

Б.А. Мандзій, Б.Ю. Волочій, Л.Д. Озірковський
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра теоретичної радіотехніки і радіовимірювань

ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКРЕТНО-НЕПЕРЕРВНИХ СТОХАСТИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ БЛОК-СХЕМ АЛГОРИТМІВ ЇХ ПОВЕДІНКИ

© Мандзій Б.А., Волочій Б.Ю., Озірковський Л.Д., 2008

Запропоновано удосконалену концепцію технології моделювання об'єктів проектування, в якій передбачено формалізований метод формування логіко-ймовірнісної моделі. Розроблена методологія орієнтована на автоматизацію процесу моделювання і на її основі створено прототип програмного забезпечення для побудови та аналізу логіко-ймовірнісних моделей складних систем.

In the article a conception of modeling technique are proposed. In this technique a formalized method of design of logical-probability models are embodied. This technique for modeling process automation is intended. On base of technique a prototype of software for design of complex system logical-probability models are created.

Вступ

При проектуванні складних інформаційних систем, різновидом яких є радіоелектронні комплекси [1], серйозною проблемою є відсутність спеціалізованого програмного забезпечення, яке можна застосувати на системотехнічному етапі проектування. Таке програмне забезпечення повинно розв'язувати задачі розроблення та дослідження моделей варіантів побудови алгоритму поведінки інформаційної системи з метою визначення кращого з них, оскільки суттєві зміни алгоритму поведінки на подальших етапах проектування або тягнуть за собою величезні матеріальні затрати або не можливі в принципі.

Сьогодні для таких задач найчастіше застосовують імітаційне моделювання, однак розроблення кожної імітаційної моделі є окремою задачею, яка потребує значних часових затрат і не є гнучкою при модифікації алгоритму поведінки. Тому авторами пропонується альтернативний підхід до моделювання складних інформаційних систем на основі оригінальної методології, в якій інформаційна система представляється як дискретно-неперервна стохастична система. Розроблена методологія є формалізована і тому на її основі пропонується створити програмне забезпечення для автоматизації проектування інформаційних систем. В статті представлено результати роботи прототипу програми.

1. Концепція технології аналітичного моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем на основі блок-схем алгоритмів їх поведінки

Концепція методології аналітичного моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем на основі блок-схем алгоритмів їх поведінки ґрунтується на підході, представленому в [2, 3].

У цьому випадку алгоритм поведінки об'єкта дослідження подається у вигляді його блок-схеми. Для дискретно-неперервних стохастичних систем такий алгоритм має характерні особливості, а саме:

- 1) кожний операційний блок відображає виконання функції системи за певний час, який має випадкову тривалість;
- 2) кожний порівнювальний блок відображає виконання відповідної умови, причому виконання приймається з певною ймовірністю.

У цій ситуації цілком слушною є така постановка задачі: як використати удосконалену технологію моделювання [2] у випадку, коли алгоритм поведінки об'єкта дослідження зображено блок-схемою? Для цього потрібно мати метод формалізованого представлення об'єкта проектування у вигляді структурно-автоматної моделі на основі блок-схеми алгоритму поведінки.

Розглянемо детальніше характерні особливості блок-схеми алгоритму поведінки дискретно-неперервної стохастичної системи. Кожний операційний блок відображає дві події: початок і закінчення виконання своєї функції. Зазначимо, що подія “закінчення виконання своєї функції” попереднього операційного блока збігається в часі з подією “початок виконання своєї функції” наступного операційного блока.

Для побудови структурно-автоматної моделі блок-схему реального алгоритму поведінки треба переформувати в еквівалентний алгоритм. Суть переформування реального алгоритму поведінки в еквівалентний полягає у наступному:

1) кожену групу послідовно з'єднаних операційних блоків, які представляють послідовне виконання функцій, треба замінити одним еквівалентним операційним блоком; при цьому порівнювальні блоки в структурі еквівалентного алгоритму поведінки треба зберегти без змін;

2) модифікацію параметрів дискретно-неперервної стохастичної системи, яка відбувається в блоках, що поєднуються, перенести без зміни послідовності в еквівалентний операційний блок;

3) визначити середнє значення та дисперсію часу виконання операції для кожного еквівалентного операційного блока.

Середній час виконання операції i -го еквівалентного операційного блока T_i визначається як сума середніх часів виконання операційних блоків, які увійшли до його складу:

$$T_i = \sum_{j=1}^{n_i} T_j, \quad (1)$$

де T_j – середній час виконання j -го блока, який входить до складу еквівалентного блоку; n_i – кількість операційних блоків алгоритму поведінки, які входять до складу i -го еквівалентного блоку.

Дисперсія часу виконання операції i -го еквівалентного операційного блоку алгоритму поведінки $D[T_i]$ визначається за формулою:

$$D[T_i] = \sum_{j=1}^{n_i} D[T_j], \quad (2)$$

де $D[T_j]$ – дисперсія часу виконання j -го блока, який входить до складу еквівалентного блоку;

4) до еквівалентного алгоритму поведінки треба ввести порівнювальні блоки для відображення ненадійності відповідних систем об'єкта дослідження. Результат перевірки умови “чи є справною система?” має бути поданий показником надійності цієї системи, а саме ймовірністю безвідмовної роботи.

Підсумовуючи проведений розгляд, зазначимо, що вхідними даними для побудови моделі об'єкта дослідження є:

- 1) склад і структура об'єкта дослідження;
- 2) параметри автономних систем, які входять до складу об'єкта дослідження;
- 3) блок-схема алгоритму поведінки об'єкта дослідження;
- 4) значення середньої тривалості виконання та дисперсії тривалості виконання кожного операційного блока алгоритму поведінки;
- 5) ймовірності прийняття рішення “ТАК”, і доповнюючи до одиниці, отримуємо числове значення ймовірності прийняття рішення “НІ” для кожного порівнювального блоку алгоритму поведінки;
- 6) ймовірності безвідмовної роботи автономних систем.

Алгоритм поведінки є поєднанням операційних блоків та блоків порівняння. В алгоритмі існує множина маршрутів (шлях з початкового блоку в кінцевий), кожен з яких є впорядкованим переліком блоків, що виконуються. Загальна кількість можливих маршрутів реалізацій алгоритму функціонування дорівнює 2^k , де k – кількість блоків порівняння (умовних переходів) в алгоритмі.

Залежно від поєднання значень початкових даних в процесі виконання алгоритму поведінки обираються різні маршрути, ймовірності 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 ймовірностями правильного виконання та часом виконання алгоритму. Тому для оцінки ймовірності правильного виконання та часу виконання алгоритму необхідно динаміку поведінки інформаційної системи описати статистично, за допомогою транзитивних ймовірностей альтернативних переходів P_{mn} від m -го блока до n -го.

Для оцінки показників ефективності інформаційної системи використовується модель алгоритму його поведінки у вигляді графу, в якому вершини відповідають операційним блокам, а дуги – переходам. Якщо надати кожній дузі значення ймовірності переходу по ній P_{mn} , то кожному маршруту алгоритму L можна поставити у відповідність ймовірність його існування

$$P(L) = \prod_{(m,n) \in L} P_{mn} \quad (3)$$

та час його проходження (виконання)

$$T(L) = \sum_{m \in L} T_{Bm}, \quad (4)$$

де T_{Bm} – час виконання m -го операційного блока, що лежить на даному маршруті.

Свою чергою, ймовірність $P_{ув}$ та середній час $T_{ув}$ успішного виконання завдання інформаційною системою визначаються так:

$$P_{ув} = \sum_{L \in L_{ув}} P(L), \quad (5)$$

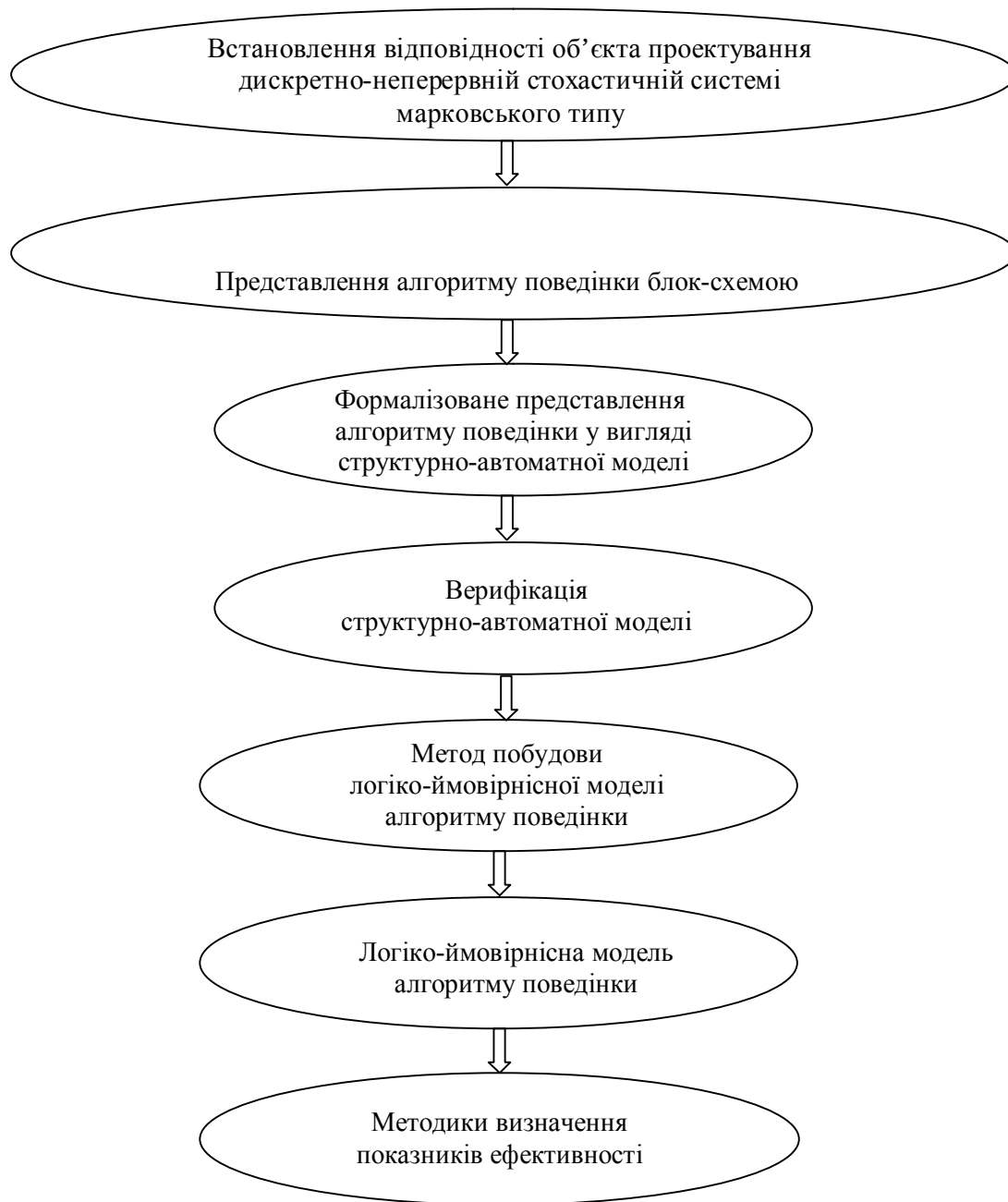
$$\bar{T}_{ув} = \frac{1}{P_{ув}} \sum_{L \in L_{ув}} P(L) \cdot T(L), \quad (6)$$

де $L_{ув}$ – множина шляхів, що ведуть до блоку, який фіксує успішне виконання завдання.

Якщо роботу кожного операційного блока описати як процедуру, в якій відбувається перевірка умов, розрахунок інтенсивностей переходів та ймовірностей 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 успішного виконання завдання $L_{ув}$, необхідно запам'ятати всі місця розгалужень алгоритму, через які прокладений цей маршрут, щоб мати можливість повернутися до них та послідовно перебрати всі можливі маршрути $L_{ув}$.

У процесі проходження кожного маршруту необхідно “накопичувати” значення ймовірностей та часу за формулами (3) та (4). В момент досягнення операційного блока, який символізує успішне виконання завдання, необхідно “скинути” результати в ньому та повернутися до останнього розгалуження. У цьому операційному блоці результат “накопичується” згідно з формулами (5) та (6). Після проходження всіх можливих маршрутів успішного виконання завдання $L_{ув}$ отримуємо значення ймовірності успішного виконання завдання та середнього часу успішного виконання завдання за заданих початкових умов.

Запропоновану концепцію технології моделювання алгоритмів поведінки дискретно-неперервних стохастичних систем марковського типу на основі їх блок-схем представлено на рисунку.



Концепція технології моделювання алгоритмів поведінки дискретно-неперервних стохастичних систем марковського типу на основі їх блок-схем

Для реалізації такої концепції технології моделювання необхідно було розв'язати такі задачі:

- 1) розробити метод формалізованого представлення об'єкта проектування у вигляді структурно-автоматної моделі на основі блок-схеми алгоритму поведінки;
- 2) запропонувати метод побудови моделі алгоритму поведінки у вигляді графу станів і переходів;
- 3) запропонувати метод побудови логіко-ймовірнісної моделі алгоритму поведінки;
- 4) запропонувати методики визначення показників ефективності об'єкта проектування на основі його марковської та логіко-ймовірнісної моделей.

Розв'язання цих задач дасть змогу отримати необхідне математичне та алгоритмічне забезпечення для розроблення програмного модуля.

2. Метод формалізованого представлення інформаційної системи у вигляді структурно-автоматної моделі на основі блок-схеми алгоритму поведінки

При розробленні структурно-автоматної моделі необхідно розв'язати такі задачі [2]:

Ø сформувати вектор станів;

Ø визначити множину формальних параметрів моделі, що складається з констант, які визначають структуру і граничні можливості стохастичної системи;

Ø описати алгоритм поведінки системи у вигляді базових подій, вибраних із сукупності всіх можливих подій, які відбуваються у системі;

Ø для кожної базової події з множини базових подій визначити умови і обставини, за яких відбувається ця подія (умови та обставини є логічними функціями, параметрами яких є компоненти вектора стану та константи з множини формальних параметрів);

Ø для кожної ситуації, представленої умовами та обставинами, сформувати формули розрахунку інтенсивності події;

Ø кожній формулі розрахунку інтенсивності події за необхідності треба поставити у відповідність групу альтернативних переходів, для яких подати формули розрахунку ймовірностей альтернативних переходів;

Ø кожному альтернативному переходу або безпосередньо формулі розрахунку інтенсивності події (якщо альтернативні переходи відсутні) встановити правило модифікації компонент вектора станів;

Ø якщо в алгоритмі поведінки існує поглинаючий стан, то необхідно сформувати логічну функцію для умови потрапляння до поглинального стану.

Подамо метод розроблення структурно-автоматних моделей дискретно-неперервних стохастичних систем на основі блок-схем їхніх алгоритмів поведінки.

2.1. Формування вектора станів. Незважаючи на те, що задача визначення компонент вектора станів має індивідуальний характер для кожного об'єкта дослідження, все ж можна дати деякі рекомендації для її розв'язання. Вектор станів повинен складатися з компонент, які однозначно визначають стан стохастичної системи у кожний момент часу. Кількість компонент в описі стану повинна відповідати кількості параметрів, зміна яких подає поведінку системи. У практиці системного аналізу доводиться мати справу із стохастичними системами, які складаються з кількох автономних систем. Під час функціонування стохастичної системи автономні системи, що входять до її складу, є джерелами інформації. А тому в таких випадках в описі стану повинні бути компоненти, які зображують діючу систему в кожний момент часу. Оскільки стан стохастичної системи визначається значеннями параметрів системи, яка є джерелом інформації у цей момент часу, то в описі стану повинно відображатись відповідними компонентами значення її параметрів. При цьому в описі стану повинні бути відображені ті параметри кожної автономної системи, які істотно впливають на вибрані показники ефективності стохастичної системи загалом. Оскільки логіку переходу із стану в стан задає алгоритм поведінки, то ще одна компонента в описі стану стохастичної системи повинна вказувати, який саме його операційний блок виконується у цьому стані. Приклад представлення вектора стану ілюструє табл. 1.

Таблиця 1

Ілюстрація опису компонент вектора станів стохастичної системи

№ ком-поненти	Зміст компоненти ВС	Умове позначення	Тип компоненти
1	Номер операційного блока, еквівалентного алгоритму поведінки	N	Змінна всього типу
2	Система, яка є джерелом інформації в конкретній ситуації	AD	Змінна всього типу
3	Кількість повторних циклів звернення до зовнішнього джерела інформації	AKP	Матриця-рядок з 4-х елементів, кожен з яких є змінною всього типу

2.2. Формування множини формальних параметрів. Множина формальних параметрів складається з констант, які визначають: структуру стохастичної системи, граничні значення компонент вектора станів, параметри алгоритму поведінки, інтенсивності потоків первинних подій, наявність перемикачів тощо.

2.3. Формування множини базових подій. Стан об'єкта моделювання змінюється під впливом потоків подій. Функціонування стохастичної системи відображає алгоритм поведінки, а отже, події, які приводять до зміни стану, введені до його операційних блоків. Тому під час розроблення структурно-автоматної моделі стохастичної системи використаємо цю особливість (обставину), яка дає оригінальне і просте розв'язання задачі визначення множини подій. Множина базових подій містить лише одну базову подію – “закінчення виконання операційного блока” еквівалентного алгоритму поведінки.

2.4. Формування множини умов та обставин. Умови та обставини мають бути подані логічними функціями, які складаються з двох частин: обов'язкової (представляє власне умову) і додаткової (представляє обставини). Ці дві частини поєднані операцією логічного множення. Додаткова частина логічної функції відсутня, коли відсутні обставини. До складу обов'язкової частини входить номер операційного блока. Додаткова частина може складатися з однієї або декількох компонент, які також поєднуються між собою операцією логічного множення. Наслідки, до яких приводить подія, залежать від умов та обставин, за яких ця подія реалізується. Тому події “закінчення виконання операційного блока” ставлять у відповідність умови і обставини з множини умов та обставин.

Для стохастичної системи, алгоритм поведінки якої подано блок-схемою, в умовах реалізації події доцільно зображувати: номер операційного блока еквівалентного алгоритму поведінки, який виконується, і за потреби (залежно від умов застосування стохастичної системи) поєднані з ним операцією логічного множення значення відповідної компоненти (або кількох компонент) вектора станів, що відображають параметри окремих систем, які при виконанні цього блока набувають граничних значень.

2.5. Формування формул розрахунку інтенсивностей подій. Умовам та обставинам, при яких відбувається подія, відповідають інтенсивності переходів із стану в стан. Тому для кожної умови та обставини з множини умов та обставин визначається формула розрахунку інтенсивності переходу (ФРІП), який зумовлений визначеною подією.

Формули розрахунку інтенсивностей переходів для всіх умов та обставин однакові:

$$\lambda_i = \frac{1}{T_i}, \quad (7)$$

де T_i – середній час виконання i -го операційного блока, еквівалентного алгоритму поведінки.

2.6. Формування формул розрахунку ймовірностей альтернативних переходів. При визначенні напрямів переходів із стану в стан необхідно враховувати вплив випадкових чинників. Кожний чинник породжує групу альтернативних переходів. У таких випадках кожній формулі розрахунку інтенсивності переходу ставиться у відповідність група альтернативних переходів і формуються формули розрахунку умовних ймовірностей альтернативних переходів. Для сформованої множини формул розрахунку умовних ймовірностей альтернативних переходів необхідно перевіряти, аби за всіх можливих умов сума ймовірностей альтернативних переходів для всіх ланцюжків (напрямків), які виходять з одного операційного блока, дорівнювала одиниці.

Формули розрахунку ймовірностей альтернативних переходів (ФРІАП) формуються у таких випадках:

а) якщо після операційного блока наступним йде один чи декілька порівнювальних блоків. У такому випадку необхідно задати значення ймовірності альтернативного переходу $P_{m,n}$ з m -го операційного блока алгоритму поведінки в n -й, внаслідок прийняття певного рішення при проходженні одного або кількох порівнювальних блоків алгоритму поведінки. Також необхідно задати доповнюючі до одиниці числові значення ймовірності: $P_{m,k}=1-P_{m,n}$. Дані ймовірності – $P_{m,n}$ подаються у множині

формальних параметрів. Формули розрахунку ймовірностей альтернативних переходів доцільно подавати у вигляді табл. 2.

Таблиця 2

Формули розрахунку ймовірностей альтернативних переходів

Ймовірність альтернативного переходу	Початкове значення	Коментар
$P_{2,7}$	0,85	Ймовірність переходу з операційного блока 2 в блок 7 після проходження порівнювальних блоків, які розміщені між ними
$P_{2,4}=1- P_{2,7}$	0,15	Доповнювальна ймовірність
.....		
$P_{m,n}$	0,24	Ймовірність переходу з блока m в блок n після проходження порівнювальних блоків, які розміщені між ними
$P_{m,k}=1- P_{m,n}$	0,76	Доповнювальна ймовірність
.....		

б) якщо під час функціонування стохастичної системи як джерело інформації необхідно вибрати одну з систем, яка найкраще працює в конкретних умовах. Це означає, що після прийняття рішення з альтернативною ймовірністю $P_{m,a}$ дуже часто необхідно ще раз приймати рішення для іншого блока порівняння. І ці нові рішення у вигляді ймовірностей альтернативних переходів доцільно подати у іншій табличній формі (табл. 3).

Це пов'язано з тим, що блоки порівняння, яких стосуються ці ймовірності альтернативних переходів, визначають режими роботи стохастичної системи: наприклад, чи то робота, як з джерелом інформації, з системою 1, з системою 2 або системою 3. Тоді ймовірність $P_{m,a}$ відповідає переходу до іншого порівнювального блока, після чого можливі альтернативні переходи до блоків **A**, **B**, **C**, які символізують початок роботи з системою 1, системою 2 або системою 3 – відповідно. Цьому випадку в табл. 3 відповідає рядок $P_{m,a}$, який, перетинаючись з відповідними стовпчиками, дає необхідні ймовірності альтернативних переходів.

Таблиця 3

Ймовірності альтернативних переходів

Режим роботи	Система 1	Система 2	Система 3
α	A	B	C
.....			
$P_{m,\alpha}$	0,4	0,3	0,3
.....			

Зауваження: якщо між двома операційними блоками немає порівнювальних, то альтернативний перехід відсутній, і розрахунок відповідної ймовірності не проводиться.

2.7. Формування правил модифікації компонент вектора станів. Кожному з альтернативних переходів відповідає правило модифікації компонент вектора станів. Правило модифікації компонент вектора станів (ПМВС) відображає:

а) номер наступного операційного блока, куди здійснюватиметься перехід;

б) параметри системи, які змінилися під час виконання цього операційного блока та правила зміни цих параметрів або їхні нові значення.

Сформовані компоненти структурно-автоматної моделі для подальшої роботи з нею доцільно подати у вигляді табл. 4.

**Узагальнене представлення структурно-автоматної моделі об'єкта дослідження,
сформованої на основі блок-схеми алгоритму поведінки**

Події	Умови та обставини	ФРІП	ФРІАП	ПМВС
Закінчення виконання операційного блока	N=1	$\lambda_1 = 1/T_1$	–	N:=2
				
	(N=K)and(AD=0) and(Cod=1)and...	$\lambda_k = 1/T_k$	$P_{k,d} * P_{k,T}$	N:=T; DZ:=1; APW:= APW+1
				

Ця технологія моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем є особливо раціональною, коли автономні системи, які входять до її складу, спроектовані (або проектується) як відмовостійкі системи [4]. Це тому, що в поданому способі побудови комплексної математичної моделі об'єкта дослідження закладено декомпозицію задачі, і складна сама по собі задача надійнісного аналізу відмовостійкої системи розв'язується окремо. Описана технологія моделювання була застосована під час розв'язання ряду задач системотехнічного проектування прицільного радіоелектронного комплексу [5, 6]. Алгоритм поведінки прицільного радіоелектронного комплексу (його фахова назва: алгоритм пошуку та виявлення цілей) відповідає математичному представленню у вигляді дискретно-неперервної стохастичної системи, в якій реалізовано функціональне резервування на рівні складових радіоелектронних систем. Основні результати дослідження ефективності прицільного радіоелектронного комплексу із заданим алгоритмом пошуку та виявлення цілей подано в підрозділі 3.

3. Метод побудови логіко-ймовірнісної моделі алгоритму поведінки радіоелектронного комплексу, представленого його блок-схемою

Цей метод дає змогу отримати ймовірність і середній час виконання завдання без отримання для них закону розподілу і придатний для аналізу дискретно-неперервних стохастичних систем, при цьому не породжує проблем, пов'язаних з величиною фазового простору при збільшенні кількості компонент вектора станів.

Логіко-ймовірнісна модель будується у вигляді програмного модуля з використанням підходів, наведених у [7–9] на основі розробленої структурно-автоматної моделі (метод побудови див. в підрозділі 2 за такими правилами:

1) логіко-ймовірнісна модель у вигляді програмного модуля (програмна модель) будується у вигляді послідовності процедур. Кількість процедур повинна відповідати кількості умов та обставин в структурно-автоматній моделі. Кожному рядку УМОВА-ФРІП-ФРІАП-ПМВС відповідає одна процедура логіко-ймовірнісної моделі. Процедура складається з перевірок і власне процедури.

2) на початку кожної процедури здійснюються дві обов'язкові перевірки.

– перевіряється, чи довжина шляху не перевищила максимальну: $L < L_{\max}$. Якщо результат позитивний, то здійснюється наступна перевірка, якщо ні, то переходять до наступної процедури;

– перевіряється, чи величина ймовірності проходження шляху не стала меншою за мінімальну ймовірність існування шляху: $P(L) > P_{Tr_min}$. Якщо результат перевірки позитивний, то виконують чергову процедуру. Якщо негативний, то виконання процедур закінчується.

3) у випадку, коли між двома операційними блоками немає блоку порівняння (в структурно-автоматній моделі немає альтернативного переходу) і модифікації параметрів РЕС не відбувається, а змінюється тільки номер операційного блоку, то процедура формується з виразів (3) і (4) та номера блоку, куди здійснюється перехід, у вигляді:

$$T(L+1) = T(L+1) + T(BN) \quad (8)$$

$$DT(L+1) = DT(L+1) + DT(BN) \quad (9)$$

$$P(L+1) = P(L) * 1 \quad (10)$$

перейти на блок М,

де $P(L+1)$, $T(L+1)$, $DT(L+1)$ – поточні значення накопичених за (3), (4) ймовірності існування, середнє значення часу та дисперсії часу проходження цього шляху в алгоритмі поведінки; $T(BN)$ – середнє значення тривалості виконання N-го операційного блоку алгоритму поведінки; М – номер операційного блоку, до якого здійснюється перехід.

4) якщо між операційними блоками є блок порівняння, то вираз (10) набуває вигляду:

$$P(L+1) = P(L) * P_{n,m}, \quad (11)$$

де $P_{n,m}$ – ймовірність альтернативного переходу з блоку m в блок n.

5) якщо після виконання операційного блоку необхідно вибрати одну з радіоелектронних систем для виконання завдання відповідно до конкретних умов застосування радіоелектронного комплексу (див. підрозділ 2), вираз (10) набуде вигляду:

$$P(L+1) = P(L) * P_{n,d}. \quad (12)$$

6) для проходження всіх шляхів необхідно запам'ятати місця розгалужень алгоритму поведінки і значення $P(L)$ у місцях розгалужень.

Було розроблено логіко-ймовірнісну модель алгоритму поведінки прицільного радіоелектронного комплексу, наведеного його блок-схемою і за допомогою прототипу програми отримано показники ефективності.

Метод формування логіко-ймовірнісної моделі вільний від недоліку, притаманного методу простору станів, яким формують марковську модель, що полягає в обмеженні простору станів. Цього досягнуто принципово іншим підходом до розв'язання задачі побудови моделі. Треба зазначити також багатократне зменшення часу на отримання результатів за допомогою логіко-ймовірнісної моделі та зручність при її використанні, оскільки результат, отриманий за допомогою марковської моделі, вимагає математичної обробки, яка полягає в розв'язанні системи рівнянь та числовому диференціюванні з подальшим визначенням математичного сподівання. До переваг методу простору станів належить те, що він дає змогу отримати закони розподілів випадкових величин, на відміну від логіко-ймовірнісного методу, який дає тільки параметри розподілів.

Що стосується збігу кінцевих результатів обох методів, то були проведені тестування з різними наборами початкових даних. Результат засвідчив те, що оцінка середнього значення тривалості та ймовірності виконання алгоритму функціонування логіко-ймовірнісним методом є оптимістичною відносно оцінки, яку дає метод простору станів. При заданій похибці оцінки логіко-ймовірнісним методом, що дорівнює $P_{Tr_Min} = 10^{-10}$, відносний незбіг для ймовірностей не більший ніж 0,001 %, а для середнього значення тривалості – не більший ніж 3 %, що є достатнім для практичного використання результатів.

Треба зазначити, що за обидвома методами можна оцінити дисперсію часів досягнення заданих кінцевих станів, але у межах цієї роботи вплив зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих чинників на дисперсію часу реалізації алгоритму функціонування системи не аналізувався.

4. Ілюстрація можливостей технології моделювання для аналізу ефективності прицільного радіоелектронного комплексу із заданим алгоритмом пошуку та виявлення цілей з врахуванням ненадійності апаратних засобів

Радіоелектронний комплекс [3] складається з кількох різнотипних радіоелектронних систем, здатних залежно від дії зовнішніх чинників автономно або при їх взаємодії розв'язувати поставлену задачу.

Для прийняття проектних рішень необхідно дати кількісну оцінку впливу на показник ефективності прицільного РЕК таких чинників:

- Ø різний рівень кваліфікації оператора під час введення повідомлених даних та виконання захоплення цілей на екрані;
- Ø одночасна поява різної кількості цілей;
- Ø відмови апаратних засобів радіоелектронних систем (РЕС);
- Ø неточності повідомлення цілевказівки (ЦВ).

Вхідними даними для проведення досліджень є: склад прицільного РЕК, який описаний вище; параметри РЕС (подані в табл. 5); блок-схема еквівалентного алгоритму пошуку та виявлення цілей (АПВЦ); середні значення та дисперсії часу виконання операційних блоків еквівалентного АПВЦ; ймовірності прийняття рішення “ТАК” для порівнювальних блоків; інтенсивності відмов для кожної РЕС.

Таблиця 5

Параметри радіоелектронних систем прицільного РЕК

РЕС	Кількість порогів виявлення	Кількість точок захоплення цілі	Кількість циклів повторного звернення до ЦВ	Кількість зон виявлення
РЛС СЦ	7	6	2	2
ТОВ	7	6	1	1
ТПВ	5	6	1	1

За допомогою розробленої логіко-ймовірнісної моделі розв’язано задачі дослідження різних варіантів побудови прицільного РЕК, результати яких наведені в табл. 6.

Таблиця 6

Результати досліджень за допомогою логіко-ймовірнісної моделі

Вхідні дані дослідження РЕК	$P_{вз}$	$T_{вз}, c$
Кількість захоплюваних цілей для РЛС супроводу цілей (СЦ), телевізійно-оптичного візора (ТОВ), тепловізора (ТПВ): (4;4;4); Час захоплення заданої кількості цілей для РЛС СЦ, ТОВ, ТПВ, с: 4;4;4 (кваліфікація висока), ймовірність появи несправності при виконанні операційного 10^{-3}	0.993020	21,631
Ймовірності появи несправностей в системах комплексу зменшені вдвічі	0.996505	19,422
Ймовірності появи несправностей в системах комплексу збільшені вдвічі	0.986079	22,837

5. Результати та висновки

1. Розроблено концепцію удосконалення технології моделювання об’єктів проектування, в якій передбачено формалізовані методи формування логіко-ймовірнісної моделі, орієнтованої на автоматизацію процесу побудови та аналізу моделей. Реалізацію концепції забезпечують:

1.2. Запропоноване формалізоване представлення структури і поведінки об’єкта проектування у вигляді структурно-автоматної моделі та метод її побудови на основі блок-схеми алгоритму поведінки;

1.3. Запропонований новий формалізований метод розроблення логіко-ймовірнісних моделей об’єктів проектування на основі представлення структури і алгоритму поведінки об’єкта проектування у вигляді структурно-автоматної моделі.

2. До істотних переваг удосконаленої технології моделювання належать:

2.2. Відсутність необхідності проведення аналізу подій, умов та обставин в поведінці об’єкта проектування, оскільки введено поняття події “закінчення виконання операційного блоку” ;

2.3. Можливість поєднувати функціональну і надійнісну поведінку в одній моделі об’єкта дослідження шляхом введення до блок-схеми алгоритму функціональної поведінки додаткових операторів, які відображають надійнісну поведінку;

2.4. Істотне зменшення затрат часу на розв'язання задач багатоваріантного аналізу порівняно з відомою технологією моделювання за рахунок автоматизації побудови моделей на основі розробленого програмного забезпечення.

3. Можливості запропонованої технології моделювання проілюстровані прикладом аналізу ефективності прицільного радіоелектронного комплексу із заданою блок-схемою алгоритму пошуку та виявлення цілей з врахуванням ненадійності апаратних засобів за допомогою розробленого програмного забезпечення.

1. Ярлыков М.С. Радиоэлектронные комплексы – современный этап развития радиоэлектроники // *Радиотехника*. – 1995. – № 4–5. – С.134–136. 2. Волочий Б.Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем. – Львів: Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2004. – 220 с. 3. Волочий Б.Ю. Технології моделювання алгоритмів функціональної та надійнісної поведінки телекомунікаційних систем // *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. – К., 2006. – Вип. 35. – С. 31 – 40. 4. Volochiy B., Ozirkovskyy L., Makhovskyy A. Modeling of fault-tolerant system with mixed structural redundance on the basis of iterative principle of construction // *Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції TCSET 2006 „Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії”*. – Львів: – Вид-во Нац. ун-ту „Львівська політехніка”, 2006. – С. 189 – 190. 5. Волочий Б.Ю., Озірковський Л.Д., Улибін Д.О. Марковська модель як засіб комплексного моделювання інформаційних систем з функціональним резервуванням // *Вісник Нац. ун-ту „Львівська політехніка”*, 2003. – С. 101–109. 6. Mandzij B., Woloczij B., Ozirkowskyj L., Ulybin D. Kompleksowe modelowanie systemu informatycznego z rezerwowaniem funkcjonalnym // *Prace II Krajowego Sympozjum „Modelowanie i symulacja komputerowa w technice” MiS'2003, Lodz, 2003*. – S. 133 – 136. 7. Volochiy B., Matichyn O., Ozirkovskyy L. Specialized program module for forming the program models of behavior algorithms of information systems // *Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції TCSET 2006 „Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії”*, Львів. – Вид-во Нац. ун-ту „Львівська політехніка”, 2006. – С. 181 – 182. 8. Volochiy B., Ozirkovskyy L., Matichin O. Mathematical software for creation of fault-tolerant systems program models // *Proceedings of the VIIIth International Conference CADSM 2005* – P. 372. 9. Мандзий Б.А., Волочий Б.Ю., Матичин А.В., Озірковский Л.Д. Концепция программного модуля для моделирования структуры и поведения информационных систем // *НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО: Труды международного симпозиума. Т.1 / Под ред. Н.К. Юркова*. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006. – С. 13 – 15.