

УДК 004.942+621.396.967

**Б. Ю. ВОЛОЧІЙ, Л. Д. ОЗІРКОВСЬКИЙ, О. П. ШКІЛЮК, А. В. МАЩАК**

*Національний університет «Львівська політехніка», Україна*

## **МЕТОД АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ ПОВЕДІНКИ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ КОМПЛЕКСІВ ВІДПОВІДАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

*В статті представлено новий метод побудови моделі алгоритму поведінки радіоелектронного комплексу – метод схеми шляхів. Запропонований метод дає змогу врахувати в моделі особливості сценарію програмного забезпечення, а також надійність апаратних засобів та програмного забезпечення. Побудова моделі алгоритму поведінки за методом схеми шляхів не потребує перебудови алгоритму поведінки у деревовидну структуру та використання канонічних регулярних форм. Показано результати оцінки показників ефективності алгоритмів поведінки радіоелектронних комплексів, отриманих запропонованим методом та двома відомими методами.*

**Ключові слова:** алгоритм поведінки, метод схеми шляхів, радіоелектронний комплекс.

### **Вступ**

На етапі системотехнічного проектування радіоелектронних комплексів (РЕК) актуальною задачею є забезпечення необхідних показників ефективності шляхом надійнішого проектування алгоритму поведінки [1, с. 13]. Алгоритм поведінки (АП) – це формалізоване представлення логіки використання інформації від систем РЕК при виконанні поставленого завдання і складається з послідовності процедур. Алгоритм поведінки характеризується часовою і функціональною надлишковістю та обмеженням на тривалість виконання. Разом з цим ефективність АП суттєво залежить від надійності апаратних засобів систем РЕК.

### **1. Огляд відомих методів побудови математичних моделей алгоритмів поведінки**

В монографії [1] за основу моделювання зовнішньої (функціональної) і внутрішньої (надійнісної) поведінки РЕК вибрано мову алгоритмічних алгебр (МАО), запропоновану В. М. Глушковым і вдосконалену І. В. Сафоновим. Мовою алгоритмічних алгебр, використовуючи канонічні регулярні форми алгоритмів (лінійна, диз'юнктивна, ітеративна та паралельна), можна змоделювати будь-який АП РЕК. Модель АП РЕК з використанням МАО формується шляхом складання логічних виразів, сукупність яких дає змогу отримати логіко-ймовірнісну модель АП у вигляді логічної функції. Для цього АП РЕК представляється у деревовидній формі, що є окремою трудомісткою задачею, а вне-

сення змін в структуру АП вимагає повної перебудови моделі. Як показано в монографії [1] ймовірність та тривалість правильного виконання складного алгоритму, що містить цикли, можна визначити двома шляхами:

1) використовуючи ітеративну регулярну форму для моделювання фрагменту АП з циклами. При цьому кількість повторень циклів вважається необмеженою, тому ймовірність правильного виконання алгоритму є завищеною, зате його тривалість нормується за ймовірністю правильного виконання;

2) використовуючи диз'юнктивну регулярну форму. В цьому випадку кількість повторень циклів є строго визначеною, ймовірність правильного виконання алгоритму не завищується, однак його тривалість є заниженою, бо вона не нормується за ймовірністю правильного виконання.

У статті [2] представлено використання методу простору станів для побудови моделі АП РЕК у вигляді дискретно-неперервної стохастичної системи. Метод простору станів потребує створення структурно-автоматної моделі – формалізованого представлення структури і поведінки РЕК. Структурно-автоматна модель дає вхідні дані 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.

На основі такої моделі сформовано практичну методику оцінки показників ефективності АП радіоелектронного комплексу моніторингу повітряного простору з врахуванням його структури, техніко-тактичних характеристик, показників надійності апаратних засобів та кваліфікації людини-оператора. Однак ця методика не враховує нормування серед-

нього значення тривалості успішного виконання АП за ймовірністю його успішного виконання.

Актуальною є задача розробки методу побудови математичних моделей алгоритмів поведінки для визначення ймовірності та середнього значення тривалості правильного виконання алгоритму, який би не потребував перебудови початкової блок-схеми АП у якусь іншу форму. Такий метод повинен враховувати при розрахунку ймовірності та середнього значення тривалості правильного виконання алгоритму строго визначену кількість циклів у алгоритмі та нормувати середнє значення тривалості правильного виконання алгоритму за ймовірністю його правильного виконання.

## 2. Побудова математичних моделей алгоритмів поведінки за методом схеми шляхів

Як альтернатива методам моделювання АП, викладеним в працях [1] та [2], було розроблено метод схеми шляхів.

Алгоритм поведінки складається з операційних та перевірочних блоків. Операційні блоки АП відображають функції систем, які входять в склад РЕК. Тривалість виконання кожної функції є випадковою величиною і відображається в моделі середнім значенням  $T_{сер}$ . Перевірочні блоки відображають зміну режиму роботи РЕК в процесі виконання задачі. В методі схеми шляхів запропоновано розділення перевірочних блоків АП на два типи: стохастичний блок альтернативного переходу і детермінований блок умовного переходу. Стохастичний блок альтернативного переходу характеризується ймовірностями виконання (невиконання) системою РЕК своєї функції ( $p, q=1-p$ ). Детермінований блок умовного переходу характеризується ймовірністю  $p^+=1$ , якщо виконується умова перевірки блоку, та ймовірністю  $p^-=1$  в протилежному випадку (рис. 1). Таке представлення умовного переходу в детермінованих блоках зумовлене тим, що в подальшому необхідно математично співставити їх роботу з стохастичними блоками альтернативного переходу.

Таке представлення перевірочних блоків можна застосувати і у методиці, викладеній в статті [2]. Завдяки цьому детерміновані блоки умовного пере-

ходу дають змогу врахувати в моделі особливості сценарію використання програмного забезпечення, а стохастичні блоки альтернативного переходу – надійність апаратних засобів та програмного забезпечення.

При зображенні алгоритму поведінки блок-схемою, використовуються блоки представлені на рис. 1. Представлення алгоритму поведінки такими засобами відображає функціональні взаємозв'язки між елементами системи і функціональну поведінку системи в цілому. На рис. 2 зображена блок-схема алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілей для РЕК моніторингу повітряного простору[2], побудована з використанням блоків з рис. 1.

Таке представлення АП є першим кроком в запропонованому методі побудови його математичної моделі. Наступний крок передбачає формування схеми шляхів. Схема шляхів є формалізованим представлення поведінки РЕК в компактній формі, що відображає сукупність всіх шляхів, які ведуть до успішного виконання або невиконання цільової функції РЕК. Математична модель АП представляється у формі виразу для найдовшого шляху від початку до успішного виконання з врахуванням кількості виконуваних циклів АП. Для формування схеми шляхів операційні блоки (ОБ) потрібно перетворити у відповідні їм функціональні блоки (ФБ) і показати зв'язки між ними переходами  $L_{n, n+1}$ . Побудова схеми шляхів здійснюється за такими правилами:

1) функціональний блок  $ФБ_n$  на схемі шляхів характеризується середнім значенням тривалості виконання функції  $T_{n, сер}$  і відповідає операційному блоку  $ОБ_n$  на блок-схемі АП;

2) якщо фрагмент алгоритму виконується повторно, то на схемі шляхів він відображається функціональним блоком  $ФБ_n$  з повторним виконанням його функції, в якому враховується кількість повторних виконань  $N(ФБ_n)$  та ймовірність повторного виконання  $p(ФБ_n)$  (рис. 3);

3) параметром переходу  $L_{n, n+1}$ , який зв'язує на схемі шляхів функціональні блоки  $ФБ_n$  та  $ФБ_{n+1}$ , є добуток значень всіх ймовірностей відображених в стохастичних блоках альтернативного переходу та детермінованих блоках умовного переходу АП, що лежать на шляху між операційними блоками  $ОБ_n$  та  $ОБ_{n+1}$ .

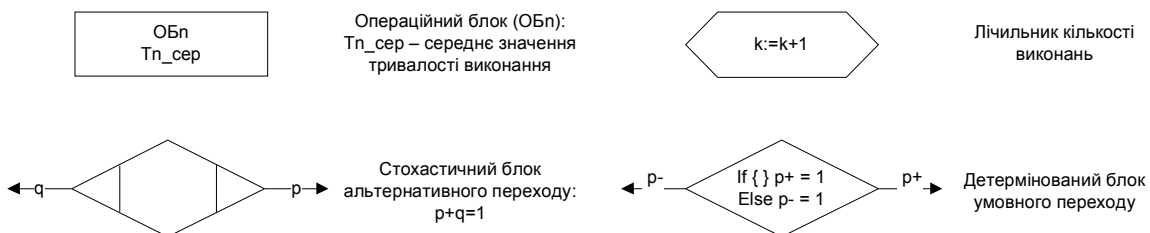


Рис. 1. Блоки, які використовуються для представлення алгоритму поведінки

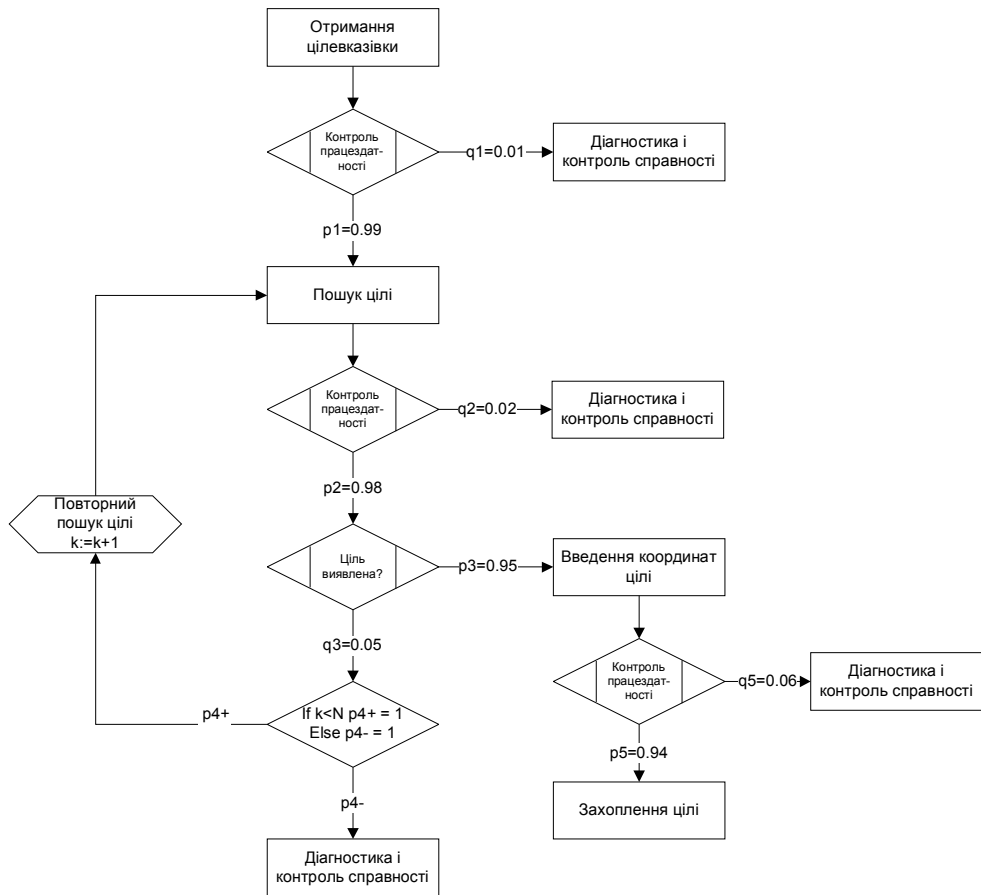


Рис. 2. Блок-схема алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі для РЕК моніторингу повітряного простору

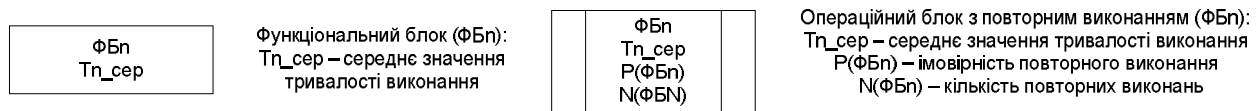


Рис. 3. Функціональні блоки, з яких формується схема шляхів

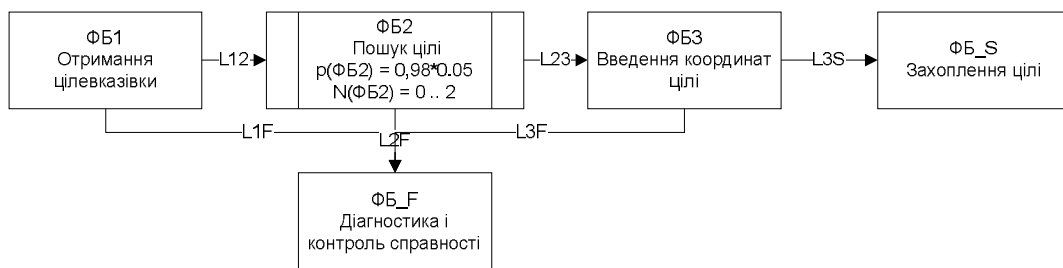


Рис. 4. Схема шляхів для алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК

Керуючись вищезазначеними правилами, сформуємо схему шляхів для алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК (рис 4).

Середнє значення тривалості успішного виконання алгоритму  $T_{сер}(S_{УВ})$  визначається як середньозважене значення середніх значень тривалостей  $T_k(S_{УВ})$  всіх  $K$  шляхів успішного виконання алгоритму з врахуванням ймовірності проходження  $k$ -го шляху  $p_k(S_{УВ})$  успішного виконання алгоритму як

вагового коефіцієнта, і нормується за ймовірністю успішного виконання алгоритму  $p(S_{УВ})$ . Ймовірність  $p(S_{УВ})$  та середнє значення тривалості  $T_{сер}(S_{УВ})$  успішного виконання алгоритму визначаються за формулами:

$$p(S_{УВ}) = \sum_{k=1}^K (p_k(S_{УВ})), \quad (1)$$

$$T_{сер}(S_{УВ}) = \frac{1}{p(S_{УВ})} \sum_{k=1}^K (p_k(S_{УВ}) \cdot T_k(S_{УВ})). \quad (2)$$

### 3. Порівняння методів кількісної оцінки показників ефективності алгоритму поведінки РЕК

Для порівняння різних методів оцінки показників ефективності АП було використано як тестовий алгоритм пошуку, виявлення і захоплення цілі РЕК. Для цього АП було побудовано моделі – марковську (результати для якої отримано чисельним та аналітичним методами), методом МАА логіко-ймовірнісну (для ітеративної та диз'юнктивної регулярних форм) та методом схеми шляхів, і визначено ймовірність успішного виконання –  $p(S_{YB})$  та середнє значення тривалості виконання АП–  $T(S_{YB})$ .

Для моделей тестового алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі (рис. 2) було задано такі вхідні дані:

$T_1=1$  с – середнє значення тривалості отримання цілевказівки;

$T_2=2$  с – середнє значення тривалості пошуку цілі;

$T_3=3$  с – середнє значення тривалості введення координат цілі;

$N(\Phi B_2)=0 \dots 2$  – кількість повторень процедури пошуку цілей;

$p_1=0,99$  – ймовірність переходу з ОБ “Отримання цілевказівки” через стохастичний блок альтернативного переходу “Контроль працездатності” в ОБ “Пошук цілі”;

$q_1=1-p_1$  – ймовірність переходу з ОБ “Отримання цілевказівки” через стохастичний блок альтернативного переходу “Контроль працездатності” в ОБ “Діагностика і контроль справності”;

$p_2=0,98$  – ймовірність переходу з ОБ “Пошук цілі” через стохастичний блок альтернативного переходу “Контроль працездатності” в стохастичний блок альтернативного переходу “Ціль виявлена?”;

$q_2=1-p_2$  – ймовірність переходу з ОБ “Пошук цілі” через стохастичний блок альтернативного переходу “Контроль працездатності” в ОБ “Діагностика і контроль справності”;

$p_3=0,95$  – ймовірність переходу з стохастичного блоку альтернативного переходу “Ціль виявлена?” в ОБ “Введення координат цілі”;

$q_3 = 1-p_3$  – ймовірність переходу з стохастичного блоку альтернативного переходу “Ціль виявлена?” в

детермінований блок умовного переходу – блок перевірки умови виконання циклу;

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

$p_4^- = 1 -$  ймовірність переходу з детермінованого блоку перевірки умови виконання циклу в ОБ “Діагностика і контроль справності”, якщо умова хибна;

$p_5 = 0,94$  – ймовірність переходу з ОБ “Введення координат цілі” через стохастичний блок альтернативного переходу “Контроль працездатності” в ОБ “Захоплення цілі”;

$q_5 = 1-p_5$  – ймовірність переходу з ОБ “Введення координат цілі” через стохастичний блок альтернативного переходу “Контроль працездатності” в ОБ “Діагностика і контроль справності”.

Для схеми шляхів алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі (рис. 4) було визначено ймовірності існування переходів:

$$p(L_{12}) = p_1 = 0,99;$$

$$p(L_{1F}) = q_1 = 0,01;$$

$$p(L_{23}) = p_2 \cdot p_3 = 0,98 \cdot 0,95;$$

$$p(\Phi B_2) = p_2 \cdot q_3 \cdot p_4^+ = 0,98 \cdot 0,05 \cdot 1;$$

$$p(L_{2F}) = p_2 \cdot q_3 \cdot p_4^- = 0,98 \cdot 0,05 \cdot 1;$$

$$p(L_{3S}) = p_5 = 0,94;$$

$$p(L_{3F}) = q_5 = 0,06.$$

Для визначення ймовірності 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:

$$p_k(S_{YB}) = p(L_{12}) \cdot (p(\Phi B_2))^{N(\Phi B_2)} \cdot p(L_{23}) \cdot p(L_{3S}), \quad (3)$$

$$T_k(S_{YB}) = T_1 + (N(\Phi B_2) + 1) \cdot T_2 + T_3. \quad (4)$$

Автоматизуємо розрахунок за формулами (1-4) у середовищі MathCad і визначимо ймовірність та середнє значення тривалості успішного виконання алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі.

Результати обчислень показників ефективності алгоритму пошуку, виявлення і захоплення цілі, отриманих за допомогою 4 математичних моделей, побудованих за поданими вище методами, наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати обчислень показників ефективності алгоритмів

Методи / Показники	Метод простору станів		Метод схеми шляхів	Метод МАА: ітеративний регулярний алгоритм	Метод МАА: диз'юнктивний регулярний алгоритм
	Розв'язання системи диференційних рівнянь: чисельний метод Рунге-Кутта	Розв'язання системи диференційних рівнянь: аналітичний метод матричної експоненти			
$p(S_{YB})$	0,91251	0,91251	0,91092	0,92957	0,91199
$T_{\text{ср}}(S_{YB}), \text{с}$	5,9956**	5,9899**	6,1023*	6,1052*	6**

\*  $T(S_{YB})$  нормується за  $p(S_{YB})$ ; \*\*  $T(S_{YB})$  не нормується за  $p(S_{YB})$

## Висновки

За результатами досліджень встановлено, що модель алгоритму поведінки, побудована за методом схеми шляхів, дає значення показників ефективності АП співмірні з марковською та логіко-імовірнісною моделями. Побудова моделі алгоритму поведінки за методом схеми шляхів на відміну від методу викладеному в [1] не потребує перебудови АП у деревовидну структуру та використання канонічних регулярних форм, і на відміну від методу викладеному в [2] створення структурно-автоматної моделі. Схема шляхів формується безпосередньо за блок-схемою заданого АП, що в разі скорочує затрати часу на побудову його моделі і відповідно на визначення показників його ефективності.

Ступінь формалізації методики побудови моделей алгоритмів поведінки РЕК за методом схеми шляхів є суттєво вищим, ніж у відомих методах, що дає змогу автоматизувати цей процес.

## Література

1. Сафонов, И. В. Надежностное проектирование алгоритмов управления [Текст] / И. В. Сафонов. – Владивосток, ВИНТИ, 1982. – 157 с.
2. Методика оцінки показників ефективності радіоелектронного комплексу моніторингу повітряного простору [Текст] / Б. Ю. Волочий, Л. Д. Озірковський, О. П. Шкілюк, А. В. Мащак // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2013. – № 766. – С. 192-201.

*Поступила в редакцію 22.01.2014, рассмотрена на редколлегии 25.03.2014*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В. А. Краснобаев, Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Полтава, Украина.

## МЕТОД АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Б. Ю. Волочий, Л. Д. Озірковський, О. П. Шкілюк, А. В. Мащак*

В статье представлен новый метод построения модели алгоритма поведения радиоэлектронного комплекса – метод схемы путей. Предложенный метод дает возможность учесть в модели особенности сценария программного обеспечения, а также надежность аппаратных средств и программного обеспечения. Построение модели алгоритма поведения методом схемы путей не требует перестройки алгоритма поведения в древовидную структуру и использования канонических регулярных форм. Показаны результаты оценки показателей эффективности алгоритмов поведения радиоэлектронных комплексов, полученные предложенным методом и двумя известными методами.

**Ключевые слова:** алгоритм поведения, метод схемы путей, радиоэлектронный комплекс.

## METHOD OF EFFICIENCY ANALYSIS OF BEHAVIOR ALGORITHMS OF RADIO ELECTRONIC COMPLEX SYSTEM FOR CRITICAL APPLICATIONS

*B. Y. Volochiy, L. D. Ozirkovsky, O. P. Shkiliuk, A. V. Mashchak*

This paper presents the "scheme of paths" method – new method for constructing models of the behavior algorithms of the radio electronic complex systems. The proposed method makes it possible to take into account the hardware and software reliability and the features of software scenario as well. Building a model of the algorithms behavior by means of "scheme of paths" doesn't require reorganization of algorithm of behavior to a tree structure and use of canonical regular forms. The results of efficiency indexes estimation of behavior algorithms of radio electronic complex systems, which were obtained by the proposed method and two well-known methods, are shown.

**Keywords:** behavior algorithms, "scheme of paths" method, radio electronic complex systems.

**Волочий Богдан Юрійович** – д-р техн. наук, професор кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань Національного університету "Львівська політехніка", e-mail: bvolochiy@ukr.net.

**Озірковський Леонід Діонісійович** – канд. техн. наук, доцент кафедри ТРП Національного університету "Львівська політехніка", e-mail: lozirkovsky@lp.edu.ua.

**Шкілюк Олександр Петрович** – аспірант кафедри ТРП Національного університету "Львівська політехніка", e-mail: shkiliuk@gmail.com.

**Мащак Андрій Володимирович** – аспірант кафедри ТРП Національного університету "Львівська політехніка", e-mail: himakus@yahoo.com.