}} = q_5 = 0.06.$$

3. Маючи всю необхідну інформацію, потрібно записати формули для визначення імовірності та середнього значення тривалості успішного виконання АП:

$$p(S_{yB}) = pL_{1_2} \cdot (p\text{ПФБ}_2)^{k\text{ПФБ}_2} \cdot pL_{2_3} \cdot pL_{3_{yB}}$$

$$T_k(S_{yB}) = T_1 + T_2 \cdot (1 + k\text{ПФБ}_2) + T_3$$

4. Після цього слід автоматизувати розрахунок показників ефективності алгоритму поведінки:

$$pS_{yB} := \begin{cases} p \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in k \\ p \leftarrow p + p_{yB}(i) \end{cases}$$

$$T_{yB} := \begin{cases} t \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in k \\ t \leftarrow t + p_{yB}(i) T_{yB}(i) \end{cases}$$

Також є можливість вивести результати оцінки імовірності та середнього значення тривалості успішного виконання алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору відповідно до поточної кількості виконаних повторень циклу АП:

$p_{yB}(k) =$

0.86639
0.04245
$2.0802 \cdot 10^{-3}$

$T_{yB}(k) :$

6	с
8	с
10	с

У результаті автоматизованого визначення показників ефективності алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору було отримано такі значення імовірності та середнього значення тривалості успішного виконання АП:

$$pS_YB = 0.91092$$

$$TS_YB := \frac{T_YB}{pS_YB} = 6.10234 \quad \text{с.}$$

Метод схеми шляхів для автоматизованого визначення імовірності та середнього значення тривалості успішного виконання алгоритму поведінки був реалізований у вигляді прототипу програмного засобу, написаного на мові програмування Python за наступним алгоритмом:

Крок 1. Записуємо в текстовому редакторі у файл формату .txt вхідні дані: ідентифікатори функціональних блоків T і середнє значення тривалості їх виконання, ідентифікатори переходів p та їхні імовірності, ідентифікатори циклів N та їхня допустима кількість у такій формі:

T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	
0.5	1	1.5	2	3	
p_{0_1}	p_{1_2}	p_{2_3}	p_{3_4}	p_{3_1}	p_{4_5}
0.98	0.62	0.55	0.75	0.25	0.83
N_{3_1}					
2					

Крок 2. Зчитуємо текстовий файл, сортуємо вхідні дані та формуємо одновимірні списки для вхідних даних T , p і N , а також списки розгалужень та повторних звернень для подальшої роботи.

Крок 3. Створюємо двовимірні списки для запису шляхів виконання алгоритму поведінки, їх імовірностей та середнього значення тривалості виконання.

Крок 4. Проходимо по списку ідентифікаторів імовірностей переходів у пошуках шляху виконання алгоритму і перевіряємо їх на знаходження послідовностей виконання, місць розгалужень та циклів повторних звернень. Якщо знайдено послідовність виконання алгоритму, то переходимо до кроку 5. Якщо знайдено розгалуження, то переходимо до кроку 6. Якщо знайдено цикл повторного звернення, то переходимо до кроку 8. Якщо ж не знайдено ні

послідовності, ні розгалуження, ні циклів повторних звернень та досягнуто кінця списку вхідних даних списку ідентифікаторів імовірностей переходів, то переходимо до кроку 8.

Крок 5. Записуємо у список шляхів виконання алгоритму поточний ідентифікатор імовірності переходу, у список імовірностей шляхів – значення цього ідентифікатора, у список середніх тривалостей виконання шляхів алгоритму – відповідні ідентифікатори та їх значення.

Крок 6. Записуємо у список розгалужень порядковий номер ідентифікатора імовірностей переходів. Список розгалужень реалізований як стек і після зчитування його крайнього значення, це значення вилучається зі зазначеного списку.

Крок 7. Записуємо у список циклів повторних звернень порядковий номер ідентифікатора імовірностей переходів.

Крок 8. Якщо список розгалужень порожній, то потрібно перейти на крок 9. В протилежному випадку доповнюємо списки шляхів виконання алгоритму, імовірностей шляхів, середніх тривалостей виконання шляхів новими порожніми вкладеними списками та зчитуємо крайнє значення списку розгалужень. Копіюємо зріз попереднього вкладеного списку шляхів виконання алгоритму до ідентифікатора імовірності переходу, номер якого було зчитано зі списку розгалужень, та переходимо до виконання кроку 4.

Крок 9. Формуємо шляхи повторних звернень, зчитуючи по черзі значення списку повторних звернень та здійснивши крок 4. При знаходженні відповідного шляху доповняємо список шляхів повторних звернень новим вкладеним списком, записуючи в нього цей шлях, його імовірність та середнього значення тривалості виконання. Переходимо до кроку 10.

Крок 10. Якщо список повторних звернень зчитано до кінця, то переходимо до кроку 11. В протилежному випадку повторяємо крок 9.

Крок 11. Зчитуємо список шляхів повторних звернень, перевіряючи їх зі списком шляхів виконання алгоритму на можливість вкладення циклу в поточний шлях виконання. Якщо така можливість існує, то у поточний шлях

вкладається шлях повторного звернення і новостворений шлях виконання алгоритму, його імовірність та середнє значення тривалості виконання додається до відповідного списку. Переходимо до кроку 12

Крок 12. Якщо досягнуто кінця списку шляхів виконання алгоритму, то переходимо до кроку 13. В протилежному випадку повторяємо крок 11.

Крок 13. Зчитуються списки імовірності шляхів та середнього значення тривалості їх виконання і за формулами (3.3) та (3.4) здійснюється розрахунок імовірності кожного шляху та середнього значення тривалості його виконання. Результати записуються у відповідні списки.

Крок 14. Зчитуються списки імовірності кожного шляху та середнього значення тривалості його виконання і за формулами (3.5) та (3.6) здійснюється розрахунок показників ефективності алгоритму поведінки – імовірності успішного виконання АП та середнього значення тривалості його виконання.

Крок 15. Розраховані показники ефективності АП та інші результати роботи прототипу програмного засобу, а саме списки шляхів виконання алгоритму та шляхів повторних звернень, їх імовірності та середні значення тривалості, виводяться у текстовий файл. Таким чином користувач отримує всю інформацію щодо функціонування АП.

3.3.4. Верифікація методу шляхів для побудови моделі алгоритму поведінки

Верифікація методу шляхів для побудови моделі РЕК моніторингу повітряного простору методом шляхів проводилася розрахунком всіх можливих шляхів успішного виконання вручну і порівнянням результатів із автоматизованим методом схеми шляхів.

Використовуючи вхідні дані з табл. 2.3 і враховуючи, що кількість можливих повторень циклу АП рівна 2, визначимо всі можливі шляхи виконання алгоритму:

$$\text{при } k = 0 \quad p_1 S_{yB} = p_1 \cdot 1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_5 = 0.8664 ;$$

$$\text{при } k = 1 \quad p_2 S_{yB} = p_1 \cdot p_2 \cdot q_3 \cdot p_4^+ \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_5 = 0.0425 ;$$

$$\text{при } k = 2 \quad p_3 S_{yB} = p_1 \cdot p_2 \cdot q_3 \cdot p_4^+ \cdot p_2 \cdot q_3 \cdot p_4^- \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_5 = 0.0021 ;$$

$$\text{при } k = 0 \quad T_1(S_{yB}) = T_1 + T_2 + T_3 = 6 \text{ с};$$

$$\text{при } k = 1 \quad T_2(S_{yB}) = T_1 + T_2 + T_2 + T_3 = 8 \text{ с};$$

$$\text{при } k = 2 \quad T_2(S_{yB}) = T_1 + T_2 + T_2 + T_2 + T_3 = 10 \text{ с}.$$

Розрахуємо імовірність та середнє значення тривалості успішного виконання алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору за формулами (3.7) і (3.8).

$$p S_{yB} = p_1 S_{yB} + p_2 S_{yB} + p_3 S_{yB} = 0.911 ;$$

$$T_{сер}(S_{yB}) = \frac{p_1 S_{yB} \cdot T_1(S_{yB}) + p_2 S_{yB} \cdot T_2(S_{yB}) + p_3 S_{yB} \cdot T_3(S_{yB})}{p S_{yB}} = 6.1025 \text{ с}.$$

Отже, результати моделювання співпали, що говорить про можливість використання формалізованого і автоматизованого методу шляхів для побудови моделей алгоритмів поведінки.

3.4. Порівняння методів оцінки показників ефективності алгоритмів поведінки

Метою порівняння методів оцінки показників ефективності алгоритмів поведінки є перевірка достовірності результатів моделювання, отриманих розробленим методом схеми шляхів та вдосконаленим методом побудови структурно-автоматних моделей алгоритмів поведінки відносно точного аналітичного методу мови алгоритмічних алгебр.

Для порівняння із вже розробленими моделями (розділи 2 та 3) було побудовано модель тестового алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору методом мови алгоритмічних алгебр у відповідності до рекомендацій, приведених в монографії [130].

Вхідними даними моделі АП є:

$t_{A_1} = 1 \text{ c}$ – час виконання оператора A_1 “Отримання цілевказівки”;

$P(A_1) = 0.99$ – ймовірність правильного виконання оператора A_1 “Отримання цілевказівки” за час t_{A_1} ;

$t_{A_2} = 2 \text{ c}$ – час виконання оператора A_2 “Пошук цілі”;

$P(A_2) = 0.98$ – ймовірність правильного виконання оператора A_2 “Пошук цілі” за час t_{A_2} ;

$t_{A_3} = 3 \text{ c}$ – час виконання оператора A_3 “Введення координат цілі”;

$P(A_3) = 0.94$ – ймовірність правильного виконання оператора A_3 “Введення координат цілі” за час t_{A_3} ;

Модель з використанням ітеративної регулярної форми алгоритму має вигляд:

$$S = A_1 \cdot_{\alpha} \{A_2\} \cdot A_3 = A_1 \cdot D \cdot A_3,$$

де $D =_{\alpha} \{A_2\}$ – ітеративна регулярна форма фрагменту алгоритму пошуку цілі;

α – логічна умови “Ціль виявлена”;

$p_{\alpha} = 0.95$ – ймовірність виконання логічної умови α “Ціль виявлена”.

$$P(D) = \frac{p_{\alpha}}{1 - (1 - p_{\alpha}) \cdot P(A_2)} = \frac{0.95}{1 - 0.05 \cdot 0.98} = 0.9989.$$

$$p_{VB} = P(S) = P(A_1) \cdot P(D) \cdot P(A_3) = 0.99 \cdot 0.9989 \cdot 0.94 = 0.92957.$$

$$t_D = \frac{1 - p_{\alpha}}{p_{\alpha}} \cdot t_{A_2} = \frac{0.05}{0.95} \cdot 2 = 0.0526 \cdot 2 = 0.1052 \text{ c}.$$

$$T_{VB} = t_S = t_{A_1} + (t_{A_2} + t_D) + t_{A_3} = 1 + (2 + 0.1052) + 3 = 6.1052 \text{ c}.$$

Отже, ймовірність успішного виконання і середнє значення тривалості алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору відповідно дорівнюють:

$$p_{yB} = 0.92957;$$

$$T_{yB} = 6.1052 \text{ с.}$$

При використанні ітеративної регулярної форми алгоритму кількість повторень циклів вважається необмеженою, тому ймовірність правильного виконання алгоритму є дещо завищеною, зате його тривалість нормується за ймовірністю правильного виконання.

Модель з використанням диз'юнктивної регулярної форми алгоритму має вигляд:

$$S = A_1 \cdot \alpha_0 (A_2 \vee_{\alpha_1} (A_2 \vee A_2)) \cdot A_3 = A_1 \cdot C \cdot A_3,$$

де $C =_{\alpha_0} (A_2 \vee_{\alpha_1} (A_2 \vee A_2))$ – диз'юнктивна регулярна форма фрагменту алгоритму пошуку цілі;

α_0 – логічна умова “Ціль виявлена з першого разу”, тобто цикл пошуку цілі повторно не виконувався;

α_1 – логічна умова “Ціль виявлена з другого разу”, тобто цикл пошуку цілі виконався повторно один раз;

$p_{\alpha_0} = 0.95$ – ймовірність виконання логічної умови α_0 “Ціль виявлена з першого разу”;

$p_{\alpha_1} = 0.0475$ – ймовірність виконання логічної умови α_1 “Ціль виявлена з другого разу”.

$$\begin{aligned} P(C) &= p_{\alpha_0} \cdot P(A_2) + (1 - p_{\alpha_0}) \cdot p_{\alpha_1} \cdot P(A_2) + (1 - p_{\alpha_0}) \cdot (1 - p_{\alpha_1}) \cdot \\ &\cdot P(A_2) = 0.95 \cdot 0.98 + 0.05 \cdot 0.0475 \cdot 0.98 + 0.05 \cdot 0.9525 \cdot 0.98 = \\ &= 0.931 + 0.0023 + 0.0467 = 0.98. \end{aligned}$$

$$p_{yB} = P(S) = P(A_1) \cdot P(C) \cdot P(A_3) = 0.99 \cdot 0.98 \cdot 0.94 = 0.91199.$$

$$\begin{aligned} t_C &= p_{\alpha 0} \cdot T_2 + p_{\alpha 1} \cdot (1 - p_{\alpha 0}) \cdot T_2 + (1 - p_{\alpha 0}) \cdot (1 - p_{\alpha 1}) \cdot T_2 = \\ &= 0.95 \cdot 2 + 0.0475 \cdot 0.05 \cdot 2 + 0.05 \cdot 0.9525 \cdot 2 = \\ &= 1.9 + 0.00475 + 0.09525 = 2 \text{ с.} \end{aligned}$$

$$T_{yB} = t_S = t_{A_1} + t_C + t_{A_2} = 1 + 2 + 3 = 6 \text{ с.}$$

Отже, ймовірність успішного виконання алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК моніторингу повітряного простору і середнє значення його тривалості відповідно дорівнюють:

$$p_{yB} = 0.91199;$$

$$T_{yB} = 6 \text{ с.}$$

Таблиця 3.3 – Показники ефективності тестового алгоритму поведінки РЕК моніторингу повітряного простору

Методи оцінки показників ефективності АП		Ймовірність успішного виконання АП p_{yB}	Середнє значення тривалості успішного виконання АП T_{yB} , с	Врахування неуспішних спроб виконання АП при визначенні T_{yB}
Метод простору станів	чисельний метод Рунге – Кутта	0.91251	5.9956	ні
	аналітичний метод матричної експоненти	0.91251	5.9899	ні
Метод алгоритмічних алгебр	ітеративний регулярний алгоритм	0.92957	6.1052	так
	диз'юнктивний регулярний алгоритм	0.91199	6	ні
Метод схеми шляхів	—	0.91092	6.1023	так

При використанні диз'юнктивної регулярної форми алгоритму кількість повторень циклів є строго визначеною, імовірність правильного виконання алгоритму не завищується, однак його тривалість є заниженою, оскільки не враховуються неуспішні спроби виконання АП.

Як видно з табл. 3.3, модель АП, побудована за методом схеми шляхів, і модель АП, розроблена модифікованим методом побудови структурно-автоматних моделей алгоритмів поведінки систем дає співрозмірні значення показників ефективності АП в порівнянні з точною аналітичною моделлю, створеною з використанням мови алгоритмічних алгебр.

Для порівняння затрат часу на розробку моделей алгоритмів поведінки різними методами (модифікованим методом моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем за допомогою структурно-автоматної моделі, методом схеми шляхів та аналітичним методом алгоритмічних алгебр) було запропоновано визначити тривалість побудови моделі АП та проведення його багатоваріантного аналізу. Для цього було проаналізовано п'ять варіантів тестового алгоритму поведінки РЕК моніторингу повітряного простору. Ці варіанти відрізнялися між собою різними реалізаціями розгалужень та циклів повторних виконань операційних блоків, застосуванням вкладених циклів.

Таблиця 3.4 – Показники ефективності тестового алгоритму поведінки РЕК моніторингу повітряного простору

Методи оцінки показників ефективності АП	Час побудови одного варіанту АП, год	Час побудови п'ятих варіантів АП, год
Модифікований метод простору станів	5	11
Метод схеми шляхів	4	8
Метод алгоритмічних алгебр	6	25

Згідно результатів, приведених у табл. 3.4, моделювання алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання доцільно виконувати модифікованим методом простору станів та методом схеми шляхів на етапі системотехнічного проектування.

3.5. Висновки до розділу 3

1. Вперше запропоновано математичний опис – схему шляхів алгоритму поведінки радіотелеметричної системи короткотривалого використання, яка на відміну від існуючих в компактній формі відображає технічні характеристики радіотелеметричної системи короткотривалого використання і враховує всі можливі шляхи проходження гілок алгоритму поведінки від початку до успішного виконання.

2. Вперше отримано нову модель радіотелеметричної системи короткотривалого використання, яка характеризується тим, що зміна послідовності проходження гілок алгоритму поведінки від початку до успішного виконання не впливає на показники ефективності; не потребує представлення алгоритму поведінки канонічними регулярними формами і логічними функціями; враховує успішні та неуспішні спроби виконання алгоритму поведінки при визначенні середньої тривалості його виконання, що підвищує достовірність результатів моделювання.

3. Запропоновано методику побудови моделі алгоритму поведінки радіотелеметричної системи короткотривалого використання схемою шляхів, що дало змогу автоматизувати процес отримання моделі алгоритму поведінки та унеможливило внесення помилки проектантом при записі всіх шляхів проходження гілок алгоритму від початку до успішного виконання.

4. Проведено порівняння методів оцінки показників ефективності алгоритмів поведінки, яке підтвердило достовірність результатів моделювання, отриманих розробленим методом схеми шляхів та вдосконаленим методом

побудови структурно-автоматних моделей алгоритмів поведінки відносно точного аналітичного методу мови алгоритмічних алгебр.

5. Запропоновано виконувати моделювання алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання модифікованим методом простору станів та методом схеми шляхів. Модифікований метод простору станів 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.

6. Розроблено прототип програмного засобу багатоваріантного аналізу показників ефективності алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання, що дозволяє провести багатоваріантний аналіз алгоритмів поведінки методом схеми шляхів з мінімальними затратами часу.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ ПОВЕДІНКИ РАДІОТЕЛЕМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ КОРОТКОТРИВАЛОГО ВИКОРИСТАННЯ

4.1. Розробка моделей для оцінки показників ефективності алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання безпілотного літального апарату

В склад безпілотних літальних апаратів як обов'язковий елемент входить бортова радіотелеметрична система. Ця система призначена для вимірювання, передавання та збереження інформації, яку отримав безпілотний літальний апарат при виконанні поставленої задачі.

При проектування БРТС короткотривалого використання на системотехнічному етапі необхідно розробити варіанти алгоритмів поведінки та вибрати з них кращий. Для цього потрібно використати засоби, моделі, методики, що були представлені в розділах 2 і 3.

4.1.1. Опис радіотелеметричної системи короткотривалого використання

Структурна схема БРТС короткотривалого використання представлена на рис. 4.1.

В склад БРТС короткотривалого використання входять:

- набір давачів $D_1, D_2 \dots D_n$, які вимірюють фізичні параметри $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$ (температуру, прискорення, кутову швидкість тощо) та формують первинні електричні сигнали $a_1, a_2 \dots a_n$;
- присторої узгодження ПУ₁, ПУ₂...ПУ_n – нормують (перетворюють сигнали $a_1, a_2 \dots a_n$ в напругу або струм із заданими наперед межами допустимих змін) і/або здійснюють аналогово-цифрове перетворення попередньо отриманих сигналів;

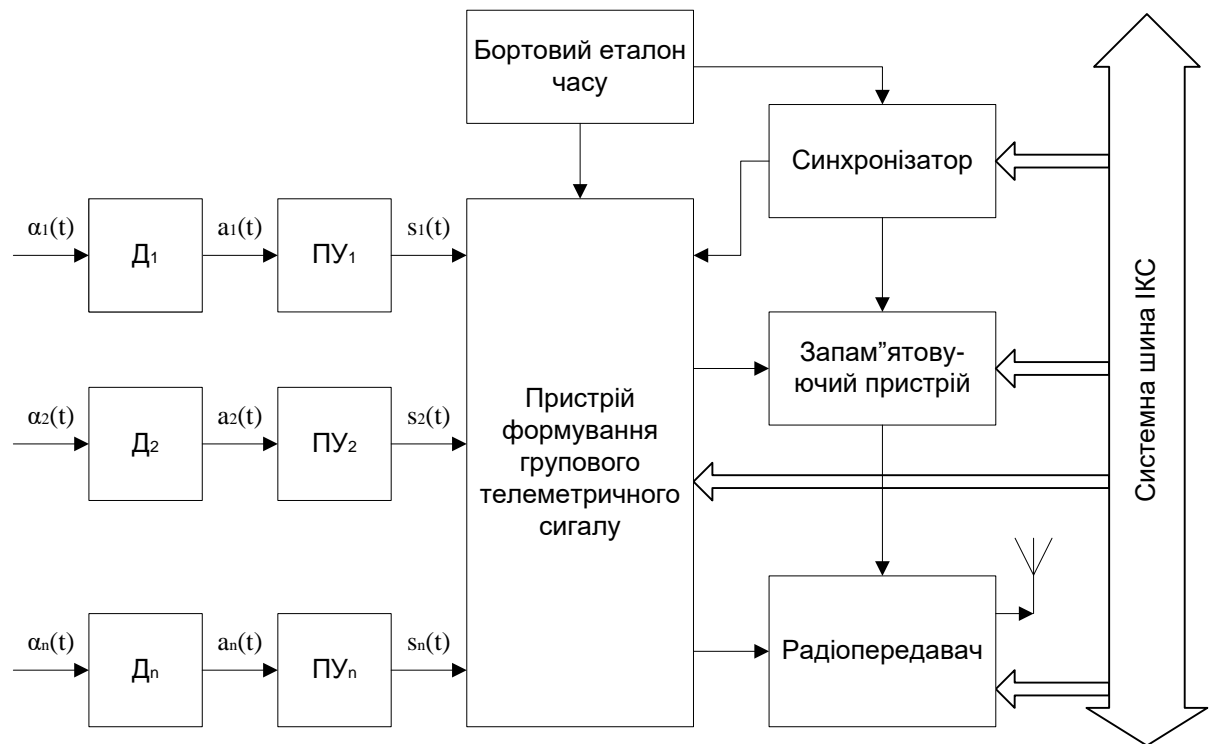


Рисунок 4.1 – Структурна схема бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання

- синхронізатор – пристрій, що формує періодичні послідовності сигналів, які визначають часовий ритм роботи телеметричного обладнання [104];
- бортовий еталон часу – призначений для забезпечення роботи бортових систем та пристроїв, формування сигналів системи єдиного часу і зведення їх до єдиного відліку часу;
- пристрій формування групового телеметричного сигналу – здійснює кодування паралельних сигналів $s_1, s_2 \dots s_n$ в послідовний код, командного слова, сигналів синхронізації і бортового часу, маркерних сигналів розділення телеметричних кадрів та інших службових сигналів, що призначені для декодування групового телеметричного сигналу при прийомі.
- запам'ятовуючий пристрій – призначений для зберігання телеметричної інформації;
- антена випромінює сформований радіопередавачем груповий телеметричний сигнал у ефір.

Радіотелеметрична система короткотривалого використання призначена для роботи у двох режимах:

- чекаючому – очікування прийому команди ”Початок циклограми”;
- штатному – штатна робота системи вимірювання від’єднувальних елементів після прийому команди ”Початок циклограми”.

Досліджувана радіотелеметрична система короткотривалого використання фізичних параметрів відокремлюванго елемента працює згідно функціонального алгоритму, який забезпечує такі режими роботи відокремлюванго елемента: запису, напрямленої передачі, відтворення.

4.1.2. Розробка вербальної моделі функціонального алгоритму радіотелеметричної системи короткотривалого використання

В описі функціонального алгоритму БРТС короткотривалого використання використовуються скрочення:

- ОБ – операційний блок;
- ПБ – перевіряючий блок;
- ВЕ – відокремлюваний елемент;
- ШВЧ – шкала внутрішнього часу;
- ТМІ – телеметрична інформація;
- ТК – телеметричний кадр;
- ЗП – режим запису інформації;
- НП – режим напрямленої передачі інформації;
- ВД – режим відтворення.

Режим очікування

1. Спочатку вмикається загальне бортове живлення (операційний блок ОБ1 — *Ввімкнення живлення*), причому з моменту його подачі час переходу до роботи в чекаючому режимі не повинен перевищувати 0.1 с (перевіряючий блок ПБ1 — *Час готовності в чекаючому режимі не більше 0.1 с*).

2.а). Після виконання цієї умови (ПБ1, перехід *так*) формуються мітки шкали внутрішнього часу (ШВЧ) (ОБ2 — *Формування ШВЧ*).

2.б). В протилежному випадку (ПБ1, перехід *ні*) відбувається аварійне завершення роботи БРТС короткотривалого використання ВЕ (*Аварійне завершення*).

3. Радіотелеметрична система короткотривалого використання ВЕ працює в чекаючому режимі та очікує команди переходу в штатний режим (ОБ3 — *Очікування команди "Початок циклограми"*), а при виконанні умови *Отримання команди "Початок циклограми"* (ПБ2, перехід *так*) переходить в штатний режим.

Штатний режим

4. ОБ4 — команда *"Початок циклограми"* означає перехід БРТС короткотривалого використання ВЕ в штатний режим (вимкнення загального бортового живлення і ввімкнення власного живлення ВЕ), причому його час готовності не повинен перевищувати 1 с (ПБ3 — *Час готовності в штатному режимі не більше 1 с*).

5.а). Після виконання цієї умови (ПБ3, перехід *так*) відбувається ОБ5 — *Відстріл і діагностика ВЕ* — від'єднання кожного ВЕ і його діагностика — перевірка працездатності після дії короткотривалого екстремального перевантаження).

5.б). В протилежному випадку (ПБ3, перехід *ні*) відбувається аварійне завершення роботи ВЕ (*Аварійне завершення*).

6.а). Якщо *Діагностика пройшла успішно* (ПБ4, перехід *так*), то відбувається ОБ6 — *Обнулення ШВЧ*.

6.б). В протилежному випадку (ПБ4, перехід *ні*) відбувається аварійне завершення роботи ВЕ (*Аварійне завершення*).

7. Після п. 6.а) алгоритм передбачає паралельне виконання таких процедур для кожного з n давачів, розміщених на кожному ВЕ: ОБ7/ n — Збір параметрів n ВЕ, ОБ8/ n — Нормування сигналу n ВЕ, ОБ9/ n — Обробка АЦП n ВЕ, ОБ10/ n — Запис у буфер n ВЕ, ОБ11/ n — Відтворення з буфера n ВЕ.

8. Всі отримані з давачів дані через ОБ12 — Паралельно-послідовний інтерфейс — перетворюються в послідовний інформаційний код.

9. Паралельно з п. 7 і 8 відбувається ОБ13 — Формування міток ШВЧ.

10. Інформація з п. 8 та відповідна мітка часу п. 9 використовуються для ОБ14 — Формування ТК (телеметричного кадру).

11. Отриманий в п. 10. ТК записується у пам'ять ВЕ (ОБ15 — Запис ТК).

12.а). Допоки ВЕ не стабілізовано (ПБ5, ВЕ стабілізовано? → ні → ПБ6, Є команда стабілізації ВЕ? → ні), то ТК записуються в поточний пакет у пам'ять ВЕ, повторюючи п. 7-11.

12.б). Коли надходить команда стабілізації ВЕ (ПБ5, ВЕ стабілізовано? → ні → ПБ6, Є команда стабілізації ВЕ? → так), то відбувається ОБ16 — Стабілізація і діагностика ВЕ для перевірки працездатності ВЕ після дії короткотривалого екстремального перевантаження.

12.в). Якщо ВЕ вже стабілізовано (ПБ5, ВЕ стабілізовано? → так), то ВЕ очікує команди для передавання збереженого пакету ТК – п. 14.

13.а). Якщо Діагностика пройшла успішно (ПБ7, перехід так), то ВЕ очікує команди для передавання збереженого пакету ТК → п. 14.

13.б). В протилежному випадку (ПБ7, перехід ні) відбувається аварійне завершення роботи ВЕ (Аварійне завершення).

14. ОБ17 — Очікування команди НП — означає готовність передавати збережений пакет ТК.

15.а). Якщо підтверджується Отримання команди НП (ПБ8, перехід так), то ВЕ передаватиме збережений пакет ТК → п. 16.

15.б). Якщо немає *Отримання команди НП* (ПБ8, перехід *ні*), то повторюються п. 7-14.

16. Відбувається ОБ18 — *Передавання пакету ТК*.

17. Після п. 16 ВЕ перебуває в ОБ19 — *Очікування команди завершення "Режиму НП"* — чи всі потрібні пакети ТК вже передано.

18.а). Якщо всі потрібні пакети ТК передано (ПБ9, *Команда завершення "Режиму НП"* → *так*), то ВЕ переходить в енергозберігаючий стан — ОБ20, очікуючи хвилини або десятки хвилин, поки його знайдуть наземні служби.

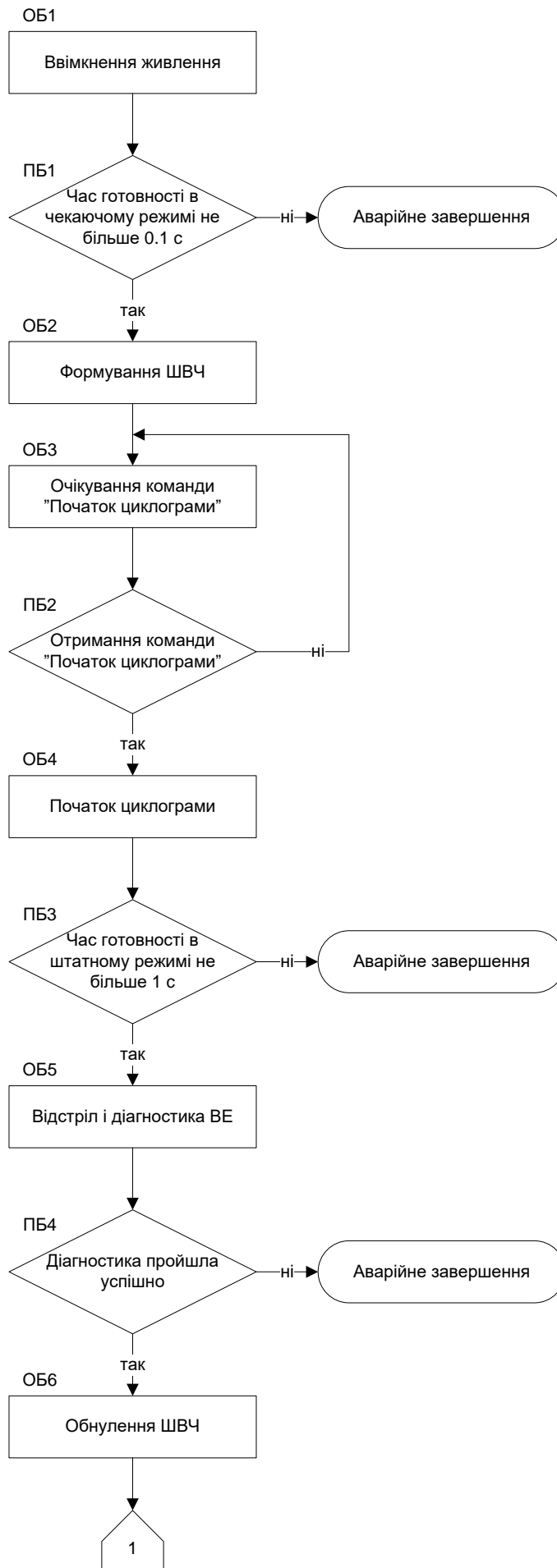
18.б). Якщо ще не всі потрібні пакети ТК передано (ПБ9, *Команда завершення "Режиму НП"* → *ні*), то повторюються п. 7-17 для формування нового пакету ТК.

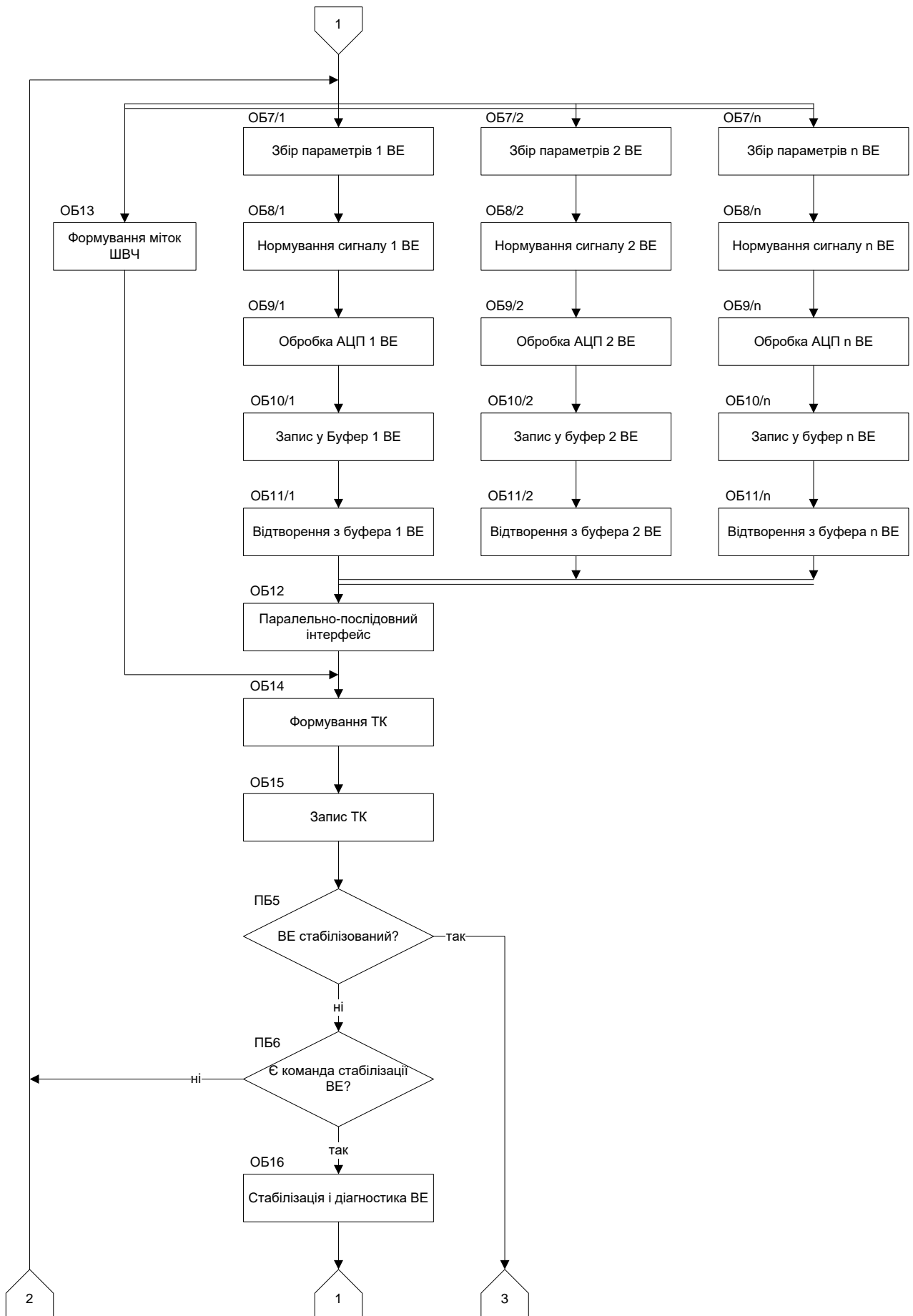
19. Коли ВЕ знайдено, то виконується ОБ21 — *Ввімкнення зовнішнього живлення*, коли ВЕ приєднують до комп'ютера.

20. Триває ОБ22 — *Очікування команди ВСП* для передачі інформації на комп'ютер та її відтворення, а при виконанні умови *Отримання команди ВСП* (ПБ10, перехід *так*) виконується п. 21.

21. ОБ23 — *Відтворення інформації* означає передачу всіх збережених ТК на комп'ютер для їх подальшого аналізу. На цьому алгоритм поведінки ВЕ *успішно завершується*.

Розглянутий функціональний алгоритм бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання графічно представлений блок-схемою на рис. 4.2.





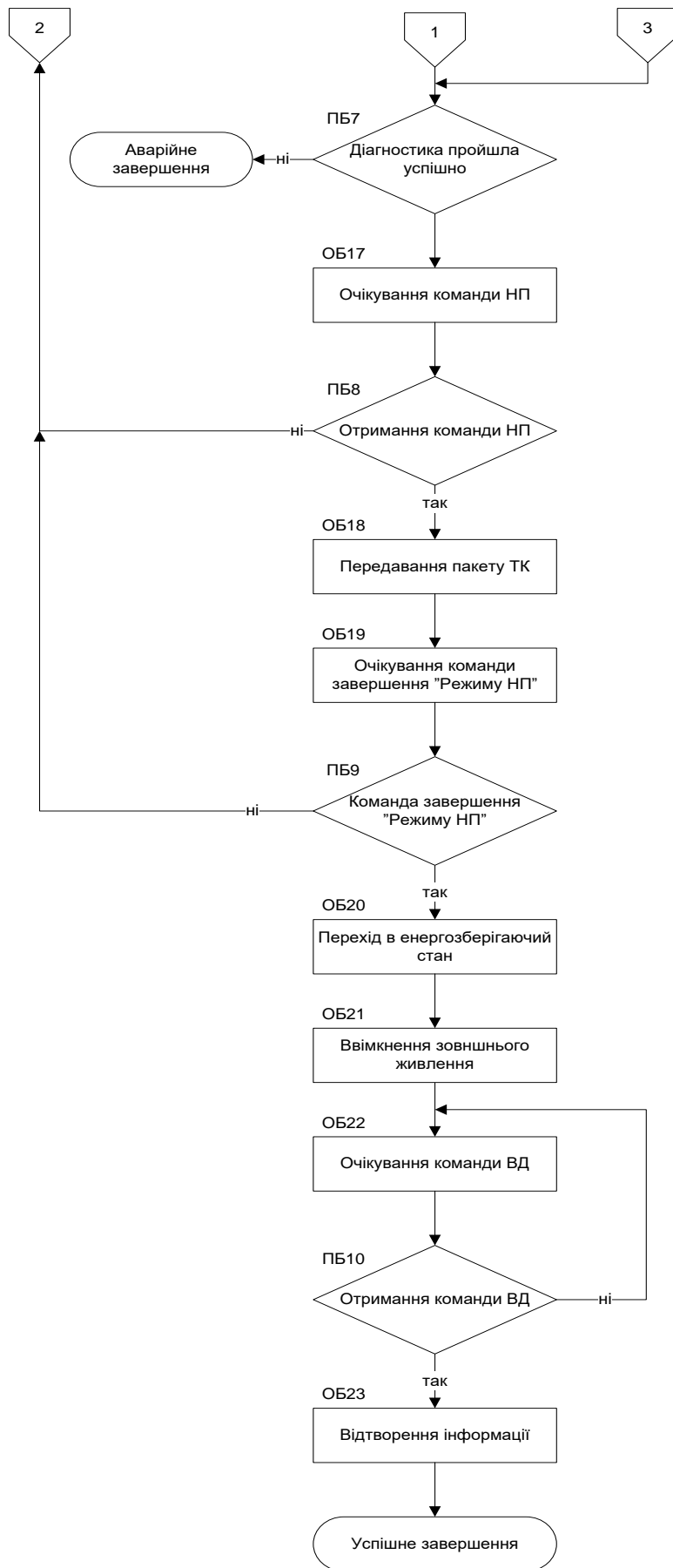


Рис. 4.2. Функціональний алгоритм радіотелеметричної системи короткотривалого використання

4.1.3. Розробка алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання

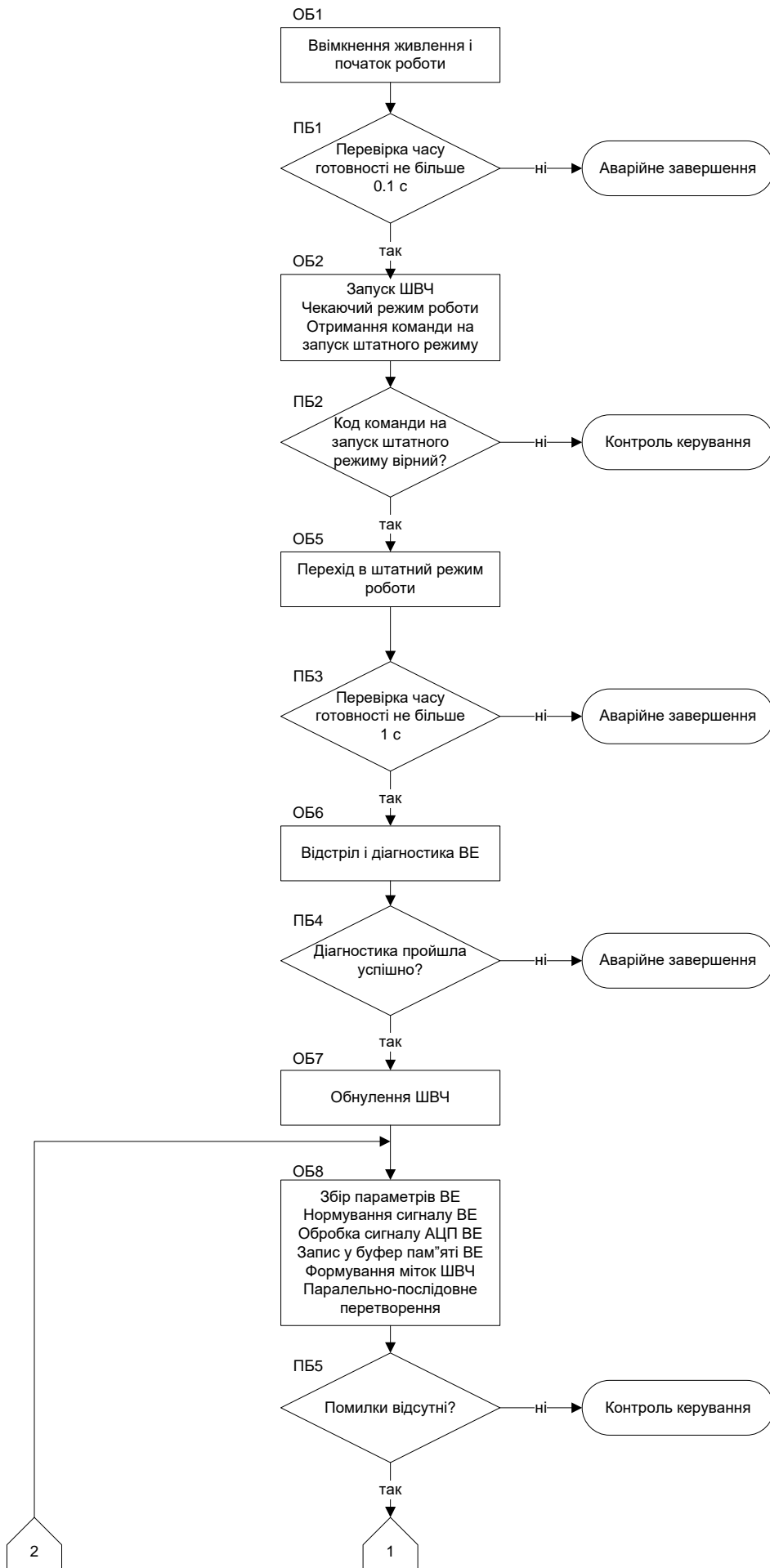
Алгоритм поведінки досліджуваної системи формується із відповідного функціонального алгоритму з врахуванням всіх особливостей, характерних для АП і відображених у розділі 2.

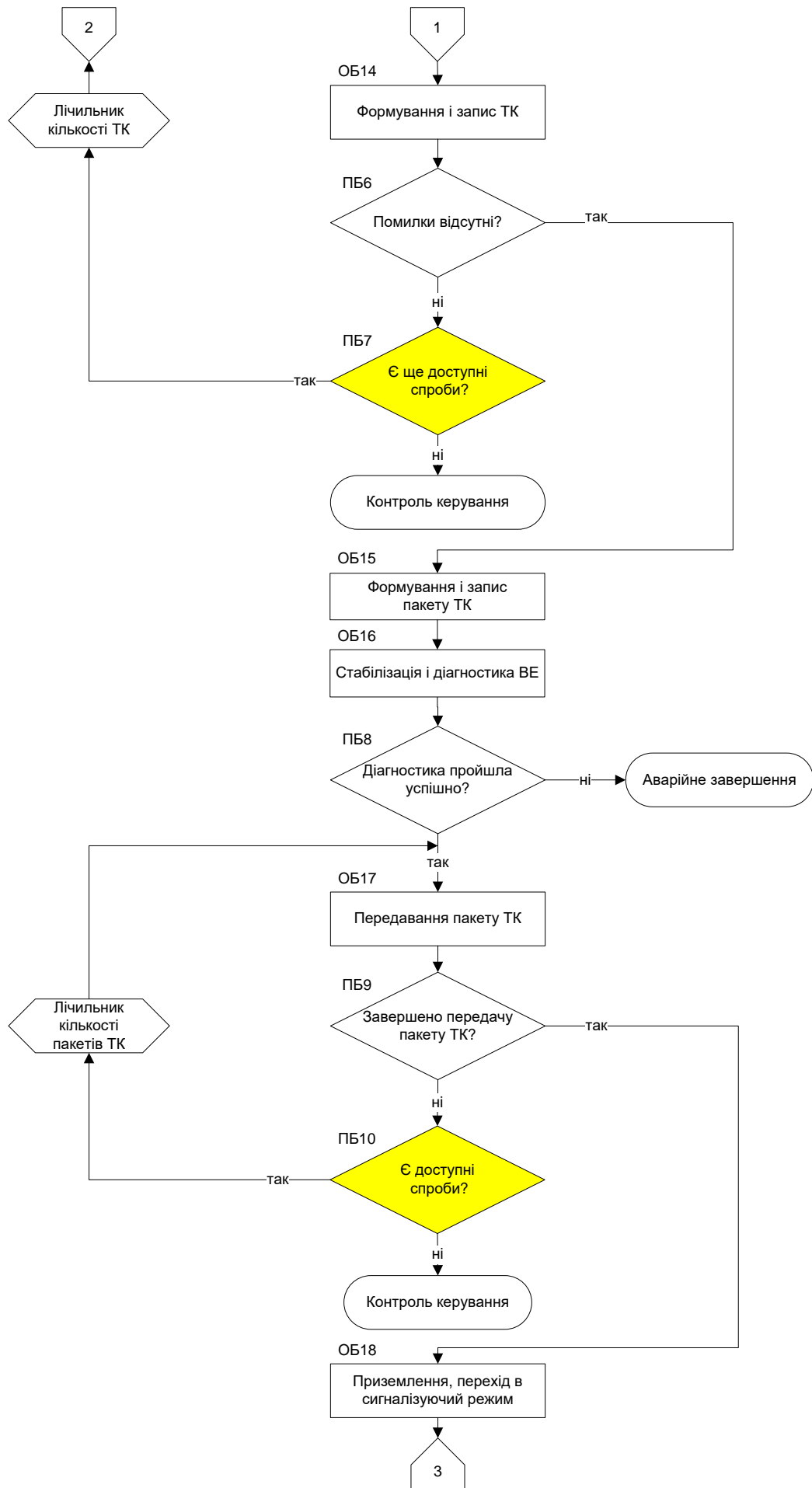
Слід відзначити, що у функціональному алгоритмі радіотелеметричної системи короткотривалого використання присутній фрагмент з паралельним процесом. Паралельний алгоритмічний процес у АП слід редукувати і відображати еквівалентним лінійним процесом, параметри якого – імовірність правильного виконання та середня тривалість правильного виконання – визначаються згідно [106] таким чином:

- імовірність правильного виконання лінійного процесу еквівалентного до паралельного визначається, як ймовірність правильного виконання одного з потоків паралельного процесу з її найменшим значенням;
- середня тривалість правильного виконання визначається, як тривалість правильного виконання одного з потоків паралельного процесу з її найбільшим значенням.

Необхідно зазначити, що послідовно з'єднані операційні блоки, зміни параметрів яких не потребують деталізації при моделюванні, об'єднують в один із сумуванням $T_{\text{сер}}$ кожного операційного блоку. Таким чином можна зменшити графічне відображення алгоритму, а відповідно і розмірність моделі, оскільки кількість операційних блоків АП визначають розмірність графу станів і переходів і відповідно розмірність системи диференціальних рівнянь Колмогорова - Чепмена.

Еквівалентний АП БРТС короткотривалого використання, розроблений згідно методики моделювання АП (розділ 2) повністю відображає надійнісну та функціональну поведінку досліджуваної системи. Блок-схема алгоритму приведена на рис. 4.3.





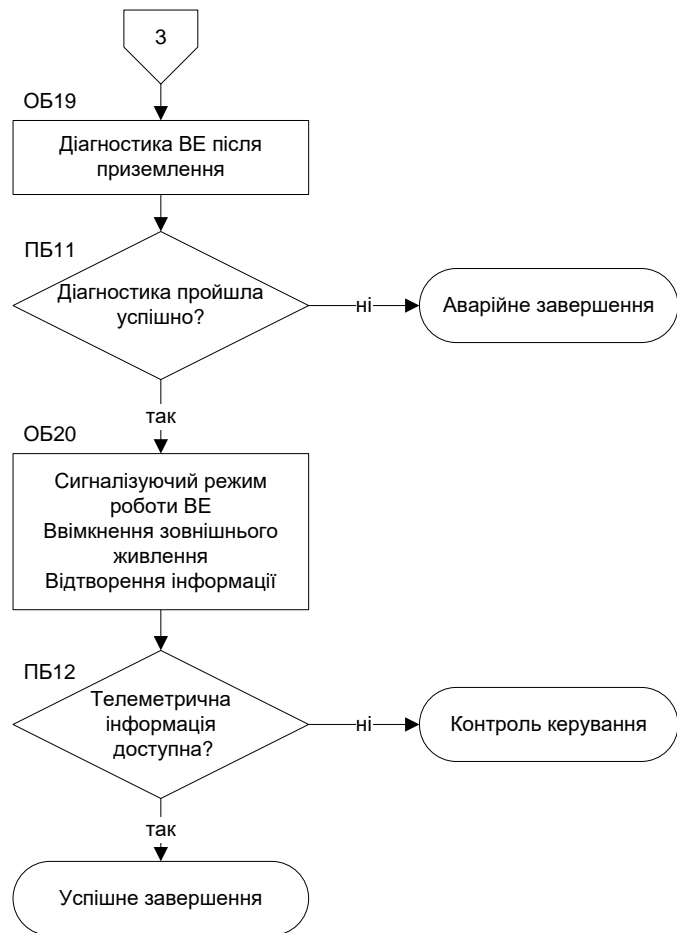


Рисунок 4.3 – Алгоритм поведінки радіотелеметричної системи короткотривалого використання

4.1.4. Побудова моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання модифікованим методом простору станів

Побудова моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання модифікованим методом простору станів (див. розділ 2) передбачає розробку відповідної структурно-автоматної моделі (САМ). В свою чергу, побудова САМ здійснюється безпосередньо на основі блок-схеми АП, представленого на рис. 4.3 або на основі вербальної моделі, сформованої в п. 4.1.2.

При розробці САМ необхідно вирішити наступні завдання: сформувані вектор станів (ВС); визначити множину формальних параметрів моделі; визначити формули розрахунку інтенсивностей переходів із стану в стан;

визначити формули розрахунку ймовірностей альтернативних переходів; встановити правила модифікації компонент вектора станів.

4.1.4.1. Побудова структурно-автоматної моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання, що працює в режимі запису, напрямленої передачі та відтворення

Формування множини формальних параметрів:

Множину формальних параметрів моделі складають константи, які визначаються для конкретного об'єкту дослідження. Алгоритм поведінки БРТС короткотривалого використання, що працює в режимах запису, напрямленої передачі та відтворення, представлено відповідними параметрами, а саме:

T_i – середнє значення тривалості виконання i -го операційного блоку;

p_n, q_n – імовірності переходів через n -ий перевіряючий стохастичний блок;

p_m^+, q_m^+ – імовірності переходів через m -ий перевіряючий детермінований блок;

$KTK = 2$ – допустима кількість споб повторного формування телеметричного кадру;

$KTP = 2$ – допустима кількість споб повторного формування пакету телеметричних кадрів.

Таблиця 4.1 – Вхідні дані моделі алгоритму поведінки радіотелеметричної системи короткотривалого використання

Параметри операційних блоків (ОБ)		Параметри стохастичних і детермінованих перевіряючих блоків (ПБ)	
функціонального алгоритму	алгоритму поведінки	$p_1 = 0.999$	$q_1 = 1 - p_1$
$T_1 = 0.08$ с	$T_1 = 0.08$ с	$p_2 = 0.998$	$q_2 = 1 - p_2$
$T_2 = 0.5$ с	$T_2 = 6.5$ с		

Параметри операційних блоків (ОБ)	
функціонального алгоритму	алгоритму поведінки
$T_3 = 5$ с	
$T_4 = 1$ с	
$T_5 = 0.08$ с	$T_5 = 0.08$ с
$T_6 = 1.45$ с	$T_6 = 1.45$ с
$T_7 = 0.4$ с	$T_7 = 0.4$ с
$T_8 = 0.1$ с	$T_8 = 1.05$ с
$T_9 = 0.1$ с	
$T_{10} = 0.1$ с	
$T_{11} = 0.1$ с	
$T_{12} = 0.4$ с	
$T_{13} = 0.25$ с	
$T_{14} = 0.35$ с	$T_{14} = 0.35$ с
$T_{15} = 0.3$ с	$T_{15} = 0.3$ с
$T_{16} = 1.65$ с	$T_{16} = 1.65$ с
$T_{17} = 1.75$ с	$T_{17} = 1.75$ с
$T_{18} = 3$ с	$T_{18} = 4.4$ с
$T_{19} = 1.4$ с	
$T_{20} = 300$ с	$T_{20} = 305$ с
$T_{21} = 2$ с	
$T_{22} = 3$ с	

Параметри стохастичних і детермінованих перевіряючих блоків (ПБ)	
$p_3 = 0.999$	$q_3 = 1 - p_3$
$p_4 = 0.994$	$q_4 = 1 - p_4$
$p_5 = 0.999$	$q_5 = 1 - p_5$
$p_6 = 0.999$	$q_6 = 1 - p_6$
$p_7^+ = 1$	$q_7^- = 1$
$p_8 = 0.993$	$q_8 = 1 - p_8$
$p_9 = 0.998$	$q_9 = 1 - p_9$
$p_{10}^+ = 1$	$q_{10}^- = 1$
$p_{11} = 0.992$	$q_{11} = 1 - p_{11}$
$p_{12} = 0.995$	$q_{12} = 1 - p_{12}$

Формування компонент вектора станів

Вектор станів складається із компонент, які однозначно визначають стан системи в кожен момент часу. Кількість компонент в описі поточного стану повинна відповідати кількості параметрів, зміна яких визначає поведінку системи.

Стани АП БРТС короткотривалого використання представлено наступними компонентами вектора стану:

1. V_OB – відображає поточний номер виконуваного операційного блоку.

Також компонент V_OB призначений для позначення станів відмови та збоїв апаратних засобів V_OB може набувати таких значень:

000 – стан перевищення часу готовності в чекаючому режимі роботи після ввімкнення живлення;

001 – стан неперемикання в штатний режим після отримання відповідної команди;

002 – стан перевищення часу готовності після переходу в штатний режим роботи;

003 – діагностика ВЕ після відстрілу пройшла неуспішно;

004 – присутні помилки після збору параметрів ВЕ, перетворення та оброблення сигналів, запису в буфер пам'яті;

005 – присутні помилки після формування і запису ТК за умови, що повторні спроби вже недоступні;

006 – діагностика ВЕ після стабілізації пройшла неуспішно;

007 – передачу пакету ТК здійснено неуспішно за умови, що повторні спроби вже недоступні;

008 – діагностика ВЕ після приземлення пройшла неуспішно;

009 – телеметрична інформація недоступна.

Для позначення стану успішного виконання компонент V_OB набуває значення 999.

2. V_{TK} – відображає поточну кількість виконаних циклів повторного формування телеметричного кадру. Дана компонента ВС може приймати значення від 1 до КТК.

3. V_{TP} – відображає поточну кількість виконаних циклів повторного формування пакету телеметричних кадрів. Дана компонента ВС може приймати значення від 1 до КТР.

Початкове значення ВС:

$V_{OB}=1; V_{TP}=0; V_{TK}=0.$

Побудова дерева правил модифікацій компонент вектора станів

Для побудови дерева правил модифікації компонент ВС необхідно здійснити формалізований опис ситуацій, в яких відбувається базова подія «виконання операційного блоку» через представлення умов та обставин; розробити формули розрахунку інтенсивностей базових подій (ФРІБП), формули розрахунку імовірності альтернативного переходу (ФРІАП) та правил модифікації компонент вектора станів (ПМКВС).

Після цього формується дерево правил модифікацій компонент вектора стану (табл. 4.2), яке є вхідними даними для програмного модуля ASNA.

Таблиця 4.2 – Дерево правил модифікацій компонент вектора стану структурно-автоматної моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання

Умови та обставини	ФРІБП	ФРІАП	ПМКВС
$V_{OB}=1$	$1/T_1$	p_1	$V_{OB}:=2;$
$V_{OB}=1$	$1/T_1$	q_1	$V_{OB}:=000;$
$V_{OB}=2$	$1/T_2$	p_2	$V_{OB}:=5;$
$V_{OB}=2$	$1/T_2$	q_2	$V_{OB}:=001;$
$V_{OB}=5$	$1/T_5$	p_3	$V_{OB}:=6;$
$V_{OB}=5$	$1/T_5$	q_3	$V_{OB}:=002;$
$V_{OB}=6$	$1/T_6$	p_4	$V_{OB}:=7;$
$V_{OB}=6$	$1/T_6$	q_4	$V_{OB}:=003;$

Умови та обставини	ФРІБП	ФРІАП	ПМКВС
V_OB=7	1/T ₇	1	V_OB:=8;
V_OB=8	1/T ₈	p ₅	V_OB:=14;
V_OB=8	1/T ₈	q ₅	V_OB:=004;
V_OB=14	1/T ₁₄	p ₆	V_OB:=15;
(V_OB=14) AND (V_TK<KTK)	1/T ₁₄	q ₆ p ₇ ⁺	V_OB:=8; V_TK:=V_TK+1;
(V_OB=14) AND (V_TK=KTK)	1/T ₁₄	q ₆ q ₇ ⁻	V_OB:=005;
V_OB=15	1/T ₁₅	1	V_OB:=16;
V_OB=16	1/T ₁₆	p ₇	V_OB:=17;
V_OB=16	1/T ₁₆	q ₈	V_OB:=006;
V_OB=17	1/T ₁₇	p ₉	V_OB:=18;
(V_OB=17) AND (V_TP<KTP)	1/T ₁₇	q ₉ p ₁₀ ⁺	V_OB:=16; V_TP:=V_TP+1;
(V_OB=17) AND (V_TP=KTP)	1/T ₁₇	q ₉ q ₁₀ ⁻	V_OB:=007;
V_OB=18	1/T ₁₈	p ₁₁	V_OB:=20;
V_OB=18	1/T ₁₈	q ₁₁	V_OB:=008;
V_OB=20	1/T ₂₀	p ₁₂	V_OB:=999;
V_OB=20	1/T ₂₀	q ₁₂	V_OB:=009;

На основі розробленої структурно-автоматної моделі та програмного модуля ASNA здійснюється автоматизована розробка графа станів та переходів та відбувається формування математичної моделі у вигляді системи диференційних рівнянь Колмогорова – Чепмена.

Так для моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання, що працює в режимі запису, напрямленої передачі та відтворення, система диференційних рівнянь має вигляд (4.1).

Граф станів та переходів для цієї моделі містить 158 станів та 238 переходів.

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_1(t)}{dt} &= -\left(\frac{p_1}{T_1} + \frac{q_1}{T_1}\right) \cdot P_1(t) \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} &= \frac{p_1}{T_1} \cdot P_1(t) - \left(\frac{p_2}{T_2} + \frac{q_2}{T_2}\right) \cdot P_2(t) \\
 \frac{dP_3(t)}{dt} &= \frac{q_1}{T_1} \cdot P_1(t) \\
 \frac{dP_4(t)}{dt} &= \frac{p_2}{T_2} \cdot P_2(t) - \left(\frac{p_3}{T_5} + \frac{q_3}{T_5}\right) \cdot P_4(t) \\
 \frac{dP_5(t)}{dt} &= \frac{q_2}{T_2} \cdot P_2(t) \\
 \frac{dP_6(t)}{dt} &= \frac{p_3}{T_5} \cdot P_4(t) - \left(\frac{p_4}{T_6} + \frac{q_4}{T_6}\right) \cdot P_6(t) \\
 \frac{dP_7(t)}{dt} &= \frac{q_3}{T_5} \cdot P_4(t) \\
 \frac{dP_8(t)}{dt} &= \frac{p_4}{T_6} \cdot P_6(t) - \frac{1}{T_7} \cdot P_8(t) \\
 \frac{dP_9(t)}{dt} &= \frac{q_4}{T_6} \cdot P_6(t) \\
 \frac{dP_{10}(t)}{dt} &= \frac{1}{T_7} \cdot P_8(t) - \left(\frac{p_5}{T_8} + \frac{q_5}{T_8}\right) \cdot P_{10}(t) \\
 \frac{dP_{11}(t)}{dt} &= \frac{p_5}{T_8} \cdot P_{10}(t) - \left(\frac{p_6}{T_8} + \frac{q_6 \cdot p_7}{T_8}\right) \cdot P_{11}(t) \\
 &\dots\dots\dots \\
 \frac{dP_{147}(t)}{dt} &= \frac{p_{12}}{T_{20}} \cdot P_{143}(t) \\
 \frac{dP_{148}(t)}{dt} &= \frac{p_{12}}{T_{20}} \cdot P_{144}(t) \\
 \frac{dP_{149}(t)}{dt} &= \frac{q_{12}}{T_{20}} \cdot P_{143}(t) \\
 \frac{dP_{150}(t)}{dt} &= \frac{q_{12}}{T_{20}} \cdot P_{144}(t) \\
 \frac{dP_{151}(t)}{dt} &= \frac{p_8}{T_{16}} \cdot P_{141}(t) - \left(\frac{p_9}{T_{17}} + \frac{q_9 \cdot q_{10}}{T_{17}}\right) P_{151}(t) \\
 \frac{dP_{152}(t)}{dt} &= \frac{q_8}{T_{16}} \cdot P_{141}(t) \\
 \frac{dP_{153}(t)}{dt} &= \frac{p_9}{T_{17}} \cdot P_{151}(t) - \left(\frac{p_{11}}{T_{18}} + \frac{q_{11}}{T_{18}}\right) P_{153}(t) \\
 \frac{dP_{154}(t)}{dt} &= \frac{q_9 \cdot q_{10}}{T_{17}} \cdot P_{151}(t) \\
 \frac{dP_{155}(t)}{dt} &= \frac{p_{11}}{T_{18}} \cdot P_{153}(t) - \left(\frac{p_{12}}{T_{20}} + \frac{q_{12}}{T_{20}}\right) P_{155}(t) \\
 \frac{dP_{156}(t)}{dt} &= \frac{q_{11}}{T_{18}} \cdot P_{153}(t) \\
 \frac{dP_{157}(t)}{dt} &= \frac{p_{12}}{T_{20}} \cdot P_{155}(t) \\
 \frac{dP_{158}(t)}{dt} &= \frac{q_{12}}{T_{20}} \cdot P_{155}(t)
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Програмний модуль ASNA за допомогою чисельного методу Рунге-Кутта - Мерсона дозволяє знайти розв'язки системи лінійних диференціальних рівнянь і подати їх у вигляді розподілу імовірностей перебування у станах.

Після експортування розподілу імовірностей перебування у станах у табличний процесор, потрібно визначити порядкові номери перебування БРТС у станах, які відповідають успішному виконанню. Ідентифікації станів для режиму запису, напрямленої передачі та відтворення визначається за ознакою компонента ВС $V_{OB}=999$, для якого формується показник ефективності шляхом сумування імовірностей перебування у відповідних станах. Таким чином виконавши необхідні дії, імовірність успішного виконання алгоритму поведінки БРТС режиму запису, напрямленої передачі та відтворення дорівнює $p_{УВ}=0.9659$.

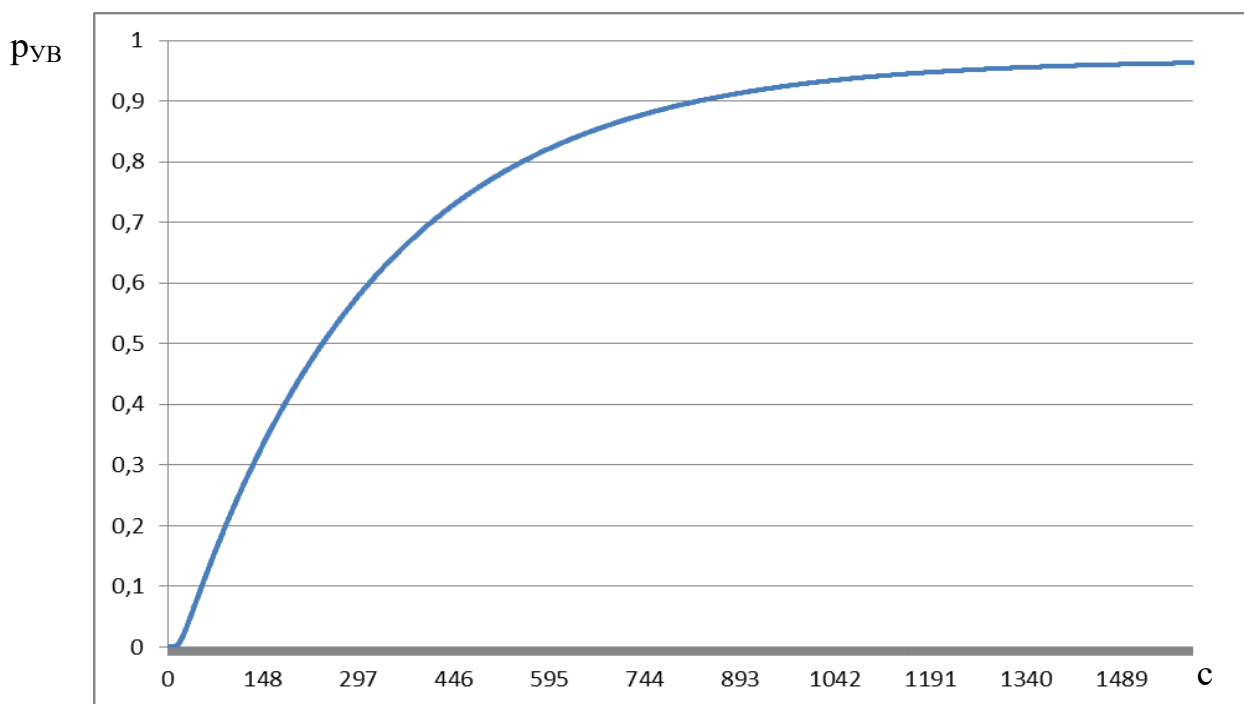


Рисунок 4.4 – Залежність імовірності успішного виконання поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання, що працює в режимах запису, напрямленої передачі та відтворення, від часу виконання

4.1.4.2. Побудова структурно-автоматної моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання, що працює в режимі запису та напрямленої передачі

Формування множини формальних параметрів:

При формуванні САМ моделі для алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання, що працює в режимі запису та напрямленої передачі, множини формальних параметрів моделі складають ті ж константи, які використовуються в п. 4.1.4.1. Відмінністю є те, що для режиму запису та напрямленої передачі успішне завершення АП відбувається після завершення ОБ17 «Передавання пакету ТК».

Таким чином для заданого режиму роботи БРТС множини формальних параметрів матиме вигляд:

Таблиця 4.3 – Вхідні дані моделі алгоритму поведінки радіотелеметричної системи короткотривалого використання

Параметри операційних блоків (ОБ)		Параметри стохастичних і детермінованих перевіряючих блоків (ПБ)	
функціонального алгоритму	алгоритму поведінки		
$T_1 = 0.08 \text{ с}$	$T_1 = 0.08 \text{ с}$	$p_1 = 0.999$	$q_1 = 1 - p_1$
$T_2 = 0.5 \text{ с}$	$T_2 = 6.5 \text{ с}$	$p_2 = 0.998$	$q_2 = 1 - p_2$
$T_3 = 5 \text{ с}$		$p_3 = 0.999$	$q_3 = 1 - p_3$
$T_4 = 1 \text{ с}$		$p_4 = 0.994$	$q_4 = 1 - p_4$
$T_5 = 0.08 \text{ с}$	$T_5 = 0.08 \text{ с}$	$p_5 = 0.999$	$q_5 = 1 - p_5$
$T_6 = 1.45 \text{ с}$	$T_6 = 1.45 \text{ с}$	$p_6 = 0.999$	$q_6 = 1 - p_6$
$T_7 = 0.4 \text{ с}$	$T_7 = 0.4 \text{ с}$	$p_7^+ = 1$	$q_7^- = 1$
$T_8 = 0.1 \text{ с}$	$T_8 = 1.05 \text{ с}$	$p_8 = 0.993$	$q_8 = 1 - p_8$
$T_9 = 0.1 \text{ с}$		$p_9 = 0.998$	$q_9 = 1 - p_9$

Параметри операційних блоків (ОБ)	
функціонального алгоритму	алгоритму поведінки
$T_{10} = 0.1$ с	
$T_{11} = 0.1$ с	
$T_{12} = 0.4$ с	
$T_{13} = 0.25$ с	
$T_{14} = 0.35$ с	$T_{14} = 0.35$ с
$T_{15} = 0.3$ с	$T_{15} = 0.3$ с
$T_{16} = 1.65$ с	$T_{16} = 1.65$ с
$T_{17} = 1.75$ с	$T_{17} = 1.75$ с

Параметри стохастичних і детермінованих перевіряючих блоків (ПБ)	
$p_{10}^+ = 1$	$q_{10}^- = 1$

Формування компонент вектора станів

Вектор станів САМ для алгоритму поведінки БРТС, що працює в режимі запису та напрямленої передачі складається із тих же компонент, що й для алгоритму поведінки БРТС, що працює в режимі запису, напрямленої передачі та відтворення.

Побудова дерева правил модифікацій компонент вектора станів

Для побудови дерева правил модифікації компонент ВС для алгоритму поведінки БРТС, що працює в режимі запису та напрямленої передачі потрібно прийняти до уваги, що успішне завершення АП відбувається після завершення ОБ17 «Передавання пакету ТК».

Сформуємо дерево правил модифікацій компонент вектора стану (табл. 4.4) для програмного модуля ASNA.

Таблиця 4.4 – Дерево правил модифікацій компонент вектора стану структурно-автоматної моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання

Умови та обставини	ФРІБП	ФРІАП	ПМКВС
V_OB=1	1/T ₁	p ₁	V_OB:=2;
V_OB=1	1/T ₁	q ₁	V_OB:=000;
V_OB=2	1/T ₂	p ₂	V_OB:=5;
V_OB=2	1/T ₂	q ₂	V_OB:=001;
V_OB=5	1/T ₅	p ₃	V_OB:=6;
V_OB=5	1/T ₅	q ₃	V_OB:=002;
V_OB=6	1/T ₆	p ₄	V_OB:=7;
V_OB=6	1/T ₆	q ₄	V_OB:=003;
V_OB=7	1/T ₇	1	V_OB:=8;
V_OB=8	1/T ₈	p ₅	V_OB:=14;
V_OB=8	1/T ₈	q ₅	V_OB:=004;
V_OB=14	1/T ₁₄	p ₆	V_OB:=15;
(V_OB=14) AND (V_TK<KTK)	1/T ₁₄	q ₆ p ₇ ⁺	V_OB:=8; V_TK:=V_TK+1;
(V_OB=14) AND (V_TK=KTK)	1/T ₁₄	q ₆ q ₇ ⁻	V_OB:=005;
V_OB=15	1/T ₁₅	1	V_OB:=16;
V_OB=16	1/T ₁₆	p ₇	V_OB:=17;
V_OB=16	1/T ₁₆	q ₈	V_OB:=006;
V_OB=17	1/T ₁₇	p ₉	V_OB:=999;
(V_OB=17) AND (V_TP<KTP)	1/T ₁₇	q ₉ p ₁₀ ⁺	V_OB:=16; V_TP:=V_TP+1;
(V_OB=17) AND (V_TP=KTP)	1/T ₁₇	q ₉ q ₁₀ ⁻	V_OB:=007;

Відповідно для моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання, що працює в режимі запису та напрямленої передачі система диференціальних рівнянь має вигляд (4.2).

Граф станів та переходів для цієї моделі містить 94 станів та 142 переходи.

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_1(t)}{dt} &= -\left(\frac{p_1}{T_1} + \frac{q_1}{T_1}\right) \cdot P_1(t) \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} &= \frac{p_1}{T_1} \cdot P_1(t) - \left(\frac{p_2}{T_2} + \frac{q_2}{T_2}\right) \cdot P_2(t) \\
 \frac{dP_3(t)}{dt} &= \frac{q_1}{T_1} \cdot P_1(t) \\
 \frac{dP_4(t)}{dt} &= \frac{p_2}{T_2} \cdot P_2(t) - \left(\frac{p_3}{T_5} + \frac{q_3}{T_5}\right) \cdot P_4(t) \\
 \frac{dP_5(t)}{dt} &= \frac{q_2}{T_2} \cdot P_2(t) \\
 \frac{dP_6(t)}{dt} &= \frac{p_3}{T_5} \cdot P_4(t) - \left(\frac{p_4}{T_6} + \frac{q_4}{T_6}\right) \cdot P_6(t) \\
 \frac{dP_7(t)}{dt} &= \frac{q_3}{T_5} \cdot P_4(t) \\
 \frac{dP_8(t)}{dt} &= \frac{p_4}{T_6} \cdot P_6(t) - \frac{1}{T_7} \cdot P_8(t) \\
 \frac{dP_9(t)}{dt} &= \frac{q_4}{T_6} \cdot P_6(t) \\
 \frac{dP_{10}(t)}{dt} &= \frac{1}{T_7} \cdot P_8(t) - \left(\frac{p_5}{T_8} + \frac{q_5}{T_8}\right) \cdot P_{10}(t) \\
 \frac{dP_{11}(t)}{dt} &= \frac{p_5}{T_8} \cdot P_{10}(t) - \left(\frac{p_6}{T_8} + \frac{q_6 \cdot p_7}{T_8}\right) \cdot P_{11}(t) \\
 &\dots\dots\dots \\
 \frac{dP_{83}(t)}{dt} &= \frac{p_8}{T_{16}} \cdot P_{80}(t) - \left(\frac{p_9}{T_{17}} + \frac{q_9 \cdot q_{10}}{T_{17}}\right) P_{83}(t) \\
 \frac{dP_{84}(t)}{dt} &= \frac{p_8}{T_{16}} \cdot P_{81}(t) - \left(\frac{p_9}{T_{17}} + \frac{q_9 \cdot p_{10}}{T_{17}}\right) P_{84}(t) \\
 \frac{dP_{85}(t)}{dt} &= \frac{q_8}{T_{16}} \cdot P_{80}(t) \\
 \frac{dP_{86}(t)}{dt} &= \frac{q_8}{T_{16}} \cdot P_{81}(t) \\
 \frac{dP_{87}(t)}{dt} &= \frac{p_9}{T_{17}} \cdot P_{83}(t) \\
 \frac{dP_{88}(t)}{dt} &= \frac{p_9}{T_{17}} \cdot P_{84}(t) \\
 \frac{dP_{89}(t)}{dt} &= \frac{q_9 \cdot p_{10}}{T_{17}} \cdot P_{84}(t) - \left(\frac{p_8}{T_{16}} + \frac{q_8}{T_{16}}\right) P_{89}(t) \\
 \frac{dP_{90}(t)}{dt} &= \frac{q_9 \cdot q_{10}}{T_{17}} \cdot P_{83}(t) \\
 \frac{dP_{91}(t)}{dt} &= \frac{p_8}{T_{16}} \cdot P_{89}(t) - \left(\frac{p_9}{T_{17}} + \frac{q_9 \cdot q_{10}}{T_{17}}\right) P_{91}(t) \\
 \frac{dP_{92}(t)}{dt} &= \frac{q_8}{T_{16}} \cdot P_{89}(t) \\
 \frac{dP_{93}(t)}{dt} &= \frac{p_9}{T_{17}} \cdot P_{91}(t) \\
 \frac{dP_{94}(t)}{dt} &= \frac{q_9 \cdot q_{10}}{T_{17}} \cdot P_{91}(t)
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Аналогічно, які для режиму запису, напрямленої передачі та відтворення показник ефективності алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання, що працює в режимі запису та напрямленої передачі, формується за ознакою компонента ВС $V_{OB}=999$. Виконавши відповідні дії, імовірність успішного виконання алгоритму поведінки БРТС в режимі запису та напрямленої передачі дорівнює $p_{ув}=0.9791$.

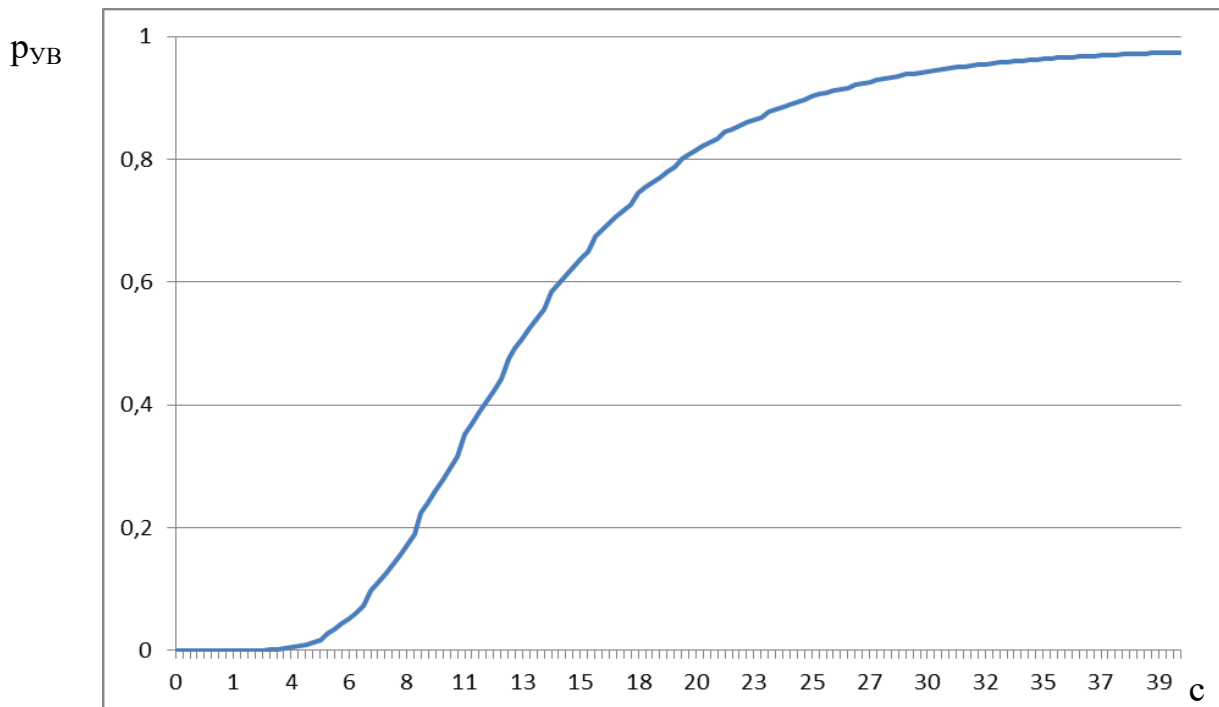


Рисунок 4.5 – Залежність імовірності успішного виконання поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання, що працює в режимах запису та напрямленої передачі, від часу виконання

4.1.5. Розробка моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання методом «схеми шляхів», що працює в режимах запису, напрямленої передачі та відтворення

1. Внесемо вхідні дані для побудови моделі АП БРТС короткотривалого використання методом схеми шляхів (див. табл. 4.1).

2. Відповідно до внесених вхідних даних та блок схеми АП слід ідентифікувати переходи на схемі шляхів:

$$pL_{1_7} = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4;$$

$$pL_{8_8} = p_5 \cdot q_6 \cdot p_7^+;$$

$$pL_{14_16} = p_6 \cdot p_8;$$

$$pПФБ_{17} = q_9 \cdot p_{10}^+;$$

$$pL_{17_18} = p_9;$$

$$pL_{19_{yB}} = p_{11} \cdot p_{12};$$

$$T_{1_7} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7;$$

$$T_{8_8} = T_8 + T_9 + T_{10} + T_{11} + T_{12} + T_{13} + T_{14};$$

$$T_{15_16} = T_{15} + T_{16};$$

$$T_{18_{yB}} = T_{18} + T_{19} + T_{20} + T_{21} + T_{22}.$$

3. Маючи всю необхідну інформацію, слід записати формули для визначення імовірності та середнього значення тривалості успішного виконання АП:

$$p(S_{yB}) = pL_{1_7} \cdot (pL_{8_8})^k \cdot pL_{14_16} \cdot (pПФБ_{17})^n \cdot pL_{17_18} \cdot pL_{19_{yB}};$$

$$T_k(S_{yB}) = T_{1_7} + T_{8_8} \cdot (1+k) + T_{15_16} + T_{17} \cdot (1+n) + T_{18_{yB}}.$$

4. Після цього слід автоматизувати розрахунок показників ефективності АП радіотелеметричної системи короткотривалого використання методом схеми шляхів:

$$\begin{array}{l}
 pS_YB := \left| \begin{array}{l} p \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in k \\ \quad \text{for } j \in n \\ \quad \quad p \leftarrow p + p_YB(i,j) \end{array} \right. \\
 Ts_YB := \left| \begin{array}{l} t \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in k \\ \quad \text{for } j \in n \\ \quad \quad t \leftarrow t + p_YB(i,j) T_YB(i,j) \end{array} \right.
 \end{array}$$

В результаті автоматизованого визначення показників ефективності алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання було отримано такі значення імовірності та середнього значення тривалості успішного виконання АП:

$$pS_YB = 0.97036$$

$$TS_YB := \frac{Ts_YB}{pS_YB} = 323.735 \quad \text{с.}$$

4.1.6. Розробка моделі алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання методом «схеми шляхів», що працює в режимах запису і напрямленої передачі

1. Внесемо вхідні дані для побудови моделі АП БРТС короткотривалого використання методом схеми шляхів (див. табл. 4.2).

2. Відповідно до внесених вхідних даних та блок схеми АП слід ідентифікувати переходи на схемі шляхів:

$$pL_{1-7} = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4;$$

$$pL_{8_8} = p_5 \cdot q_6 \cdot p_7^+;$$

$$pL_{14_16} = p_6 \cdot p_8;$$

$$p\Pi\Phi B_{17} = q_9 \cdot p_{10}^+;$$

$$pL_{17_yB} = p_9;$$

$$T_{1_7} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7;$$

$$T_{8_8} = T_8 + T_9 + T_{10} + T_{11} + T_{12} + T_{13} + T_{14};$$

$$T_{15_16} = T_{15} + T_{16}.$$

3. Маючи всю необхідну інформацію, слід записати формули для визначення імовірності та середнього значення тривалості успішного виконання АП:

$$p(S_{yB}) = pL_{1_7} \cdot (pL_{8_8})^k \cdot pL_{14_16} \cdot (p\Pi\Phi B_{17})^n \cdot pL_{17_yB};$$

$$T_k(S_{yB}) = T_{1_7} + T_{8_8} \cdot (1+k) + T_{15_16} + T_{17} \cdot (1+n).$$

4. Після цього слід автоматизувати розрахунок показників ефективності АП радіотелеметричної системи короткотривалого використання методом схеми шляхів:

$$pS_yB := \left| \begin{array}{l} p \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in k \\ \quad \text{for } j \in n \\ \quad \quad p \leftarrow p + p_yB(i,j) \end{array} \right.$$

$$T_{s_YB} := \left| \begin{array}{l} t \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in k \\ \quad \text{for } j \in n \\ \quad \quad t \leftarrow t + p_YB(i,j) T_YB(i,j) \end{array} \right.$$

В результаті автоматизованого визначення показників ефективності алгоритму поведінки БРТС короткотривалого використання було отримано такі значення імовірності та середнього значення тривалості успішного виконання АП:

$$p_{S_YB} = 0.9831$$

$$T_{S_YB} := \frac{T_{s_YB}}{p_{S_YB}} = 14.335 \quad \text{с.}$$

4.1.7. Дослідження показників ефективності алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання методом «схеми шляхів»

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 $T_{сер}$) 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. 4.5.

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.

Також було досліджено вплив на показники ефективності алгоритму поведінки БРТС параметрів операційних та перевіряючих блоків повторних циклів, а саме середнього значення тривалості виконання 8-го, 14-го, 17-го ОБ та імовірності переходів через 5-ий, 6-ий, 9-ий ПБ (див. рис. 4.3). Результати дослідження відображено у табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Дослідження показників ефективності алгоритму поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання

Вплив кількості повторних циклів на показники ефективності алгоритму поведінки БРТС		Режим запису та напрямленого передавання		Режим запису, напрямленого передавання та відтворення	
		$P_{ув}$	$T_{сер}, с$	$P_{ув}$	$T_{сер}, с$
Кількість спроб запису і формування телеметричного кадру	0	0.979	14.33	0.966	323.73
	1	9.782e-4	15.73	9.66e-04	325.13
	2	9.772e-7	17.13	9.65e-07	326.53
	3	9.762e-10	18.53	9.64e-10	327.93
Кількість спроб передавання пакету телеметричних кадрів	0	0.979	14.33	0.966	323.73
	1	1.958e-3	16.08	1.93e-03	325.48
	2	3.917e-6	17.83	3.87e-06	327.23
	3	7.833e-9	19.58	7.73e-09	328.98
Вплив параметрів ОБ та ПБ повторних циклів на показники ефективності алгоритму поведінки БРТС		Режим запису та напрямленого передавання		Режим запису, напрямленого передавання та відтворення	
		$P_{ув}$	$T_{сер}, с$	$P_{ув}$	$T_{сер}, с$
		0,9821	14,338	0,9693	323,733
$T_8=1,05 с; p_5=0,999$		0,9821	14,338	0,9693	323,733
$T_8=1,45 с; p_5=0,95$		0,9339	14,375	0,9218	324,125
$T_8=1,85 с; p_5=0,98$		0,9634	15,136	0,9509	324,576
$T_{14}=0,35 с; p_6=0,999$		0,9821	14,338	0,9693	323,733
$T_{14}=0,75 с; p_6=0,96$		0,9820	14,808	0,9691	324,208
$T_{14}=1,05с; p_6=0,97$		0,9821	15,098	0,9692	324,521
$T_{17}=1,75 с; p_9=0,998$		0,9821	14,338	0,9693	323,733
$T_{17}=2,55 с; p_9=0,96$		0,9820	15,237	0,9683	324,638
$T_{17}=3,25с; p_9=0,98$		0,9821	15,898	0,9687	325,298

Для визначення впливу неуспішних спроб виконання АП було проведено порівняння середніх значень його часу виконання для двох варіантів конфігурацій алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання (1 – режим запису та напрямленого передавання, 2 – режим запису, напрямленого передавання та відтворення), отриманих без врахування та з врахуванням затрат часу на неуспішні спроби виконання АП. Результати цього дослідження подані в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Порівняння середніх значень часу виконання АП для двох варіантів конфігурацій алгоритмів поведінки БРТС короткотривалого використання

Конфігурації АП	Імовірність успішного виконання АП	Середнє значення тривалості виконання АП, с		Різниця між значеннями тривалостей виконання АП	
		без врахування затрат часу на неуспішні спроби	з врахуванням 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%

Отже, для БРТС короткотривалого використання неврахування затрат часу на неуспішні спроби виконання завищує середнє значення тривалості виконання АП, що може бути критичним для таких систем.

4.2. Розробка моделей для оцінки показників ефективності алгоритмів поведінки радіоелектронного комплексу моніторингу наземної обстановки

Засоби, моделі, методики, що були представлені в розділах 2 і 3 також можна застосувати для проектування іншого класу систем – радіоелектронних комплексів моніторингу наземної обстановки, для яких теж характерною є

необхідність виконання поставленої задачі із заданою надійністю протягом обмеженого короткого проміжку часу.

Одним із напрямів підвищення якості ведення розвідки стало створення нових комплексів моніторингу наземної обстановки – розвідувальних комплексів, здатних ефективно вести розвідку об'єктів (цілей) противника в умовах швидкоплинних бойових дій, динамічної зміни обстановки, активної радіоелектронної протидії зі сторони противника та управляти вогнем артилерії при виконанні вогневих завдань [113, 114].

Задача отримання розвідувальної інформації про наземну обстановку (НО), зважаючи на різнотипність та різну точність систем розвідки, відмінність набору ознак, якими описуються наземні об'єкти (цілі), є складною і актуальною, а похибки, які при цьому виникають, впливають на ефективність і стійкість рішення задач з опрацювання розвіданих даних про об'єкти (цілі).

Радіоелектронні комплекси моніторингу наземної обстановки (РКМНО) здатні викривати рухомі та нерухомі об'єкти (цілі) противника за допомогою систем спостереження, які у ньому використовуються.

До складу РКМНО входять системи розвідки – пасивні: акустичної (Аку), оптичної (Опт), оптико-електронної (ОЕС), тепловізійної (ТПВ); та активні: радіолокаційної розвідки (РЛС) та ОЕС, що встановлена на безпілотний літальний апарат (БпЛА).

Ефективність роботи такого комплексу залежить від завдань, виду бойових дій, наявності часу, метеорологічних умов, особливостей місцевості на якій ведуться бойові дії, пори року, наявності завад, матеріального забезпечення і т.п. Ефективність артилерійської розвідки РКМНО, виходячи з його цільового призначення, – це ступінь відмінності між бажаним і реальним об'ємом даних про противника, одержаних за допомогою систем розвідки РКМНО.

Показник ефективності – міра відмінності між бажаним і реальним результатом. За показник ефективності систем артилерійської розвідки прийнято ступінь викриття об'єктів противника. За об'єкт противника прийнято

окрему ціль, яка може вражатися вогнем однієї або декількох артилерійських батарей, дивізіонів (наприклад, опорний пункт взводу, вогнева позиція батареї, командний пункт батальйону і т.п.). Таким чином, для дослідження технічних характеристик та складу комплексування систем артилерійської розвідки не завжди є можливість створити реальні умови, в яких проходять бойові дії, в той же час натурні випробування РКМНО потребують великих фінансових та часових затрат. Саме тому виникає необхідність створення математичної моделі процесу взаємодії систем спостереження РКМНО з об'єктом викриття з урахуванням особливостей оперативно-тактичної обстановки [113].

4.2.1. Розробка моделі алгоритму поведінки радіоелектронного комплексу моніторингу наземної обстановки

Аналізуючи розвідувальні дані, командир приймає рішення на опрацювання об'єкту (цілі), причому якість цих рішень напряму залежить від адекватності сформованої інформаційної моделі НО. Вона повинна максимально відповідати дійсній інформації про реальну обстановку у поточний момент часу.

Широкі можливості для створення повної і достовірної інформаційної моделі НО відкриваються на пунктах управління артилерійською розвідки (ПУАР) при об'єднанні інформації від декількох незалежних розвідувальних систем, що особливо важливо в умовах інтенсивної радіоелектронної протидії.

Об'єднання інформації про НО від систем розвідки, що функціонують на різних фізичних принципах, при обробці організаційно передбачає поділ на два методи: централізований і децентралізований.

Оброблення інформації при централізованому методі проводиться на ПУАР за даними від систем розвідки. Така організація дає потенційно вищі точнісні характеристики, але вимагає значних обчислювальних затрат.

Децентралізований метод дозволяє розвантажити обчислювальні системи ПУАР, але виникає проблема спостереження наземних об'єктів (цілей), коли два або більше розвідувальних систем супроводжують один і той же наземний об'єкт (ціль) [114].

При цьому використовуються:

- комплексування розвідувальної інформації від всіх систем розвідки відбувається об'єднанням за всіма можливими варіантами групування систем, і на підставі цього приймається рішення про ідентифікацію;
- комплексування відносно опорної (ведучої) системи розвідки, коли дані системи розвідки з вищим пріоритетом об'єднується послідовно в часі з даними систем розвідки нижчих пріоритетів.

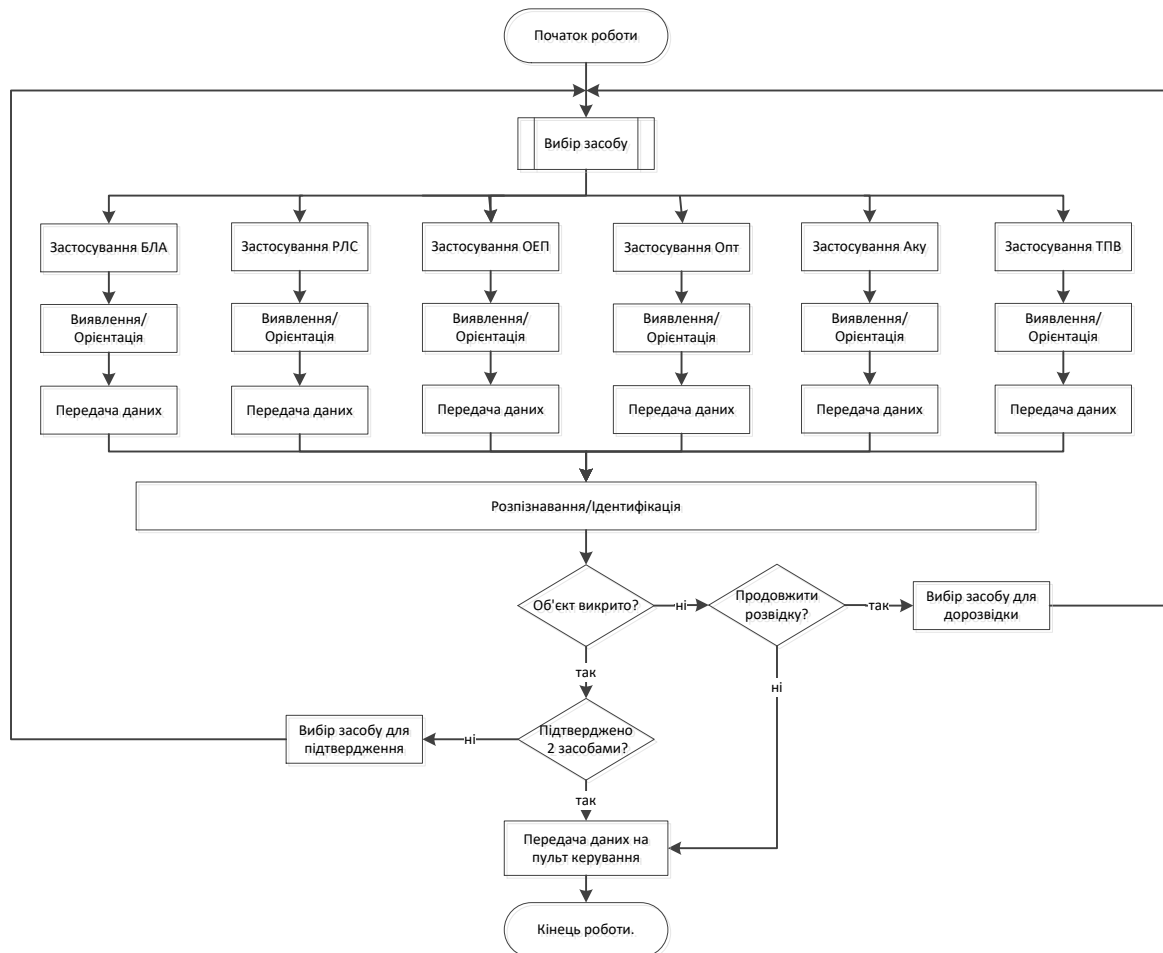


Рисунок 4.6 – Алгоритм поведінки радіоелектронного комплексу моніторингу наземної обстановки без надання пріоритету жодній системі розвідки

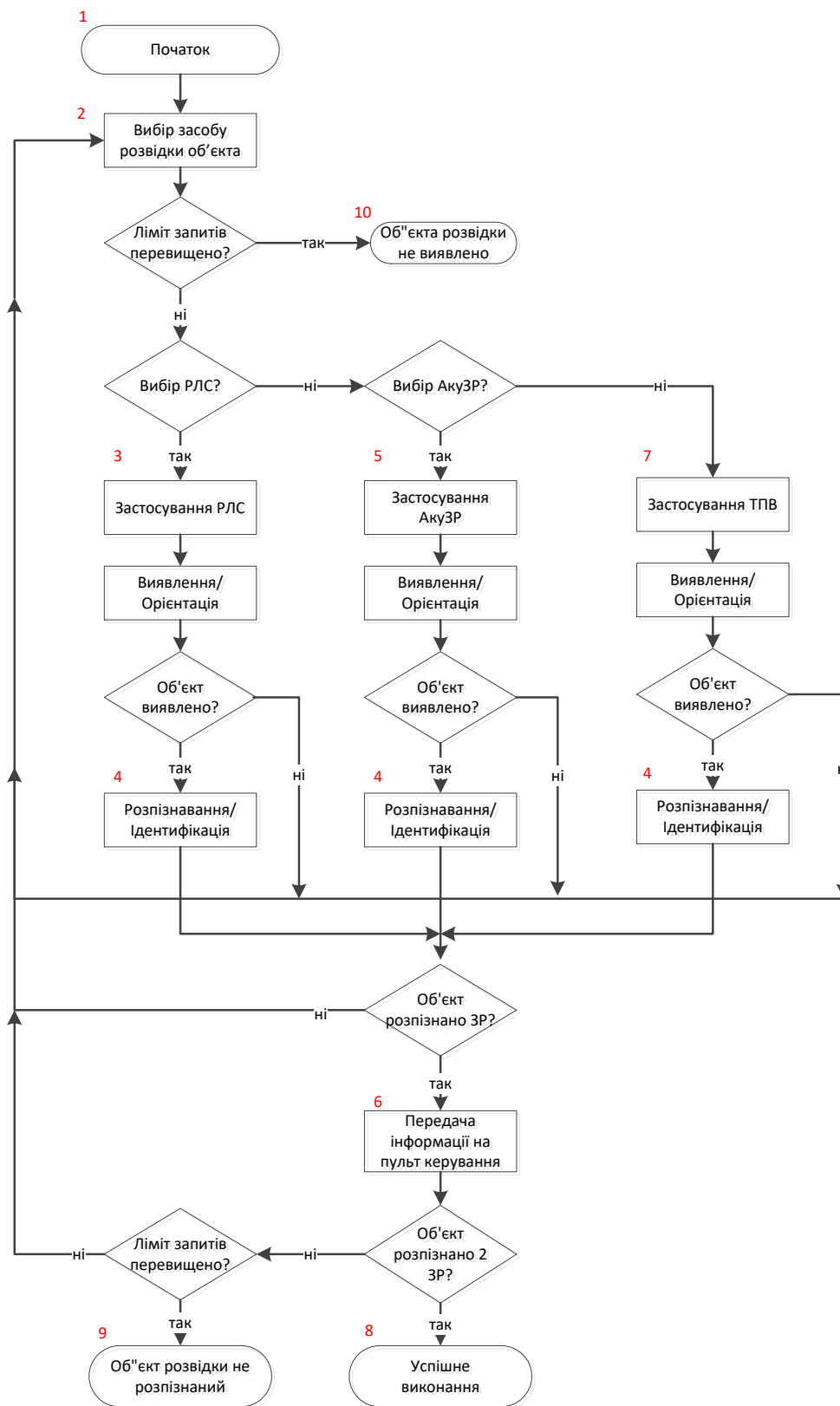


Рисунок 4.7 – Алгоритм поведінки радіоелектронного комплексу моніторингу наземної обстановки з наданням пріоритету радіолокаційній системі розвідки

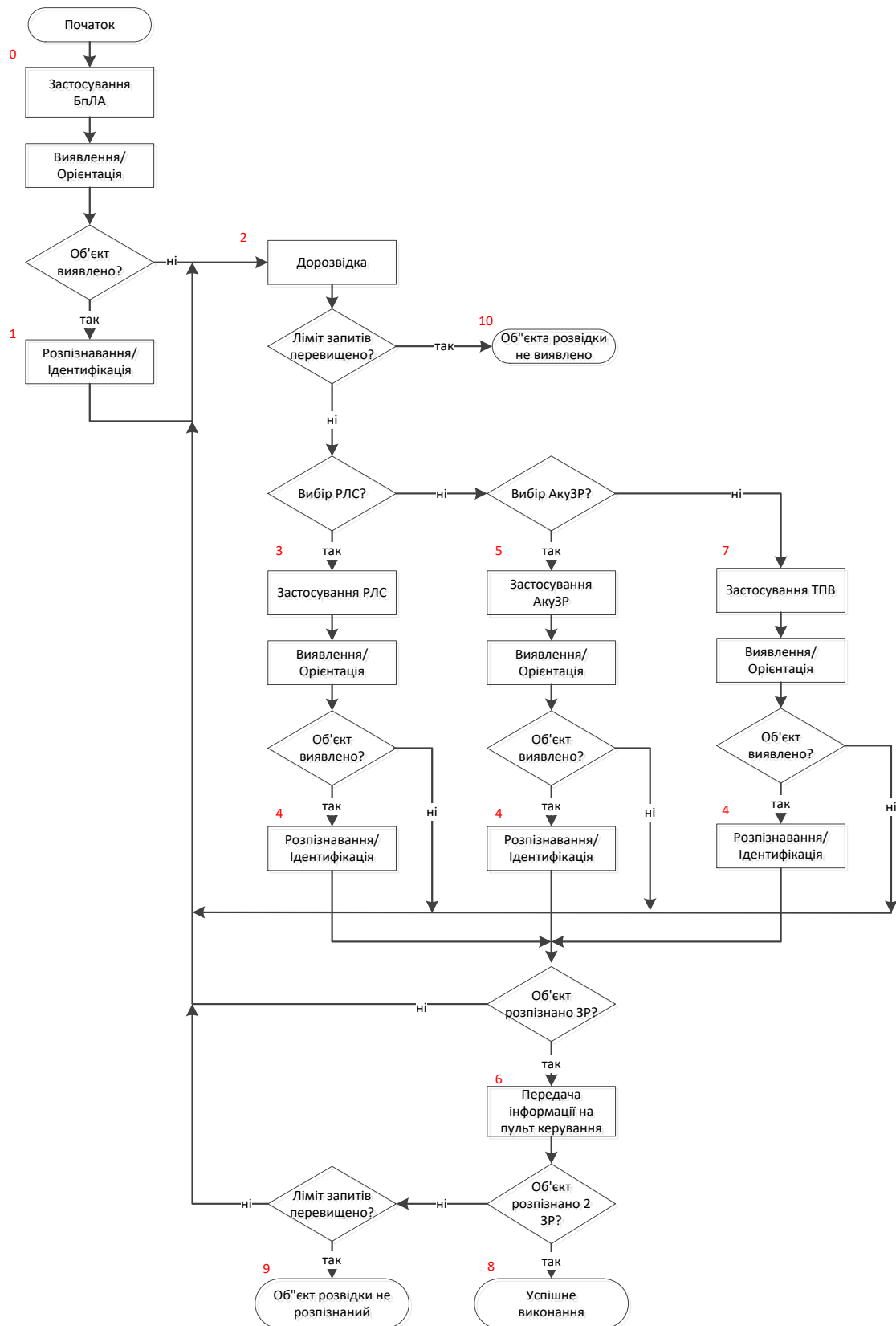


Рисунок 4.8 – Алгоритм поведінки радіоелектронного комплексу моніторингу наземної обстановки з наданням пріоритету ОЕС на БпЛА

Таким чином, запропоновані методи та алгоритми об'єднання інформації про НО від систем розвідки, що функціонують на різних фізичних принципах, на основі представленої структури, дозволять підвищити якість формування об'єднаної моделі НО та своєчасність її оновлення.

Фізично розпізнавання ґрунтується на порівнянні значень певної міри близькості об'єкту (цілі), що розпізнається, з кожним класом об'єктів. При цьому, якщо значення вибраної міри близькості (схожість) даного об'єкту(цілі) з яким-небудь класом досягає екстремуму щодо значень її по інших класах, то приймається рішення про приналежність об'єкту(цілі) даному класу. Якщо міра близькості не має екстремуму, то не можна віддати перевагу жодному з класів.

При вирішенні задачі визначення параметрів об'єкту (цілі) враховується якомога більше чинників, що впливатимуть на їх величини. Для визначення параметрів дискрет по координатах вся область визначення цієї ознаки розділяється на інтервали. Розмір інтервалів вибирається так, щоби враховувались такі чинники, як похибка вимірювання координат системою розвідки, похибка вторинної обробки інформації системою розвідки, систематична похибка орієнтування системи розвідки, похибка перерахунку координат на рухомому розвідувальному пункті, похибка визначення просторового положення системи розвідки, роздільна здатність системи розвідки. У загальному випадку розмір інтервалів змінний, залежить від віддалі до наземного об'єкту(цілі) і може змінюватися у декілька разів.

Математичне забезпечення оцінки інформативності сформованої інформаційної моделі НО реалізується у інформаційно-керуючій системі, в якій задана вирішальна функція прийняття рішення щодо значення ознак, виміряних у декількох наземних об'єктів (цілей). Таким чином інформаційна модель НО повинна давати можливість: отримання комплексного відображення реальної обстановки, своєчасного управління при її змінах; забезпечення диференційованого використання розвідувальних систем для досягнення необхідної бойової ефективності та управління вогневими засобами.

4.2.2. Розробка структурно-автоматної моделі радіоелектронного комплексу моніторингу наземної обстановки

Методика розроблення структурно-автоматної моделі комплексу розвідки об'єктів передбачає послідовне виконання окремих етапів згідно технології моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем. Перед побудовою моделей необхідно досконало вивчити особливості досліджуваної системи; визначити її складові частини; прийняти до уваги технічні характеристики кожної з них та характер її взаємодії з іншими складовими. В першу чергу визначати компоненти структурно-автоматної моделі.

Показники надійності і ефективності систем розвідки, які відображені в моделі алгоритму поведінки РКМНО: середня тривалість виконання i -го операційного блоку T_i ; ймовірність виконання i -им операційним блоком своєї функції p_i .

Обґрунтування компонент вектора стану.

Компонента V_AKU представляє стан застосування акустичної системи розвідки. Ця компонента може приймати такі значення: $V_AKU = 1$ – акустична система розвідки була застосована, $V_AKU = 0$ – акустична система розвідки не було застосовано. Початкове значення компоненти $V_AKU = 0$. Аналогічно компоненти V_OEP , V_OPT , V_RLS представляють стани застосування оптико-електронної, оптичної та радіолокаційної систем розвідки відповідно. Компонента V_ZST представляє поточне значення кількості застосованих систем розвідки. Ця компонента може приймати такі значення: $V_ZST = 0, 1, \dots, 4$. Початкове значення компоненти $V_ZST = 0$. Компонента V_POR представляє поточне значення кількості застосованих систем розвідки, які виявили об'єкт. Ця компонента може приймати такі значення: $V_POR = 0, 1, \dots, 3$. Початкове значення компоненти $V_POR = 0$. Компонента V_RID представляє стан виявлення та розпізнавання об'єкта розвідки. Ця компонента може приймати такі значення: $V_RID = 0, 11, 12, 13, 21, 22, 23$. Початкове значення компоненти $V_RID = 0$. $V_RID = 11$ – об'єкт виявлено і розпізнано більше, ніж одним пасивною системою розвідки; $V_RID = 12$ – об'єкт виявлено,

але не розпізнано пасивною системою розвідки і потребує дорозвідки активною системою; $V_RID = 13$ – об’єкт не виявлено жодною пасивною системою розвідки; $V_RID = 21$ – об’єкт виявлено і розпізнано за даними пасивних та активних систем розвідки; $V_RID = 22$ – об’єкт виявлено, але не розпізнано за даними пасивних та активних систем розвідки; $V_RID = 23$ — об’єкт не виявлено жодною пасивною чи активною системою розвідки.

Умова успішного виконання цільової функції комплексу розвідки об’єктів, що розглядається, настає тоді, коли об’єкт об’єкт виявлено та розпізнано за даними щонайменше двох лише пасивних або і пасивних, і активних систем розвідки. Формалізоване представлення умови успішного виконання цільової функції має такий вигляд: $(V_RID = 11) \text{ OR } (V_RID = 21)$.

Умова задовільного виконання цільової функції комплексу розвідки об’єктів, що розглядається, настає тоді, коли об’єкт об’єкт виявлено, але не розпізнано за даними лише пасивних або і пасивних, і активних систем розвідки. Формалізоване представлення умови задовільного виконання цільової функції має такий вигляд: $(V_RID = 12) \text{ OR } (V_RID = 22)$.

Умова невиконання цільової функції комплексу розвідки об’єктів, що розглядається, настає тоді, коли об’єкт не виявлено жодною пасивною чи активною системою розвідки. Формалізоване представлення умови невиконання цільової функції має такий вигляд: $V_RID = 23$.

4.2.3. Дослідження моделей алгоритмів поведінки радіоелектронного комплексу моніторингу наземної обстановки

Використавши методику побудови і дослідження САМ, представлену в розділі 3, було визначено показники ефективності алгоритму поведінки РКМНО – імовірність виявлення об’єктів (цілей) для трьох варіантів реалізації: без надання пріоритету жодній з систем розвідки, що входять до складу РКМНО, з наданням пріоритету РЛС та з наданням пріоритету ОЕС, встановленій на БПЛА.

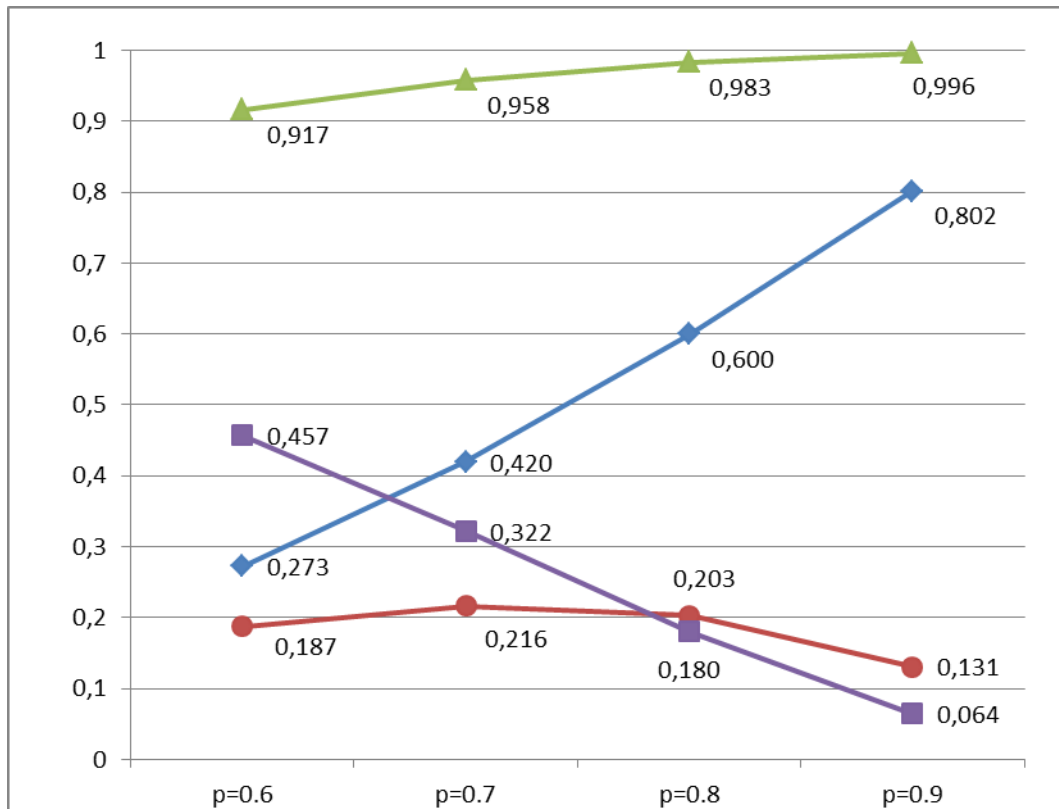


Рисунок 4.9 – Залежність імовірності виконання задачі розвідувальним комплексом від тактико-технічних характеристик систем розвідки (ймовірність виявлення системою розвідки об'єктів (цілей) при різних умовах наземної обстановки і протидії з боку противника) для варіанту без надання пріоритету жодній з систем розвідки:

- ▲ – ймовірність виявлення об'єктів (цілей) активними і пасивними системами розвідки;
- ◆ – ймовірність виявлення і розпізнавання об'єктів (цілей) пасивними системами розвідки;
- – ймовірність виявлення і розпізнавання об'єктів (цілей) активними системами розвідки;
- – ймовірність виявлення, але нерозпізнавання об'єктів (цілей) активними і пасивними системами розвідки.

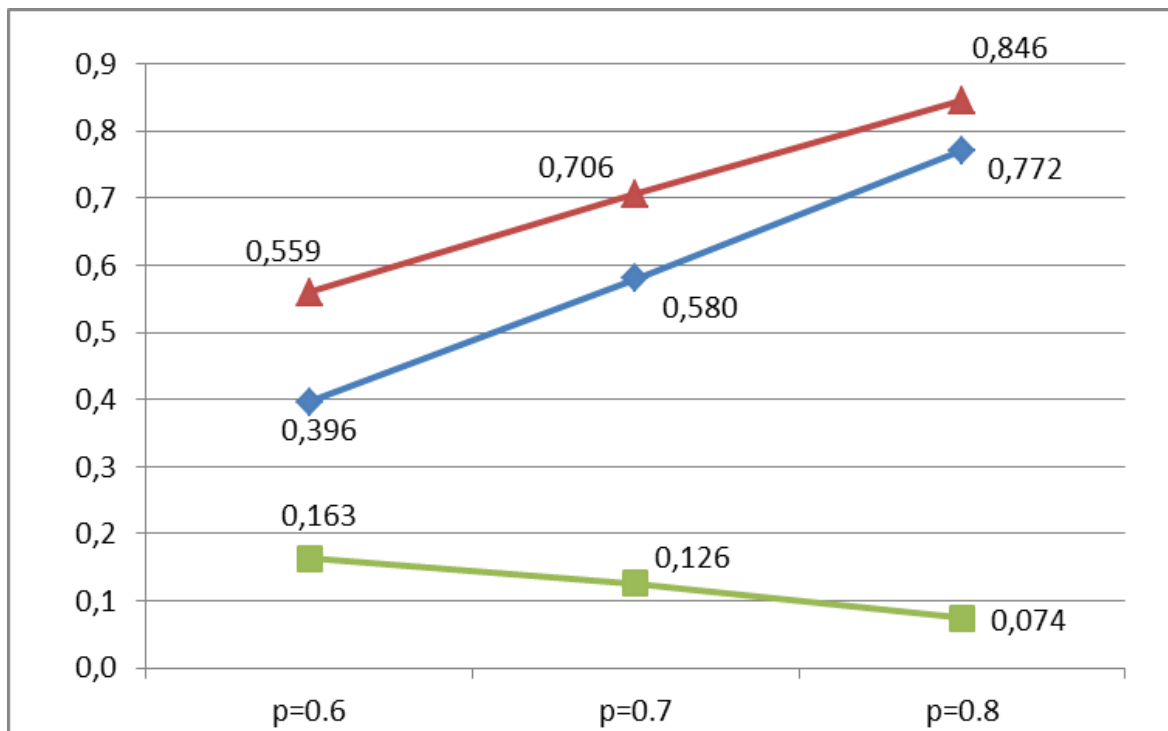


Рисунок 4.10 – Залежність імовірності виконання задачі розвідувальним комплексом від тактико-технічних характеристик систем розвідки (ймовірність виявлення системою розвідки об'єктів (цілей) при різних умовах наземної обстановки і протидії з боку противника) для варіанту з наданням пріоритету радіолокаційній системі:

- ▲ – ймовірність виявлення об'єктів (цілей) активними і пасивними системами розвідки;
- ◆ – ймовірність виявлення і розпізнавання об'єктів (цілей) активними і пасивними системами розвідки системами розвідки; розвідки;
- – ймовірність виявлення, але нерозпізнавання об'єктів (цілей) активними і пасивними системами розвідки.

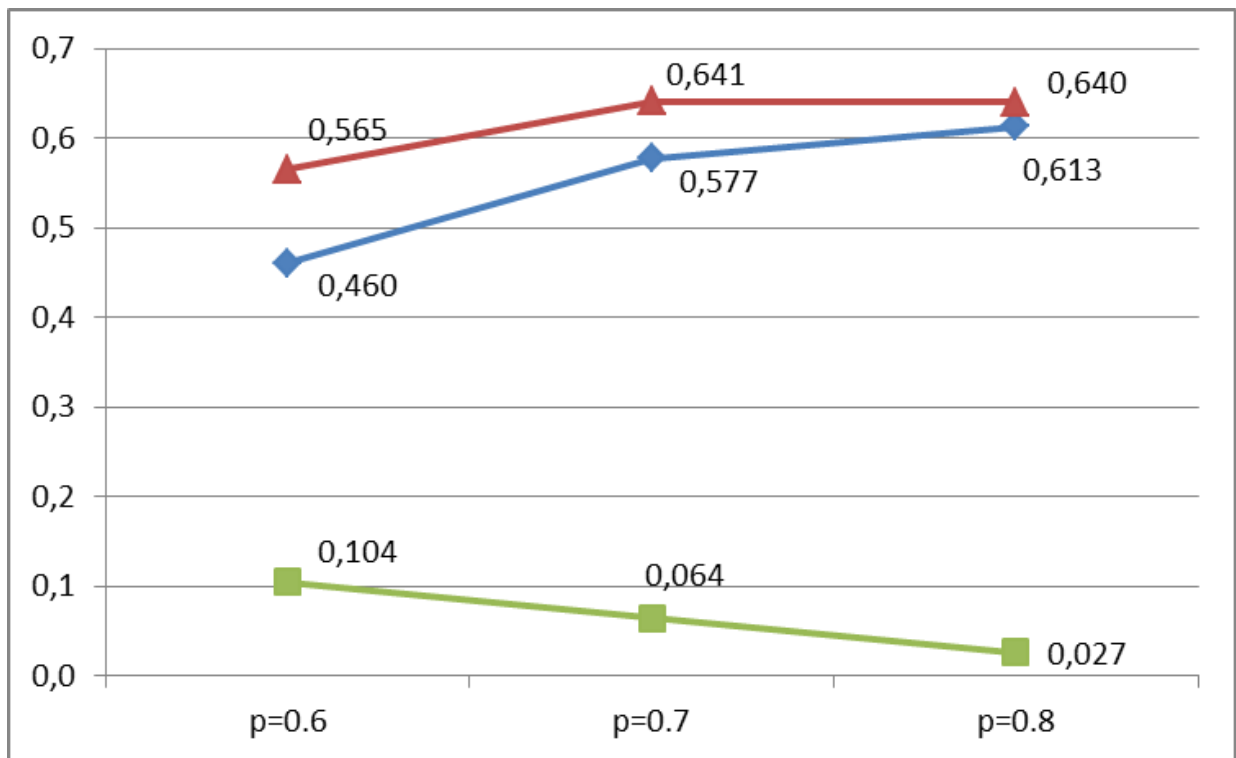


Рисунок 4.11 – Залежність ймовірності виконання задачі розвідувальним комплексом від тактико-технічних характеристик систем розвідки (ймовірність виявлення системою розвідки об'єктів (цілей) при різних умовах наземної обстановки і протидії з боку противника) для варіанту з наданням пріоритету ОЕС безпілотної літальної апарата:

- ▲ – ймовірність виявлення об'єктів (цілей) активними і пасивними системами розвідки;
- ◆ – ймовірність виявлення і розпізнавання об'єктів (цілей) активними і пасивними системами розвідки;
- – ймовірність виявлення, але нерозпізнавання об'єктів (цілей) активними і пасивними системами розвідки.

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

4.3. Висновки до розділу 4

1. Розглянуто і вирішено задачу багатоваріантного аналізу показників ефективності алгоритму поведінки радіотелеметричної системи короткотривалого використання методом схеми шляхів, що дозволило значно скоротити часові затрати на етапі системотехнічного проектування даної системи.

2. За допомогою розробленої методики моделювання було побудовано математичну модель алгоритму поведінки радіотелеметричної системи короткотривалого використання, яка враховує структуру досліджуваної системи, її технічні характеристики, особливості функціональної поведінки, що знайшла застосування на етапі системотехнічного проектування досліджуваної системи.

3. Розроблено нову модель алгоритму поведінки радіотелеметричної системи короткотривалого використання, в якій враховано:

- наявність циклів та кількості їх повторень для відтворення не лише надійнішої, а й функціональної поведінки;
- використання часової надлишковості АП, процедур підключення самоконтролю і діагностики апаратних засобів;
- наявність стохастичних і детермінованих переходів для перемикання між складовими частинами системи та реалізації виходу з циклу за певної умови.

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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. An ECG Telemetry System. Part 2: Design / [Martin Jackson, Shyam Patel, Ramanan Rajaraman, Amrit Sharma, Mark Thomas, Ashwin Thurairajah]. – London: Imperial College, 2004. – 44 p.
2. Angulo M. Implementation of Computer and Telemetry Subsystems Link, on a Nano-Satellite System / Marlenne Angulo, Marco A. Turrubiartes. // Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. – 2012. – P. 901–904.
3. Austin T. C. A Network-Based Telemetry Architecture Developed for the Martha's Vineyard Coastal Observatory / Thomas C. Austin, James B. Edson, Wade R. McGillis, Michael Purcell, Robert A. Petitt, Jr., Marguerite K. McElroy, Carlton W. Grant, Jonathan Ware, Sheila K. Hurst // IEEE Journal of Oceanic Engineering. – 2002. – Vol. 27. – No. 2. – P 228–234.
4. Bouali M. Backward Reachability of Colored Petri Nets for Systems Diagnosis / M. Bouali, P. Barger, W. Schon // Reliability Engineering and System Safety. – 2012. – Vol. 99. – P. 1–14.
5. Breathing Apparatus Telemetry System Interference Study. – AEGIS Systems Limited. – 2012. – 60 p.
6. Building a Perfect Industrial Telemetry System [Stanley Liu] – MOXA Inc., 2009. – 13 p.
7. Chandrasekaran A. The Design of the Communication and Telemetry System Used by the Ionospheric Observation Nanosatellite-Formation (Ion-F): A thesis ... for the degree of Master of Science / Anuradha Chandrasekaran. – Logan, 2002. – 146 p.
8. Corry D. Telemetry, Telecommand and Telecontrol – one system solves all / Diarmuid Corry, Phu Nguyen // 37th Annual International Symposium, Proceedings. – 2006. – P. 104–112.
9. Cyclone-4 Launch Vehicle. User's Guide. Alcantara Cyclone Space. Issue 1, October 2010. – 2010. – 190 p.

10. Dabrowski C. Using Markov Chain and Graph Theory Concepts to Analyze Behavior in Complex Distributed Systems / Christopher Dabrowski, Fern Hunt // 23rd European Modeling and Simulation Symposium, Proceedings. – 2011. – P. 659–668
11. Data Acquisition and Analysis. – ADInstruments. – 2012. – 164 p.
12. Emerson S. Telemetry System for Reliable Recording of Action Potentials From Freely Moving Rats / Emerson S. Hawley, Eric L. Hargreaves, John L. Kubie, Bruno Rivard, Robert U. Muller // Hippocampus. – 2002. – Vol. 12. – Issue 4. – P. 505–513.
13. Fedak M. Overcoming the Constraints of Long Range Radio Telemetry from Animals: Getting More Useful Data from Smaller Packages / Mike Fedak, Phil Lovell, Bernie McConnell, Colin Hunter // Integ. and Comp. Biol. – Vol. 42. – Issue 1. – 2002. – P. 3–10.
14. Integration of Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System Concept of Operations V2.0. – Federal Aviation Administration. – 2012. – 120 p.
15. Jones J. An Architecture for Telemetry-Based Systems to Control Remote Devices via GPRS / Jim Jones, Vanilson Burégio, Gabor Sipkoi // Revista Científica Tecnológica. – 2007. – №8. – 10 p.
16. Joshi A. Behavioral Fault Modeling for Model-Based Safety Analysis / Anjali Joshi, Mats P. E. Heimdahl // Proceedings of 10th IEEE High Assurance Systems Engineering Symposium, 2007.– P. 199–208.
17. Koren I. Fault Tolerant Systems / Israel Koren, C. Mani Krishna – San Francisco: Elsevier Morgan Kaufmann Publishers, 2007. – 387 p.
18. Lacher A. Airspace Integration Alternatives for Unmanned Aircraft / Andrew Lacher, Andrew Zeitlin, David Maroney, Kelly Markin, Duane Ludwig, Joe Boyd // AUVSI's Unmanned Systems Asia-Pacific, Proceedings. – 2010 – P. 159–188.
19. Levine S. The Remote Aircraft Flight Recorder and Advisory Telemetry System-RAFT (patent pending) and its Application to Unifying the Total Digital

Avionics System / S. Levine // Digital Avionics Systems Conference, Proceedings. – 1998. – P. J14-1–J14-10.

20. Madala H. R. Inductive Learning Algorithms for Complex Systems Modeling / Hema R. Madala, A. G. Ivakhnenko. – Boca Raton: CRC Press, Inc., 2000. – 368 p.

21. Magott J. Timing Analysis of Safety Properties Using Fault Trees with time Dependencies and Timed State-Charts / J. Magott, P. Skrobanek // Reliability Engineering and System Safety. – 2012. – Vol. 97. – P. 14–26.

22. Markham A. On a Wildlife Tracking and Telemetry System: A Wireless Network Approach: A thesis ... for the degree of Doctor of Philosophy / Andrew Markham. – Cape Town, 2008. – 285 p.

23. Matsuoka T. An Exact Method for Solving Logical Loops in Reliability Analysis / Takeshi Matsuoka // Reliability Engineering and System Safety. – 2009. – Vol. 94. – P. 1282–1288.

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

25. Papadopoulos Y. Analysis and Synthesis of the Behaviour of Complex Programmable Electronic Systems in Conditions of Failure / Y. Papadopoulos, J. McDermid, R. Sasse, G. Heiner // Reliability Engineering and System Safety. – 2001. – Vol. 71. – P. 229–247.

26. Peterson J. L. Petri Net Theory and the Modeling of Systems / James L. Peterson. – Englewood Cliffs: Prentice Hall Inc., 1981. – 290 p.

27. Peterson J. L. Petri Nets / James L. Peterson // Computing Surveys. – 1977. – Vol. 9. – No. 3 – P. 223–252.

28. Pham H., Handbook of Reliability Engineering / Hoang Pham – London: British Library Cataloguing in Publication Data, 2003. – 696 p.

29. Philips Telemetry System. Instructions for Use. – Philips Medical Systems. – 2002. – 244 p.

30. Rae A. A Behavior-Based Method for Fault Tree Generation/ Andrew Rae, Peter Lindsay // International System Safety Conference. – 2004. – p. 34–41.
31. Sadou N. Reliability Analysis of Discrete Event Dynamic Systems with Petri Nets / N. Sadou, H. Demmou // Reliability Engineering and System Safety. – 2009. – Vol. 94. – P. 1848–1861.
32. Schnädelbach H. Performing Thrill: Designing Telemetry Systems and Spectator Interfaces for Amusement Rides / Holger Schnädelbach, Stefan Rennick Egglestone, Stuart Reeves, Steve Benford, Brendan Walker, Michael Wright // Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – 2008. – P. 1167–1176.
33. Sohag M. A. Telemetry System in the Irrigation Network / Mumtaz Ahmed Sohag, Ali Asghar Mahessar // National Conference on Emerging Technologies, Proceedings. – 2004. – P. 162–166.
34. Srinagesh M. ECG Wireless Telemetry / M. Srinagesh, P. Sarala, K. Durga Aparna // International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT). – 2013. – Volume 2. – Issue 8. – P. 75–78.
35. Svobodová J. Parallel Computing and Neural Networks in Behavioral Modeling. Brno University of Technology : A doctoral thesis ... / Jitka Svobodová. – Brno, 2012. – 62 p.
36. Tehrani A. S. Behavioral Modeling of Radio Frequency Transmitters. Chalmers Reproservice: Thesis for The Degree of Licentiate of Engineering / Ali Soltani Tehrani. – Göteborg, 2009. – 63 p.
37. Telemetry (TM) Systems Radio Frequency (RF) Handbook. Document 120-0. – Telemetry Group. RF Systems Committee. – 2008. – 133 p.
38. Telemetry Data Decoding. – Deep Space Network. – 2013. – 38 p.
39. Telemetry for Water Networks. – Schneider Electric. – 2012. – 12 p.
40. Telemetry Solutions for Weapon Separation Testing [Edward S. Getson] – Test & Evaluation Engineering Department of the U.S. Naval Air Systems Command. – 2011. – 12 p.

41. Telemetry Standards. IRIG Standard 106-04. Part I. – Telemetry Group. Range Commanders Council. – 2004. – 495 p.
42. Telemetry Tutorial. Revision C, 2009. – Andoya Rocket Range – 2009 – 10 p.
43. Telemetry, Tracking, Communications, Command and Data Handling / [Cengiz Akinli, Matthew Gamache, Matthew Rose, Andrew Rost, James Sales, James Tang] – 2004. – 172 p.
44. Thomas S. J. A Battery-Free Multi-Channel Digital Neural/EMG Telemetry System for Flying Insects / Stewart J. Thomas, Reid R. Harrison, Anthony Leonardo, Matthew S. Reynolds // Biomedical Circuits and Systems, IEEE Transactions on. – 2012. – Volume 6. – Issue 5. – P. 424–436.
45. Valdastrì P. An Implantable Telemetry Platform System for In Vivo Monitoring of Physiological Parameters / Pietro Valdastrì, Arianna Menciassi, Alberto Arena, Chiara Caccamo Paolo Dario // Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on. – 2004. – Vol. 8. – No. 3. – P. 271–278.
46. Vasilyev D. A More Reliable Reduction Algorithm for Behavioral Model Extraction / D. Vasilyev, J. White // Proc. of Int. Conf. on Computer Aided Design. – 2005. – P. 812–819.
47. Volochiy B. Automation of Building Fault Tree for Assessing Operational Safety of Fault-Tolerant Hardware/Software Systems / Volochiy B., Ozirkovskyy L., Mashchak A., Shkilyuk O. // Матеріали Міжнародної конференції з інформаційно-телекомунікаційних технологій та радіоелектроніки (UkrMiKo'2016/UkrMiCo'2016), Київ, 2016. – С. 491-494.
48. Volochiy B. Estimation of Indexes of Efficiency of Radioelectronic Hardware-Software Systems Based on the Algorithm of Behavior / B. Volochiy, L. Ozirkovskyy, O. Shkilyuk, 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.

49. Volochiy B. Extending the Features of Software for Reliability Analysis of Fault-Tolerant Systems / Bohdan Volochiy, Bohdan Mandziy, Leonid Ozirkovskyi // Computational Problems of Electrical Engineering. – 2012. – Vol. 2. – Number 2. – P. 113–121.

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

51. Volochiy B. Yu. Defining Minimal Cut Sets Based On Markov Model / Volochiy B.Yu., Ozirkovskyi 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.

52. 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, Vol. 13, Issue 3, 2014, pp. 183-190.

53. Wireless Telemetry System for Solar Car. ECE4007 Senior Design Project. – Solar Jackets Telemetry. – 2010. – 30 p.

54. Zupei S. A Supplemental Algorithm for the Repairable System in the GO Methodology / Shen Zupei, Dai Xingjian, Huang Xiangrui // Reliability Engineering and System Safety. – 2006. – Vol. 91. – P. 940–944.

55. Zupei S. An Exact Algorithm Dealing with Shared Signals in the GO Methodology / Shen Zupei, Gao Jiab, Huang Xiangrui // Reliability Engineering and System Safety. – 2001. – Vol. 73. – P. 177–181.

56. Акбулатов Т. О. Телеметрические системы в бурении / Т. О. Акбулатов, Л. М. Левинсон, М. Р. Мавлютов. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 1999. – 65 с

57. Ашеро́в А. Т., Сажко Г. І. Ергономіка інформаційних технологій: оцінка, проектування, експертиза / А. Т. Ашеро́в, Г. І. Сажко. – Харків: УПА, 2005. – 243 с.
58. Бабин А. И. Радиосети передачи данных и телеметрии: АСУ ТП, АСКУЭ / А. И. Бабин // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 12. – С. 335–338.
59. Базулев А. Разработка систем телеметрии с применением технологии беспроводной передачи данных / А. Базулев // *Новости электроники*. – 2010. – № 4. – С. 13–15.
60. Бе́ляев В. П. Моделювання та оцінка ефективності локального радіоелектронного комплексу / В. П. Бе́ляев, Б. Ю. Волочі́й, А. В. Грабчак, М. В. Міськів, Л.Д. Озірковський // *Відбір і обробка інформації*. Національна академія наук України. Міжвідомчий збірник наукових праць. – 1999. – Вип. 13 (89). – С. 65–70.
61. Бе́ляев В. П. Оцінка ефективності методів розрахунку показників зв'язності в структурному аналізі радіоелектронних комплексів / В. П. Бе́ляев, Б. Ю. Волочі́й, Л. Д. Озірковський, М. В. Павлів // *Міжвідомчий науково-технічний збірник «Теоретична електротехніка»*. – Львів: Вид-во “Світ”. – 1998. – Вип. 54. – С. 87–93.
62. Бенево́льский С. В. Анализ телеметрии с космического аппарата «Юбилейный» / С. В. Бенево́льский, В. И. Майорова, Д. А. Гришко, Н.Н. Ханеня // *Наука и образование: электронное научно-техническое издание*. – 2011. – №8. С. 1–9.
63. Бобало Ю. Я. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем. Монографія / Ю.Я.Бобало, Б. Ю. Волочі́й, О. Ю. Лозинський, Б. А. Мандзій, Л.Д. Озірковський, Д. В. Федасюк, С. В. Щербовських, В. С. Яковина. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 300 с.
64. Богом'я В. І. Оцінка стану космічних апаратів / В. І. Богом'я // *Водний транспорт*. – 2013. – Вип. 1. – С. 168–172.

65. Бортовой самописец с системой телеметрии SeaBox для маломерного судна. – ООО «Инновационные приборы». – 2013 – 12 с.

66. Владов М. Бортовая система телеметрического контроля летательного аппарата / М. Владов, Д. Добров, Г. Сотиров, Р. Недков // Труды научной конференции с международным участием «Космос, экология, безопасность». – 2011 – С. 106–113.

67. Волочий Б. Ю. Проектирование отказоустойчивых микропроцессорных информационно-измерительных систем / Б. Ю. Волочий, И. Д. Калашников, Р. Б. Мазепа, Б. А. Мандзий. – Львів: Вища школа, 1987. – 152 с.

68. Волочий Б. Ю. Автоматизация побудови дерева відмов для оцінки безпечності експлуатації складних технічних систем / Волочий 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.

69. Волочий Б. Ю. Автоматизация побудови дерева відмов для оцінки надійності та безпечності відмовостійких систем з відновленням / Волочий 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.

70. Волочий Б. Ю. Алгоритм автоматизованої побудови дерева відмов для оцінки безпечності експлуатації телекомунікаційних систем / Волочий 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.

71. Волочий Б. Ю. Марковська модель як засіб комплексного моделювання інформаційних систем з функціональним резервуванням / Б. Ю. Волочий, Л. Д. Озірковський, Д. О. Улибін // Вісник Національного

університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. – 2003. – №470. – С. 101–109.

72. 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.

73. 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.

74. 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.

75. 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.

76. 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.

77. 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.

78. 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.

79. 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.

80. 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.

81. Волочій Б. Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем / Б. Ю. Волочій. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2004. – 220 с.

82. 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.

83. Вольгемут Э.А. Разработка основ телеметрической системы контроля забойных параметров в процессе бурения с гидравлическим каналом связи / Э. А. Вольгемут, С. В. Греков // Нефтегазовое дело. – 2005. – Том 3. – С. 55–69.

84. Горюнов А. Г. Телеконтроль и телеуправление / А. Г. Горюнов, С. Н. Ливенцов, Ю. А. Чурсин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 130 с.

85. Гриф М. Г. Автоматизация проектирования процессов функционирования человеко-машинных систем на основе метода последовательной оптимизации / М. Г. Гриф, Е. Б. Цой – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 264 с.
86. Губинский А. И. Надежность и качество функционирования эргатических систем / А. И. Губинский. – Л.: Наука. – 1982. – 270 с.
87. Дружинин В. В. Основы военной системотехники / В. В. Дружинин, Д. С. Конторов – М.: ВИРТА, 1983. – 417 с.
88. Дружинин В. В. Проблемы системологии. Проблемы теории сложных систем / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов – М.: Советское радио, 1976. – 296 с.
89. Дружинин В. В. Системотехника / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов. – М.: Радио и связь, 1982. – 200 с.
90. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем / Г. В. Дружинин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
91. Дружинин Г. В. Надёжность автоматизированных систем / Г. В. Дружинин. – М.: Энергия, 1977. – 536 с.
92. Ельцов А. ПЛК323 – комплексный подход для телеметрии / Андрей Ельцов // Автоматизация и производство. – 2013. – №1. – С. 1–4.
93. Емельянова Ю. Г. Нейросетевая система контроля датчиков углов ориентации и дальности космического аппарата / Ю. Г. Емельянова, К.А.Константинов, С. В. Погодин, А. А. Талалаев, И. П. Тищенко, В.П. Фраленко, В. М. Хачумов // Программные системы: теория и приложения. – 2010 – № 1(1) – С. 45–59.
94. Инструкция по эксплуатации системы радиоуправления и телеметрии Rockwell Dualband FPV v. 1.2.9. – 2012. – 21 с.
95. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытания. Справочник / [Адаменко А. Н., Губинский А. И., Ротштейн А. П. и др.] – М.: Машиностроение, 1993. – 528 с.

96. Иьуду К. А. Математическое модели отказоустойчивых вычислительных систем / К. А. Иьуду, С. А. Кривошеков. – М.: Изд-во МАИ, 1989. – 144 с.
97. Иьуду К. А. Надежность, контроль и диагностика вычислительных систем / К. А. Иьуду. – М.: Высшая школа, 1989. – 216 с.
98. Капур К. Надежность и проектирование систем / К. Капур, Л. Ламберсон; [пер. с англ. под ред. И.А. Ушакова] – М.: Мир, 1980. – 606 с.
99. Кудрявцев А.В. Повышение информативности измерений вибрации системой погружной телеметрии / А. В. Кудрявцев, И. Р. Енгальчев, А. Н. Китабов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2011. – №2. – С. 4–14.
100. Куц А. В. Синтез алгоритмов и моделей аналого-цифровых преобразований в системах телеметрического контроля ракетно-космической техники 05.07.07 – «Контроль и испытание летательных аппаратов и их систем» / Куц Александр Валентинович. – М., 2011. – 22 с.
101. Лысак А.Б. Разработка системы вибромониторинга на основе технологии ZigBee / А. Б. Лысак // Математические структуры и моделирование. – 2011. – Вып. 24. – С. 75–84.
102. Можаяев А. С. Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем / А. С. Можаяев, В. Н. Громов. – СПб.: ВИТУ, 2000 – 145 с.
103. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем./ А. С. Можаяев. – Л.: ВМА, 1988. – 68 с.
104. Мушовец К. В. Логико-вероятностный анализ надежности бортовой информационной телеметрической системы космического аппарата: дис. соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации» / Мушовец Константин Владимирович. – Красноярск, 2013. – 115 с.

105. Надёжность автоматизированных систем управления: / [И.О.Атовмян, А. С. Вайрадян, Ю. П. Руднев, Ю. Н. Федосеев, Я.А. Хегатуров]; под ред. А.Я. Хегатурова. – М.: Высшая школа, 1979. – 287 с.

106. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 т. / [Ред. совет: В. С. Авдучевский и др.]; Т. 3. Эффективность технических систем [В. У.Торбин, Г. Н. Охотников, Е. С. Егоров и др.]; под общ. ред. В. Ф. Уткина и Ю. В. Крючкова. – М., Машиностроение, 1988. – 328 с.

107. Надійність техніки. Методи розрахунків показників надійності. Загальні вимоги: ДСТУ 2862-94. [Затверджено і введено в дію: наказ Держспоживстандарт № 310 від 08.12.1994 р.]. – К.: Держспоживстандарт України, 1994. – 38 с.

108. Негойцэ К. Применение теории систем к проблемам управления / К. Негойцэ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1981. – 180 с.

109. Нозик А. А. Оценка надежности и безопасности структурно-сложных технических систем: дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации» / Нозик Александр Абрамович. – СПб., 2005. – 156 с.

110. Оборудование радиотелеметрическое. Термины и определения: ГОСТ 19619-74. [Постановление Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 27 марта 1974 г. № 702. Дата введения установлена 01.07.1975]. Изменение №1 к ГОСТ 19619-74 от 01.12.1979. Текст поправки интегрирован в текст или описание стандарта. – М.: Стандартинформ, 2005. – 20 с.

111. Озірковський Л.Д. Розробка засобів оцінки ефективності алгоритмів пошуку і виявлення цілей прицільних радіоелектронних комплексів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.12.17 / Озірковський Леонід Деонісійович. – Львів: – 2002. – 154 с.

112. 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.

113. 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.

114. Петлюк І.В. Інформаційна модель процесу формування розвідувальної панорами наземної обстановки / І. В. Петлюк, А. М. Зубков, О.І. Петлюк // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). Технічні науки. - 2016. - Вип. 2. - С. 36-41.

115. Плесовских А. К. Методы и средства совместной оптимизации структуры и состава аппаратуры бортовой телеметрической системы: автореф. дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации» / Плесовских Александра Константиновна. – М., 2008. – 20 с.

116. Радиотехнические системы / [Ю.П. Грищин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др.]; под ред. Ю.М. Казаринова – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.

117. Райншке К. Оценка надежности систем с использованием графов / К. Райншке, И. А. Ушаков; [Под ред. И.А. Ушакова]. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.

118. Ротштейн А. П. Вероятностно-алгоритмические модели человеко-машинных систем / А. П. Ротштейн // Автоматика. – 1987. – № 5. – С. 81–86.

119. Ротштейн А. П. Нечеткая надежность алгоритмических процессов / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба. – Вінниця: Континент-ПРИМ, 1997. – 142 с.

120. Ротштейн А. П. Проектирование бездефектных человеко-машинных технологий / А. П. Ротштейн, П. Д. Кузнецов. – К.: Техніка. – 1992. – 180 с.

121. Ротштейн А. П. Прогнозирование надежности алгоритмических процессов при нечетких исходных данных / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба // Кибернетика и системный анализ. – 1998. – №4. – С. 85–93.

122. Ротштейн А. П. Проектирование процессов функционирования человеко-машинных систем / А. П. Ротштейн. – К.: Знание, 1987. – 19 с.

123. Ротштейн О. П. Моделювання та оптимізація надійності багатовимірних алгоритмічних процесів / О. П. Ротштейн, С. Д. Штовба, О. М. Козачко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 211 с.

124. Ротштейн О. П. Нечітке прогнозування надійності алгоритмів з урахуванням помилок різних типів / О. П. Ротштейн, С. Д. Штовба, О. М. Козачко // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2005. – №4 – С. 77–85.

125. Рябинин И. А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / И. А. Рябинин, Г. Н. Черкесов. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.

126. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И. А. Рябинин. – СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.

127. Рябинин И. А. Надежность, живучесть и безопасность корабельных электроэнергетических систем / И. А. Рябинин, Ю. М. Парфенов. – СПб.: ВМА, 1997. – 431 с.

128. Саркисян Х. В. Использование «деревьев» поиска состояний для поддержки принятия решений при комплексной оперативной оценке бортовых систем космического аппарата / Х. В. Саркисян, М. М. Матюшин // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2011. – №5. – С. 1–11.

129. Сафонов И. В. Надежностный анализ систем с контролем и коррекцией / И. В. Сафонов // Проблемы надежности при проектировании цифровых автоматов. – К.: Знание. – 1972. – С. 23–30.

130. Сафонов И. В. Надежностное проектирование алгоритмов управления / И.В. Сафонов – Владивосток, ВИНТИ, 1982 – 157 с.

131. Сафонов И. В. Надежностное проектирование структурно-алгоритмических систем / И. В. Сафонов – К.: Знание. – 1975.– 37 с.
132. Сафонов И. В. О формализованном надежностном анализе алгоритмических процессов / И. В. Сафонов // Управляющие системы и машины. – 1973. – № 6. – С. 92–95.
133. Система погружной телеметрии «ЭЛЕКТОН-ТМС-3». Руководство по эксплуатации. ЦТКД 228 РЭ. – 2014. – 36 с.
134. Советов Б. Я. Моделирование систем / Советов Б.Я., Яковлев С.А. – М.: Высшая школа, 2001. – 343 с.
135. Современная телеметрия в теории и на практике / [Назаров А. В., Козырев Г. И., Шитов И. В. и др.]; СПб.: Наука и техника, 2007. – 672 с.
136. Стеценко І. В. Моделювання систем / Стеценко І.В. – Черкаси: ЧДТУ, 2010. – 399 с.
137. Телеметрические системы НПП «МЕРА». – 2010 – 6 с.
138. Теслюк В. М. Формалізоване інтегральне оцінювання ресурсу роботи та ризику поломки бурових телеметричних систем / В. М. Теслюк, Т.М.Матвійків // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіoeлектроніка та телекомунікації. – 2011. – № 705 – С. 250–254.
139. Толюпа С. В. Синтез інформаційно-телеметричних комплексів цифрового радіобачення з багатопозиційним прийомом / С. В. Толюпа, В.А. Дружинін // Вісник ДУІКТ. – 2012. – Т.10, №1. – С. 24–29.
140. Томашевський В. М. Моделювання систем / Томашевський В. М. – К.: ВНУ, 2005. – 352 с.
141. Удаленный мониторинг и контроль функционирования стационарных объектов и транспорта с использованием технологий GPRS/EDGE и UMTS/HSPA (3G) от компании Velcom / Технологии безопасности. – 2010. – № 5. – С. 12–14.
142. Ушаков И. А. Вероятностные модели надежности информационно-вычислительных систем / И. А. Ушаков. – М.: Радио и связь, 1991. – 132 с.

143. Хаусли Т. Системы передачи и телеобработки данных / Т. Хаусли; пер. с англ. – М. Радио и связь, 1994. – 456 с.
144. Шабатура Ю. В. Теоретичні аспекти побудови телеметричних систем космічних апаратів з часовим представленням вимірювальної інформації / Ю. В. Шабатура, І. В. Пулеко, В. О. Чумакевич // Військово-технічний збірник «Розроблення та модернізація ОВТ». – 2011. – №1 (4) – С. 43–49.
145. Шерешевский Л. А. Решения Siemens для автоматизированных систем оперативно-диспетчерского управления в энергетике / Л.А. Шерешевский // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. – № 11. – С. 10–12.
146. Шкілюк О.П. Оцінка показників ефективності програмно-апаратної радіоелектронної системи на основі її алгоритму поведінки / О. П. Шкілюк, А. В. Машак // Матеріали 8-ої Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій РТ-2012». – Севастополь. – 2012. – С. 56.
147. Штовба С. Д. Інформаційна технологія забезпечення надійності алгоритмічних процесів в умовах невизначеності: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: спец. 05.13.06 – Інформаційні технології / Штовба Сергій Дмитрович. – Вінниця, 2009. – 32 с.
148. Штовба С. Д. Матричні моделі надійності алгоритмічних процесів за сумісності помилок різних типів / С. Д. Штовба // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2007. – №4 – С. 107–114.
149. Штовба С. Д. Нечіткі моделі надійності алгоритмічних структур / С. Д. Штовба // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – №2. – С. 110–119.
150. Штовба С.Д. Нечіткі матричні моделі надійності алгоритмічних процесів за сумісних помилок / С. Д. Штовба // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – №3. – С. 51–60.

Додаток А. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати 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. 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.

3. 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. (Index Copernicus).

4. 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.

5. 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.

6. 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. (Index Copernicus).

7. 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 (Index Copernicus).

8. 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. (Index Copernicus).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. 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 (УкрМіКо'2016/UkrMiCo'2016). – Київ. – 2016. – С. 491-494. (Дати проведення: 11-15 вересня 2016 р., форма участі – заочна участь)

10. 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. (Дати проведення: 21-24 лютого 2012 р., форма участі – очна доповідь)

11. 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. (Дати проведення: 25 лютого - 1 березня 2014 р., форма участі – співдоповідач)

12. 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. (Дати проведення: 21-23 листопада 2013 р., форма участі – співдоповідач)

13. 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. (Дати проведення: 23-25 жовтня 2014 р., форма участі – співдоповідач)

14. 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. (Дати проведення: 17-19 вересня 2014 р., форма участі – заочна участь)

15. 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 СПТЕЛІ-2014». – Львів. – 2014. – С. 88–91. (Дати проведення: 30 жовтня - 2 листопада 2014 р., форма участі – співдоповідач)

16. 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. (Дати проведення: 30 жовтня – 2 листопада 2013 р., форма участі – співдоповідач)

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. (Дати проведення: 10 – 16 березня 2014 р., форма участі – заочна участь)

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. (Дати проведення: 11-15 березня 2013 р., форма участі – заочна участь)

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. (Дати проведення: 25-27 жовтня 2013 р., форма участі – очна доповідь)

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. (Дати проведення: 15-20 квітня 2013 р, форма участі – очна доповідь)

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. (Дати проведення: 25-27 квітня 2017 р., форма участі – співдоповідач)

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». – м. Севастополь. – 2012. – С. 56. (Дати проведення: 23-27 квітня 2012 р., форма участі – заочна участь)

Додаток Б. Акти впровадження результатів дисертації

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Проректор з наукової роботи
 Національного університету
 «Львівська політехніка»
 проф. Н.І. Чухрай
 «03» 05 2017 р.



АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи Шкілюка Олександра Петровича, представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук на тему “Засоби багатоваріантного аналізу ефективності алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання” поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Комісія у складі начальника науково-дослідної частини, к.т.н., доцента Жук Л.В., завідувача відділу науково-організаційного супроводу наукових досліджень, к.т.н. Лазько Г.В., заступника начальника планово-фінансової групи Чулой Т.М., завідувача кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювання, к.т.н., професора Кіселичника М.Д. цим актом підтверджує, що результати дисертаційної роботи Шкілюка Олександра Петровича на тему “Засоби багатоваріантного аналізу ефективності алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання” використані при виконанні науково-дослідних робіт ДБ/ПНРЛ «Розроблення моделей, методів та алгоритмів для автоматизованої оцінки показників надійності радіоелектронних та електромеханічних пристроїв та систем» (№ держреєстрації 0110U001098) та ДБ/ТРИКАФ «Розроблення моделей надійності, ризику та безпечності програмно-апаратних технічних систем» (№ держреєстрації 0113U001371), а саме:

- розроблено моделі алгоритмів поведінки телеметричної системи, які дозволяють проводити багатоваріантний аналіз їх показників ефективності;
- розроблено прототипи програмного засобу, які дозволяють провести багатоваріантний аналіз алгоритму поведінки з мінімальними затратами часу;
- показано приклади розв'язання задач оцінки і аналізу показників ефективності алгоритмів поведінки телеметричної системи, які показали вплив кількості повторень циклів алгоритму на імовірність його успішного виконання.

Перелічені моделі та прототипи програмного засобу дають змогу автоматизовано проводити багатоваріантний аналіз та оцінку показників ефективності радіотелеметричної системи з врахуванням її структури, техніко-тактичних характеристик, особливостей функціональної поведінки, що значно скорочує часові та фінансові затрати при її проектуванні.

Начальник НДЧ, к.т.н., доц.



Жук Л.В.

Зав. відділу НОСНД



Лазько Г.В.

Заст. начальника ПФГ



Чулой Т.М.

Зав. каф. ТРР, к.т.н., проф.



Кіселичник М.Д.

Заступник начальника Національної академії
сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного
з наукової роботи
полковник

«14» 2017 року

А.В. СЛЮСАРЕНКО



АКТ

**про використання результатів кандидатської дисертаційної роботи
ШКІЛЮКА Олександра Петровича,**
асистента кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань
Національного університету «Львівська політехніка»

Комісія у складі голови – начальника Наукового центру Сухопутних військ Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного полковника ГРАБЧАКА В.І., заступника начальника Наукового центру Сухопутних військ з наукової роботи полковника ЯКОВЛЄВА М.Ю., начальника науково-дослідного відділу (застосування Сухопутних військ у міжнародних операціях, стабілізаційних та специфічних діях) Наукового центру Сухопутних військ підполковника Сальніка Ю.П. та провідного наукового співробітника науково-дослідного відділу (систем управління військами) Наукового центру Сухопутних військ працівника Збройних Сил України Богуцького С.М. склала дійсний акт про те, що результати дисертаційної роботи ШКІЛЮКА Олександра Петровича, поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, використані у науково-дослідній роботі за шифром «Комплекс – С».

Зокрема ШКІЛЮКОМ О.П. розроблено методику побудови моделей процесу взаємодії систем спостереження розвідувального комплексу (РК) за об'єктом викриття з урахуванням особливостей оперативно тактичної обстановки.

Розроблені моделі дають змогу оцінити вплив завад на ефективність роботи систем спостереження РК, провести порівняльний аналіз достовірності розвідувальних даних при різних варіантах застосування РК. Виконанні за допомогою моделей дослідження дозволили визначити вплив окремих систем спостереження на показники ефективності РК. Це дозволило визначити найдоцільнішу структуру комплексування систем спостереження для досягнення заданої ймовірності викриття об'єктів (цілей), а також

обмежити кількість і обсяг натурних випробувань РК і при цьому отримати достовірні результати щодо ефективності та надійності його застосування.

Реалізація вказаних результатів дозволила скоротити терміни оптимальних рішень і трудоемкості виконаних робіт.

Отримані результати моделювання були підтверджені експериментальними дослідженнями на напівнатурній моделі РК на Міжнародному центрі миротворчості та безпеки.

Даний акт не є підставою для фінансових взаєморозрахунків.

Голова комісії: к.т.н., с.н.с

В.І.ГРАБЧАК

Члени комісії: д.т.н., с.н.с.

М.Ю. ЯКОВЛЄВ

к.т.н., с.н.с

Ю.П. САЛЬНІК

к.т.н., с.н.с

С.М. БОГУЦЬКИЙ

Складений акт розглянуто і складено на засіданні науково-технічної ради Наукового центру Сухопутних військ Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

Протокол № 3 від «10» 03 2017 року.

Секретар НТР Наукового центру Сухопутних військ

к.т.н.

Є.В. РИЖОВ



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи
НУ «Львівська політехніка»

_____ доц. Давидчак О.Р.

«05» _____ 2017 р.

АКТ

про використання кандидатської дисертаційної роботи
Шкілюка Олександра Петровича«Засоби багатоваріантного аналізу ефективності алгоритмів поведінки бортової
радіотелеметричної системи короткотривалого використання»

у навчальному процесі кафедри «Теоретична радіотехніка та радіовимірювання».

Даний акт складено комісією у складі:

- д.т.н., проф., Убізький С.Б., голова методичної ради Інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки;
- к.т.н., доц., Колодій Р.С., заступника декана базової вищої освіти Інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки;
- к.т.н., проф. Кіселичник М.Д., завідувач кафедри «Теоретична радіотехніка та радіовимірювання»

про те, що в навчальному процесі кафедри «Теоретична радіотехніка та радіовимірювання» використано результати кандидатської дисертаційної роботи «Засоби багатоваріантного аналізу ефективності алгоритмів поведінки бортової радіотелеметричної системи короткотривалого використання», а саме для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»:

- в дисципліну «Технології моделювання телекомунікаційних мереж» введено тему «Методика розроблення структурно-автоматних моделей на основі блок-схем алгоритмів поведінки»;
- в дисципліну «Системотехнічне проектування телекомунікаційних систем та мереж» введено тему «Методика побудови моделі алгоритму поведінки телекомунікаційних систем з використанням математичного представлення «схема шляхів»;
- модернізовано розділ «Методи забезпечення надійності складних систем» теми «Відмовостійкі системи» та «Надійність програмного забезпечення складних систем» з дисципліни «Сучасні методи забезпечення та оцінки надійності великих систем»;
- модернізовано тему «Надійність програмного забезпечення складних систем. Надійність програмно-апаратних систем» з дисципліни «Надійнісне проектування телекомунікаційних систем і мереж».

Члени комісії:

Убізький С.Б.

Колодій Р.С.

Кіселичник М.Д.