

Б.Ю. Волочий, Л.Д. Озірковський, О.П. Шкілюк, А.В. Машчак
Національний університет “Львівська політехніка”

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО КОМПЛЕКСУ МОНІТОРИНГУ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

© Волочий Б.Ю., Озірковський Л.Д., Шкілюк О.П., Машчак А.В., 2013

B.Yu. Volochiy, L.D. Ozirkovskyi, A.V. Mashchak, O.P. Shkiliuk,
Lviv Polytechnic National University

METHOD OF ESTIMATION OF INDEXES OF EFFICIENCY OF THE RADIO ELECTRONIC COMPLEX SYSTEM MONITORING OF AIR SPACE

© Volochiy B.Yu., Ozirkovskyi L.D., Mashchak A.V., Shkiliuk O.P., 2013

In this paper a method for estimation efficiency indexes for algorithm behavior of radioelectronic complex system of airspace monitoring is developed. This method takes into account the structure of radioelectronic complex system of airspace monitoring, technical and tactical characteristics of the reliability of hardware and qualifications of the human operator. Method involves the following stages.

Forming of equivalent algorithm behavior is the first stage. Equivalent algorithm behavior is composed of operating and verifying blocks which reflect the functions of the radioelectronic complex system and the actions of human operator. For equivalent algorithm behavior forming is required to add two types of operating blocks that will characterize the reliability of hardware and software.

Developing structural-automatic model is the second stage. Structural-automatic model is formalized representation of structure and behavior of radioelectronic complex system. Developing of structural-automatic model involves solving the following tasks: select a set of parameters of radioelectronic complex system that must be included in its model. The components of the vector state and basic events are defined. Modificational component rules tree of the state vector based on the components of the vector state and basic events is formed.

The model of the algorithm behavior radioelectronic complex system is developed as a graph and state transitions. Developing of this model is the third stage of method. This task is performed using the software module ASNA-1. The system of linear differential equations of Kolmogorov - Chapman is formed and solved by program module ASNA-1. Solution of linear differential equations is obtained in the form of probability distribution being in the states.

The fourth stage provides for forming and investigation of the efficiency indexes for algorithm behavior of radioelectronic complex system of airspace monitoring based on probability distribution being in the state.

This method is the further development of modeling technology of discrete-continuous stochastic systems and multiple analysis for efficiency indexes of complex information systems. The example of the application of this method for resolving tasks of the system-technical designing radioelectronic complex system of airspace monitoring is represented.

Key words: radio electronic complex system of airspace monitoring, algorithm of the functional behavior, mathematical model of the algorithm behavior, method of development behavior models.

Розроблено методику оцінки показників ефективності алгоритму поведінки радіоелектронного комплексу моніторингу повітряного простору з урахуванням його структури, техніко-тактичних характеристик, показників надійності апаратних засобів та кваліфікації людини-оператора. Розроблена методика є подальшим розвитком техноло-

гії моделювання та проведення багатоваріантного аналізу показників ефективності складних інформаційних систем.

Ключові слова: радіоелектронний комплекс моніторингу повітряного простору, алгоритм функціональної поведінки, математична модель алгоритму поведінки, методика побудови моделей поведінки.

Вступ

Особливістю складних радіоелектронних комплексів (РЕК) є те, що навіть найкраще функціонування окремих радіоелектронних систем (РЕС), що входять до їх складу, не гарантує ефективної роботи РЕК, загалом, оскільки завжди існує взаємодія між окремими РЕС комплексу, яка забезпечує ефективне виконання завдання, покладеного на РЕК. Всім РЕК притаманні такі особливості, що визначають його ефективність функціонування під час експлуатації: змінюваність – це характерна тенденція до погіршення характеристик функціонування РЕК з часом; взаємозалежність – це ефект погіршення характеристик функціонування однієї РЕС в складі РЕК неминуче впливає на характеристики функціонування інших РЕС; вплив навколишнього середовища, що має випадковий характер; ієрархічність – визначається цільовим призначенням РЕК тощо [3–6, 13].

Для РЕК моніторингу повітряного простору характерні значний рівень автоматизації процесу виявлення літаючого об'єкта і прийняття рішень та високий ступінь структурної та функціональної інтеграції обладнання [4]. Такий РЕК призначений для виконання завдання різними способами і належить до класу складних систем [11]. Ефективність функціонування РЕК моніторингу повітряного простору значною мірою визначає людина-оператор [4, 5, 12], що слід враховувати під час його проектування. Водночас, РЕК може надавати оператору більший обсяг інформації, ніж він у стані проаналізувати і прийняти рішення за час відведений для виконання завдання. Тому важливою задачею при створенні такого РЕК є автоматизація виконання певних функцій оператора за зміни умов його функціонування. Для цього доцільним є впровадження систем підтримки прийняття рішень тощо [5, с. 35].

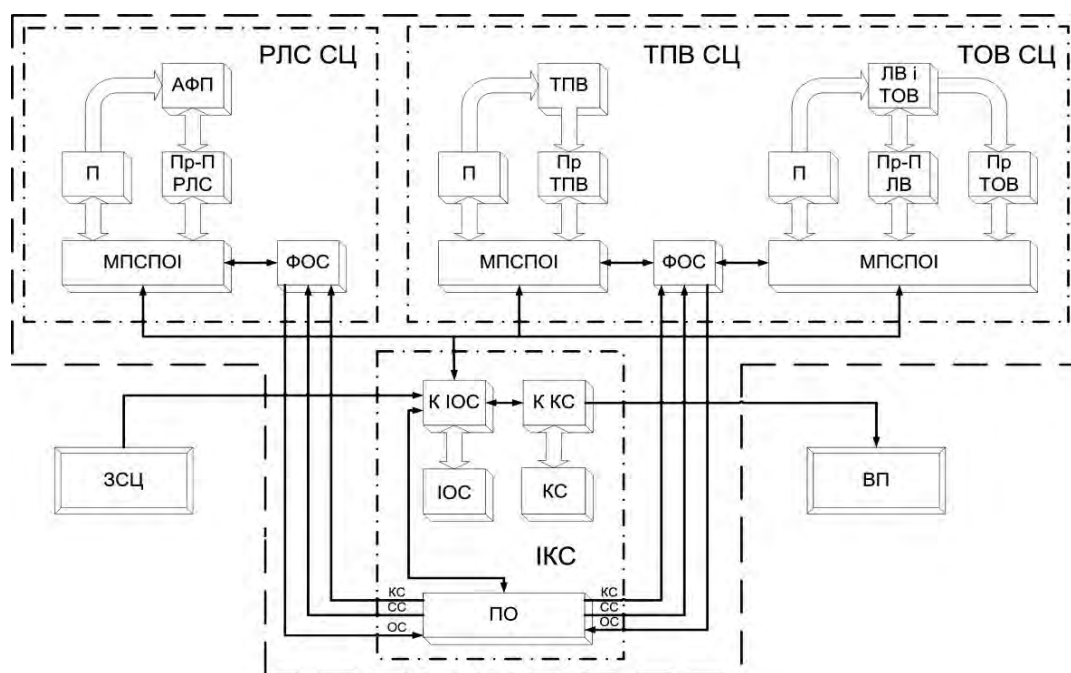


Рис. 1. Структурна схема радіоелектронного комплексу моніторингу повітряного простору.

ЗСЦ – зовнішня система цільовказівки; ВП – виконуючий пристрій; РЛС СЦ – радіолокаційна система селекції цілей; ТПВ СЦ – тепловізійна система селекції цілей; ТОВ СЦ – телевізійно-оптична система селекції цілей; ІКС – інформаційно-керуюча система; АФП – антенно-фідерний пристрій; П – привід; Пр-П РЛС – приймач-передавач РЛС; ФОС – формувач опорних сигналів; ТПВ – тепловізор; Пр ТПВ – приймач ТПВ; ЛВ – лазерний віддалемір; ТОВ – телевізійно-оптичний візор; Пр-П ЛВ – приймач-передавач ЛВ; Пр ТОВ – приймач ТОВ; МПСПОІ – мікропроцесорна система первинної обробки інформації; ІОС – інформаційно-обчислювальна система; КС – керуюча система; К ІОС – контролер ІОС; К КС – контролер КС; ПО – пульт оператора

Володіючи структурною, часовою, інформаційною та функціональною надлишковістю, РЕК при відмовах окремих РЕС, які входять до складу, не повністю виходить з ладу, а лише змінює ефективність свого функціонування [5, с. 37].

Отже, у склад РЕК моніторингу повітряного простору входять різні за принципом дії РЕС. Кожна РЕС виконує свій набір процедур і пов'язана з іншими РЕС інформаційно-керуючою системою для контролю і обміну необхідними даними та службовою інформацією, що забезпечує успішне виконання цільової функції РЕК.

Склад РЕК моніторингу повітряного простору формується так, щоб забезпечувати виконання поставленого завдання в умовах дії зовнішніх природних і штучних завад, при виникненні збоїв та відмов окремих систем. Саме для цього в склад РЕК входять РЕС різних типів (рис. 1).

Для дослідження показників ефективності РЕК етапі системотехнічного проектування необхідно розробити такі засоби їх оцінки, що дозволять відібрати варіанти проектних рішень, які відповідають вимогам технічного завдання, зменшити обсяг та оптимізувати натурні випробування і знизити затрати часу та матеріальних ресурсів. Саме тому актуальною є розробка таких засобів оцінки показників ефективності РЕК, які передбачають математичні моделі та методики.

Постановка задачі

Розроблення засобів оцінки показників ефективності полягає у побудові моделі РЕК, яка б враховувала його надійнісну та функціональну поведінку [3]. Функціональну поведінку можна подати блок-схемою алгоритму поведінки (АП), який відображає процес виконання цільової функції РЕК [13].

Модель РЕК, яка дозволить визначити такі показники ефективності, як ймовірність та середнє значення тривалості виконання цільової функції РЕК, можна отримати кількома способами, застосовуючи відомі підходи:

- у вигляді функції працездатності (виконання задачі) за допомогою логіко-ймовірнісного моделювання [8, 9];
- у вигляді імітаційної моделі [10];
- у вигляді мережі Петрі [11];
- у вигляді системи диференціальних рівнянь, використовуючи як модель дискретно-неперервну стохастичну систему марковського типу [3].

Основні теоретичні підходи і рекомендації до побудови логіко-ймовірнісних моделей (ЛІМ) та методологічні основи до формалізації їх побудови було закладено в роботах [8, 9] у вигляді технології моделювання. В основі технології моделювання лежить побудова дерева відмов або 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, можливості оперативного проведення багатоваріантного аналізу. Недоліком цієї технології є ручна побудова моделі-посередника – графа функціональної цілісності, який при деталізації моделі може мати велику розмірність. Ця технологія орієнтована на аналіз надійності та безпечності автоматизованих систем управління літальних апаратів, наземного транспорту, технологічних процесів та систем керування атомних електростанцій.

Імітаційне моделювання дозволяє розглядати процеси, що відбуваються в системі, практично на будь-якому рівні деталізації [10]. При цьому в імітаційній моделі можна реалізувати практично будь-який алгоритм управління або поведінки системи, однак розробка кожної імітаційної моделі є окремою задачею, яка потребує значних часових затрат і не є гнучкою при модифікації алгоритму поведінки. Імітаційне моделювання служить альтернативним методом дослідження складних інформаційних систем, який використовують в тих випадках, коли експеримент є недоступним досліднику

У практиці моделювання об'єктів потрібно розв'язувати задачі з формалізованим описом і врахуванням причинно-наслідкових зв'язків у складних системах, де паралельно відбувається декілька процесів. Для цього застосовують мережеві підходи (N-схеми), наприклад мережі Петрі [11]. Важливою особливістю моделей процесів функціонування систем з використанням N-схем є

простота побудови ієрархічних конструкцій. Звідси впливає можливість ефективного використання N-схем для моделювання паралельних і конкуруючих 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 апарата мереж Петрі.

У монографії [3] пропонується технологія аналітичного моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем, а у дисертаційній роботі [12] наведено засоби оцінки ефективності алгоритмів пошуку і виявлення цілей прицільних радіоелектронних комплексів.

Для побудови методики використано технологію моделювання складних інформаційних систем на основі марковських процесів [3], в якій РЕК представляється як дискретно-неперервна стохастична система, оскільки саме вона дозволяє виконати поставлені завдання визначення та дослідження таких показників ефективності РЕК моніторингу повітряного простору як ймовірність і середнє значення тривалості виконання цільової функції.

Для врахування надійної поведінки програмного забезпечення (ПЗ) РЕС в АП технологію [3] необхідно модифікувати шляхом введення додаткових операційних та перевірочних блоків, що міститимуть показники надійності ПЗ РЕС, які можна внести у АП у вигляді окремих блоків діагностики та контролю. Для оцінки ефективності РЕК необхідно на основі АП побудувати таку модель РЕК, яка враховуватиме функціональну та надійнісну поведінку виконання РЕК цільової функції. Оскільки процедура побудови моделі є громіздкою, довготривалою та неоднозначною, бо кожен проєктант бачить її реалізацію по-своєму, то потрібно розробити методику побудови моделей РЕК та дослідження показників їх ефективності.

Методика побудови моделей РЕК та дослідження їх показників ефективності

Методика побудови моделей та дослідження показників ефективності РЕК передбачає послідовне виконання окремих етапів згідно з технологією моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем [3].

Перед побудовою моделей необхідно: досконало вивчити особливості РЕК; визначити його складові частини, а саме РЕС; взяти до уваги техніко-тактичні характеристики кожної з них та характер її взаємодії з іншими РЕС. Це дозволяє сформулювати АП РЕК, який задає вхідні дані для побудови моделі РЕК.

Вхідні дані для побудови моделі РЕК.

Формування еквівалентного алгоритму поведінки. Побудову моделі РЕК слід починати із формування еквівалентного АП [1, 2].

Операційні блоки еквівалентного АП відображають функції РЕС і дії оператора. Тривалість виконання функції кожною з РЕС є випадковою величиною і її середнє значення $T_{сер}$ відображає середній операційний час виконання функції. Швидкість роботи оператора характеризує його кваліфікацію і визначається середнім значенням затрат часу на прийняття рішення.

Перевірочні блоки відображають зміну режиму роботи підсистем або інформаційно-керуючої системи в процесі виконання задачі та показують процес прийняття рішення оператором.

Цикли повторних звернень графічно відображаються розгалуженнями перевірочних блоків з переходом на один із попередніх операційних блоків. При цьому перехід на цільовий операційний блок для унеможливлення зациклення алгоритму при моделюванні здійснюється не безпосередньо, а через проміжний операційний блок, що виконуватиме функцію лічильника кількості виконаних циклів.

При формуванні еквівалентного АП необхідно додати ще два види операційних блоків. Перший вид таких блоків призначений для характеристики надійності апаратних засобів, а другий – програмного забезпечення. Надійність АЗ відображаються на блок-схемі операціями їхнього контролю, діагностики та перемикання. В результаті виконання цих операцій визначають, що з ймовірністю безвідмовної роботи $P_{БР}$ апаратні засоби продовжують своє функціонування у складі підсистем РЕК або ж з ймовірністю $P_{ВІДМ}=1-P_{БР}$ відбувається відмова, що призводить до часткової

або повної втрати працездатності окремої РЕС. Для відновлення повної працездатності РЕК необхідно провести технічне обслуговування АЗ. Відповідні операції потрібно застосувати і до програмного забезпечення з тією відмінністю, що у разі його відмови ініціюються спеціальні процедури виявлення та виправлення помилок, перезавантаження, а в окремих випадках – оновлення або повної заміни програмного забезпечення систем РЕК.

Необхідно зазначити, що послідовно з'єднані операційні блоки, зміни параметрів яких не потребують деталізації під час моделювання, об'єднують в один із підсумовуванням $T_{сер}$ кожного операційного блока. 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.

Фрагмент еквівалентного алгоритму функціональної поведінки РЕК наведено на рис. 2.

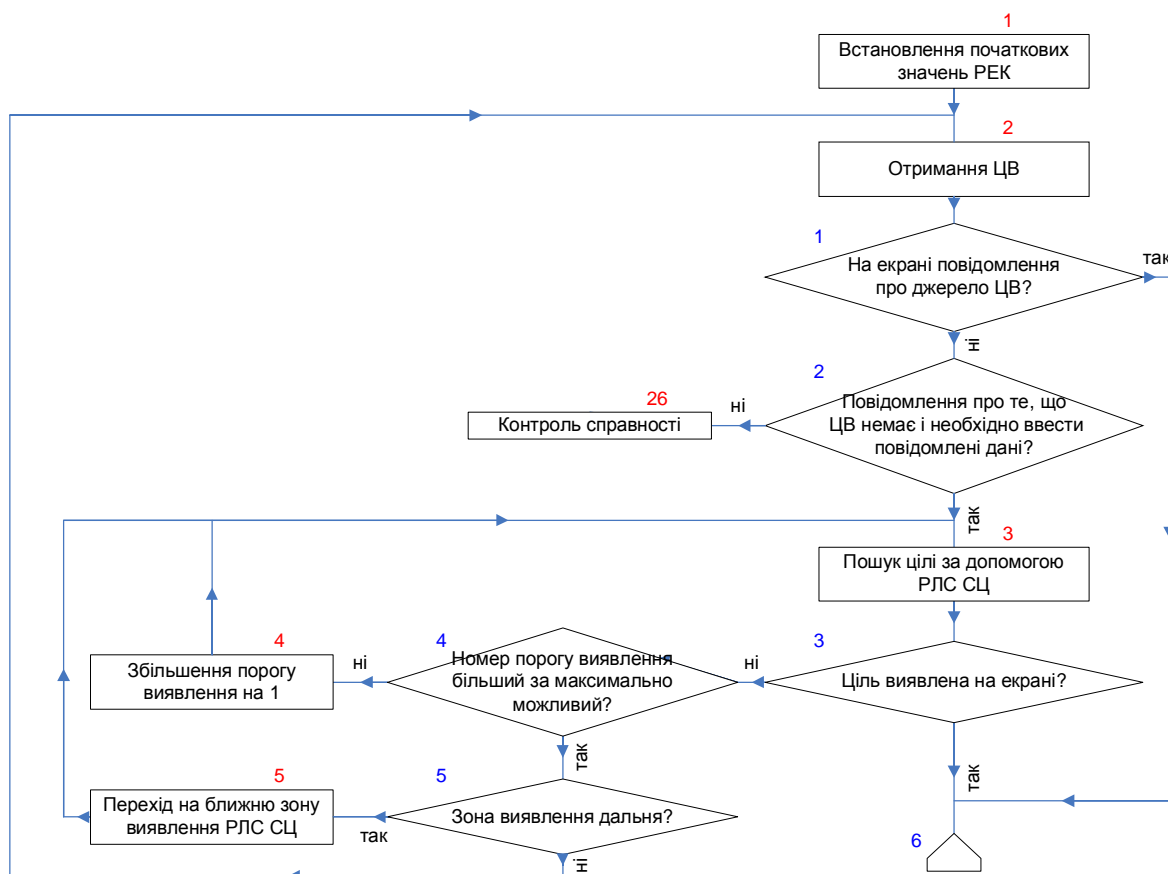


Рис. 2. Фрагмент еквівалентного алгоритму функціональної поведінки РЕК

Побудова структурно-автоматної моделі. Наступним кроком методики дослідження АП РЕК є побудова структурно-автоматної моделі (САМ) – формалізованого представлення структури і поведінки РЕК. Структурно-автоматна модель – це сукупність трьох множин даних: множина формальних параметрів, що містить усі константи та їх значення, які використовуються при формуванні математичної моделі РЕК; вектор станів, призначений для кодування станів, у яких може знаходитися РЕК в процесі виконання завдання; дерево правил модифікації компонент вектора стану – формалізоване представлення поведінки та функціонування РЕК [3].

На цьому етапі роботи потрібно врахувати, що для АП РЕК має місце лише одна подія – виконання операційного блока АП РЕК. Особливі вимоги ставляться до множини формальних параметрів, оскільки вона повинна містити всі техніко-тактичні характеристики складових РЕС (середні значення тривалості виконання кожної функції РЕС, ймовірності виконання цих функцій, надійність апаратних і програмних засобів, час реакції оператора на повідомлення про цілевказівку), що забезпечить побудову адекватної математичної моделі РЕК.

Окремою задачею є **формування вектора станів** (ВС), що полягає в записуванні усіх змінних, які будуть використовуватися під час побудови 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 кожної РЕК в кожен момент часу, а також компоненти, що визначають особливості режиму роботи РЕК.

Позначення блоків еквівалентного алгоритму. Важливою є система позначень операційних та перевірочних блоків еквівалентного АП, сформованого за поданими нижче правилами. Правильна нумерація усіх блоків забезпечить зручність та швидкість формування формул інтенсивностей альтернативних переходів при подальшій роботі із САМ.

Система позначень операційних та перевірочних блоків АП передбачає що:

- середнє значення тривалості виконання і-го операційного блока АП позначається T_i ;
- ймовірність переходу з n-го перевірочного блока у m-й перевірочний блок позначається $P_{n \rightarrow m}$;
- ймовірність переходу з n-го перевірочного блока у k-й операційний блок позначається $R_{n \rightarrow k}$.

У САМ у множину формальних параметрів потрібно ввести задані ймовірності правильного виконання функцій РЕК та середні значення тривалості їх виконання згідно з описаною вище системою позначень, наприклад (див. рис. 2):

T_2 – середнє значення тривалості виконання 2-го операційного блока, тобто отримання цілевказівки РЕК моніторингу повітряного простору;

$P_{1 \rightarrow 6}$ – ймовірність переходу з 1-го перевірочного блока у 6-й перевірочний блок, тобто ймовірність вибору РЛС СЦ для пошуку цілі, якщо є цілевказівка;

$P_{1 \rightarrow 2} = 1 - P_{1 \rightarrow 6}$ – ймовірність переходу з 1-го перевірочного блока у 2-й перевірочний блок, тобто ймовірність того, що цілевказівки немає;

$R_{2 \rightarrow 26}$ – ймовірність переходу з 2-го перевірочного блока у 26-й операційний блок, тобто ймовірність виникнення відмови і проведення контролю справності;

$R_{2 \rightarrow 3} = 1 - R_{2 \rightarrow 26}$ – ймовірність переходу з 2-го перевірочного блока у 3-й операційний блок, тобто ймовірність переходу на процедуру пошуку цілі системою цілевказівки.

Інтенсивність переходу із j-го стану моделі РЕК у (j+1)-й дорівнює добутку інтенсивності виконання операційного блока АП, що відповідає j-му стану РЕК, на ймовірності переходів перевірочних блоків, що знаходяться на шляху АП, що веде до операційного блока, який відповідає (j+1)-му стану моделі РЕК.

Перехід відбувається лише між описаними станами, тому у формулі визначення інтенсивності переходу обов'язково повинні бути вирази, що описують середнє значення тривалості виконання операційного блока і ймовірність альтернативного переходу до наступного операційного блока, наприклад:

$$n_2 \rightarrow 3 = \frac{1}{T_2} \cdot P_{1 \rightarrow 2} \cdot R_{2 \rightarrow 3} \quad (1)$$

де $\frac{1}{T_2}$ – інтенсивність виконання операційного блока – величина, обернена до середнього значення тривалості виконання операційного блока 2 АП.

Формули інтенсивностей альтернативних переходів аналогічні (1) та правила модифікації компонент вектора стану заносяться у відповідні поля дерева правил модифікації компонент вектора стану, яке відображає поведінку РЕК.

Особливості верифікації 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 дуже складною та громіздкою, тому її доцільно розв'язувати з використанням програмного модуля ASNA-1 [14]. Особливістю такої верифікації САМ АП є те, що вона проводиться поступово перевіркою кожного запису дерева правил модифікації та шляхом перевірки окремих гілок АП. Для цього необхідно ввести в

Наприклад, якщо $V1$ – компонента ВС, якою позначено номер виконуваного операційного блока, і 32 – ознака стану успішного виконання, то в поле умови відмови необхідно записати логічний вираз $V1=32$. Таким чином програмний модуль ASNA-1 автоматизовано об'єднає всі розрізнені стани виконання цільової функції, в яких $V1=32$, в один і виведе на екран розраховане середнє значення тривалості виконання цільової функції РЕК.

Дослідження показників ефективності алгоритму поведінки. Дослідження показників ефективності АП РЕК полягає у багатократній зміні наборів вхідних даних у множині формальних параметрів САМ, визначених проектантом, від зміни яких залежатиме ймовірність 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-1 та отримання значення показника ефективності. У результаті отримуємо сімейство характеристикних кривих показника ефективності залежно від зміни конкретних вхідних параметрів. Це є підставою для вибору кращого з варіантів побудови РЕК.

Як приклад використання моделі АП РЕК показано розв'язання деяких проектних задач.

Задача 1. Визначення мінімальних вимог до надійності апаратних засобів при заданій ймовірності успішного виконання цільової функції РЕК. Дослідження проведено для таких значень інтенсивності відмов λ_3 : $\lambda_1=10^{-4}$, $\lambda_2=10^{-5}$, $\lambda_3=10^{-6}$, $\lambda_4=10^{-8}$. Результати досліджень подано на рис. 3.

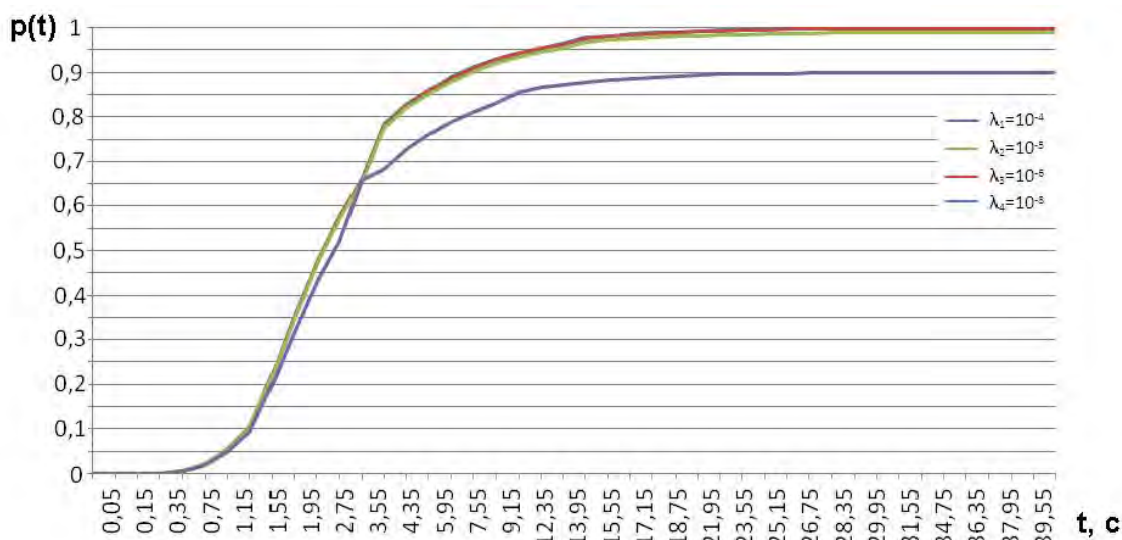


Рис. 3. Графік визначення ймовірності успішного виконання цільової функції РЕК моніторингу повітряного простору при зміні інтенсивностей відмов апаратних засобів

З отриманого графіка (рис. 3) видно, що використання апаратних засобів з інтенсивністю відмов, меншою, ніж 10^{-5} , є недоцільним, оскільки ймовірність успішного виконання цільової функції РЕК незначно відрізняється.

Задача 2. Визначення впливу кваліфікації оператора на ймовірність успішного виконання цільової функції РЕК при обмеженні на час її виконання. Дослідження проведено для значень часу реакції оператора на повідомлення про цілевказівку: $t_1=5$ с, $t_2=10$ с, $t_3=20$ с. Результати досліджень наведено на рис. 4.

Як видно з рис. 4, ймовірність успішного виконання цільової функції РЕК визначається при заданій тривалості часу, який виділяється на виконання завдання. Проведені дослідження показали, що при обмеженні часу на рівні 40 секунд ймовірність успішного виконання при значеннях часу реакції оператора на повідомлення про цілевказівку $t_1=5$ с, $t_2=10$ с, $t_3=20$ с відповідно дорівнює $p_1(t)=0,985$, $p_2(t)=0,949$, $p_3(t)=0,799$.

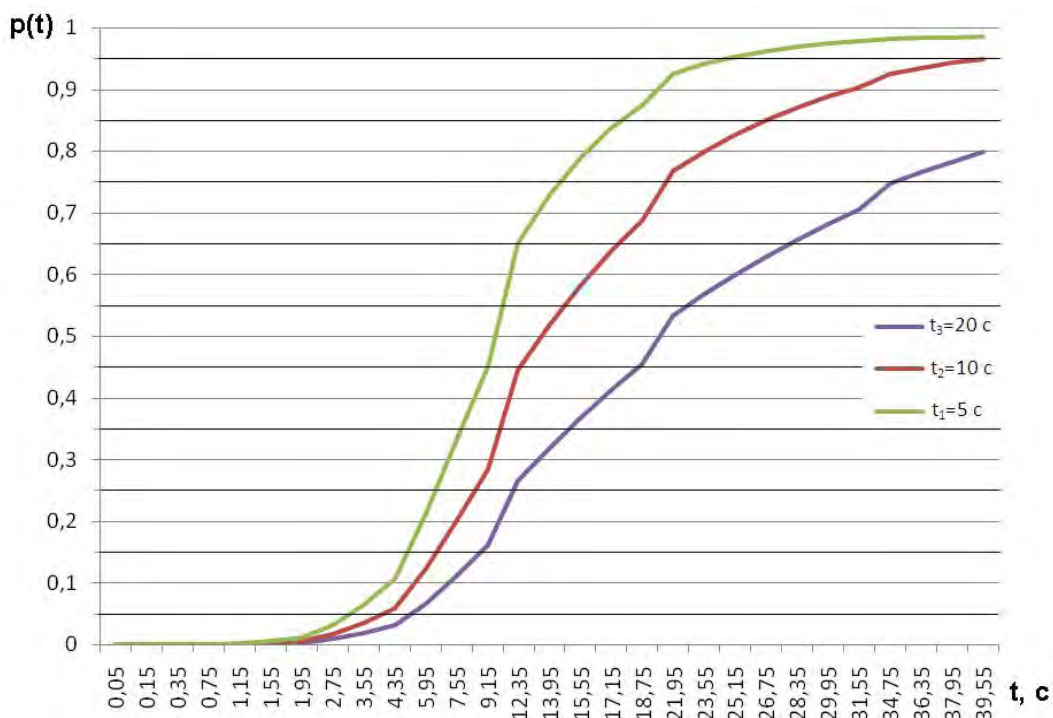


Рис. 4. Графік визначення ймовірності успішного виконання цільової функції РЕК моніторингу повітряного простору при зміні кваліфікації оператора

Висновки

Розроблена методика побудови моделей РЕК та дослідження показників ефективності програмно-апаратної радіоелектронної системи передбачає такі етапи:

- побудова еквівалентного алгоритму поведінки;
- формалізований опис еквівалентного алгоритму поведінки, що передбачає формування компонентів вектора стану; формування множини формальних параметрів, яка враховує техніко-тактичні характеристики РЕК; побудову структурно-автоматної моделі;
- побудова аналітичної моделі;
- формування показників ефективності РЕК;
- дослідження показників ефективності РЕК.

За допомогою розробленої методики моделювання можна побудувати математичну модель радіоелектронного комплексу, яка враховує структуру РЕК моніторингу повітряного простору, його техніко-тактичні характеристики, особливості функціональної поведінки, а також кваліфікацію людини-оператора, що дає змогу провести багатоваріантний аналіз показників ефективності РЕК.

Подальші дослідження будуть пов'язані з виконанням реальних завдань системотехнічного проектування РЕК моніторингу повітряного простору, зокрема задачі параметричного синтезу.

1. Беляєв В.П. Моделирование та оцінка ефективності локального радіоелектронного комплексу. / Беляєв В.П., Волочій Б.Ю., Грабчак А.В., Міськів М.В., Озірковський Л.Д. // Відбір і обробка інформації. Національна академія наук України. Міжвідомчий збірник наукових праць. – 1999. – Вип. 13 (89). – с. 65–70. 2. Волочій Б.Ю. Марковська модель як засіб комплексного моделювання інформаційних систем з функціональним резервуванням / Волочій Б.Ю., Озірковський Л.Д., Улибін Д.О. // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2003. – №470: Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. – с. 101–109. 3. Волочій Б.Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2004. – 220 с. 3. Дружинин В.В. Проблемы системологии. / Дружинин В.В., Конторов Д.С. – М.: Советское радио, 1976. – 296 с. 3. Дружинин Г.В. Надёжность автоматизированных систем. / Дружинин Г.В. – М.:

Энергия, 1977. – 536 с. 4. Стеценко І.В. *Моделювання систем.* / Стеценко І.В. – Черкаси: ЧДТУ, 2010. – 399 с. 5. Ушаков И.А. *Вероятностные модели надежности информационно-вычислительных систем.* / Ушаков И.А. – М.: Радио и связь, 1991. – 132 с. 6. Можжев А.С. *Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем.* / Можжев А.С. – Л.: ВМА, 1988. – 68 с. 7. Рябинин И.А. *Надежность и безопасность сложных систем.* / Рябинин И.А. – СПб.: Политехника, 2000. – 248 с. 8. Томашевський В.М. *Моделювання систем.* / Томашевський В.М. – К.: Видавнича група ВНУ, 2005. – 352 с. 9. Советов Б.Я. *Моделирование систем.* / Советов Б.Я., Яковлев С.А. – М.: Высшая школа, 2001. – 343 с. 10. Озірковський Л.Д. *Розробка засобів оцінки ефективності алгоритмів пошуку і виявлення цілей прицільних радіоелектронних комплексів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.12.17 – Радіотехнічні та телевізійні системи.* Львів, 2002. – 20 с. 11. Проектирование отказоустойчивых микропроцессорных информационно-измерительных систем. / Волочий Б.Ю., Калашников И.Д., Мазена Р.Б., Мандзий Б.А. – Львов: Вища школа, 1987. – 152 с. 12. Bohdan Volochiy. *Extending the features of software for reliability analysis of fault-tolerant systems* / Bohdan Volochiy, Bohdan Mandziy, Leonid Ozirkovskiy // *Computational Problems of Electrical Engineering*, vol. 2, Number 2, 2012. – p. 113–121.