

**МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ СТРУКТУРНОЇ ЖИВУЧОСТІ
ІЄРАРХІЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ РЕГІОНАЛЬНИХ
РАДІОЕЛЕКТРОННИХ КОМПЛЕКСІВ**

Two methods of reliability analysis of regional radio electronic complex system with a hierarchic structure are described in article. Methods are used for estimation of structural vitality of symmetric and non-symmetric hierarchic structure with simple and complex submission.

Розглянуто два методи надійнісного аналізу регіональних радіоелектронних комплексів з ієрархічною структурою. Методи призначені для оцінки структурної живучості симетричних та несиметричних ієрархічних структур простого і складного підпорядкування.

Постановка задачі. До класу регіональних радіоелектронних комплексів (РЕК) з ієрархічною структурою (ІС) відносять комплекси збору інформації (наприклад, комплекси екологічного моніторингу, телеметричні комплекси), комплекси оповіщення. Для інформаційних мереж (ІМ) РЕК є визначені принципи побудови, які закладають під час їх проектування [1]. Ці принципи зумовлені специфічними вимогами, які має забезпечувати ІМ, а саме оперативність доставки інформації і живучість РЕК. Структура ІМ визначає потенційні можливості для реалізації оперативності доставки інформації та забезпечення заданого рівня живучості РЕК.

Системотехнічне проектування радіоелектронних комплексів (СП РЕК) вирішується із застосуванням декомпозиційних технологій [2, с. 64], які породжують задачі структурного, функціонального та надійнісного проектування. Актуальною проблемою системотехнічного проектування регіональних РЕК залишається проблема надійнісного проектування структури їх інформаційних мереж (ІМ). Ця проблема зумовлена тим, що структура ІМ певною мірою визначає живучість регіонального РЕК. Надійнісне проектування РЕК передбачає забезпечення заданого рівня живучості та властивості відмовостійкості його радіоелектронних систем (РЕС) [3]. У процесі проектування структури РЕК однією із задач є забезпечення заданого рівня структурної живучості.

Показниками надійності РЕК, у цьому розгляді, служать ймовірність безвідмовної роботи за визначений час та середнє значення тривалості роботи до катастрофічної відмови. Побудова надійнісної моделі РЕК з ІС у разі використання для її математичного представлення марковського випадкового процесу має два суттєвих обмеження:

- складність формалізації процедури побудови простору станів;
- збільшення кількості рівнів ієрархії і кількості елементів на рівнях супроводжується надзвичайно швидким зростанням простору станів, а відповідно порядку системи диференціальних рівнянь і об'єму пам'яті комп'ютера, необхідно для зберігання матриці коефіцієнтів.

Актуальність задачі подальшої розробки методів надійнісного проектування сіткових та ієрархічних структур ІМ РЕК зумовлена тим, що існуючі методи вимагають урахування низки обмежень, які суттєво віддаляють результати аналізу від реальних значень. Автори методик оптимального синтезу топологічної структури ІМ [2, 5] не розглядають питань її надійнісного аналізу (НА), хоча і відзначають необхідність розробки відповідних засобів [6]. Існують роботи, в яких пропонуються методи НА складних структур [7–9]. Проте їх ефективність (з погляду використання на етапі СП РЕК) є низькою, оскільки їм властива велика трудоем-

ність, яка під час аналізу багатьох варіантів технічних рішень не вкладається в рамки обмеженої тривалості етапу системотехнічного проектування.

Довідник [7] містить розділ, присвячений надійності систем із складними структурами, зокрема, ієрархічною. Однак представлені в них вирази для визначення показників надійності мають обмеження для їх практичного використання, а саме ієрархічні структури мають бути рекурентними (однорідними) та ізотропними (ймовірнісні параметри ідентичних за призначенням елементів системи мають бути однаковими). Для ІС з простим підпорядкуванням умова ізотропності означає, що показники надійності всіх елементів одного рівня ієрархії однакові і кожному елементу одного рівня ієрархії підпорядковано однакова кількість елементів (коефіцієнт розгалуження постійний). Рекурентність побудови ІС полягає в тому, що кожний елемент системи (за винятком елементів 0-го та n -го рівнів) підпорядкований одному елементу попереднього рівня і йому підпорядкована певна група елементів наступного рівня. Для ІС з складним підпорядкуванням умова ізотропності означає, що всі елементи системи мають однакові показники надійності; всі короткі лінії зв'язку мають однакові показники надійності; всі довгі лінії зв'язку також мають однакові показники надійності; коефіцієнт розгалуження є постійний для всіх рівнів.

У роботі [10, с. 50–54] подано метод НА симетричних ІС (всі елементи одного рангу ідентичні за всіма характеристиками) при наступних умовах і обмеженнях. Вважається, що корисний ефект від системи створюють елементи найнижчого рівня (рангу), але для їх нормального функціонування має існувати зв'язок з елементом нульового рангу. У такій системі ефективність функціонування поступово погіршується із збільшенням кількості непрацездатних елементів найнижчого рівня. Вважають, що ефективність системи не залежить від взаємного розміщення працездатних елементів найнижчого рівня.

Для несиметричних ІС з простим і складним підпорядкуванням авторіві роботи [10] вдалось побудувати доступну для дослідження (оцінки ефективності) модель лише для випадку, коли вихідний ефект системи відповідає лінійній функції від кількості працездатних елементів. Вважають, що вихідний (корисний) ефект, як і у випадку симетричних ІС, залежить від нормального функціонування елементів найнижчого рівня. Але елементи з різними номерами по-різному впливають в загальний вихідний (корисний) ефект системи. Елементи найнижчого рівня взаємозалежні, оскільки вони підпорядковані одним і тим же елементам вищого рівня.

Головною проблемою задачі НА, якщо зростає складність сіткових та ієрархічних структур ІМ., є проблема комбінаційної складності, яка зумовлює значні затрати ресурсів комп'ютера (машинний час та оперативна пам'ять). Вирішення цієї проблеми вимагає пошуку шляхів підвищення ефективності методів і алгоритмів визначення показників зв'язності.

Ми проводили пошук у двох напрямках: удосконалення відомих підходів до задачі НА ІС та створення нового підходу, який максимально знімає обмеження в існуючих методах. Для розв'язання задач надійнісного проектування РЕК або їх систем з симетричною або несиметричною ІС із простим підпорядкуванням елементів розроблено метод формування її логіко-імовірнісної моделі, який базується на декомпозиції ІС на вкладені підструктури [11]. Цей метод дає змогу суттєво знизити вимоги до об'єму оперативної пам'яті комп'ютера та зменшити затрати часу на розрахунок.

У 1996 році [12] в нас “народився” метод формування логіко-імовірнісних моделей ІМ із сітковою структурою. Цей метод отримав назву “метод логіко-імовірнісного траєкторного моделювання”. В його основу покладено принцип комутації “імовірнісних пакетів” під керуванням спеціальних допоміжних структур даних, побудованих на основі “родового дерева” простих шляхів. Проведені дос-

лідження [13] виявили вищу обчислювальну ефективність методу порівнянню з іншими відомими методами (модифікований метод розкладу сіткової структури відносно ключового елемента, кореляційний метод). Ідея цього методу дозволила запропонувати новий метод, який дає змогу аналізувати несиметричні ієрархічні структури складного підпорядкування [14].

Далі розглянуто запропоновані методи надійнісного аналізу ієрархічних структур ІМ РЕК.

Метод надійнісного аналізу на основі декомпозиції симетричної або несиметричної ієрархічної структури простого підпорядкування на вкладені підструктури. У межах класу РЕК з ІС за її особливостями для побудови моделей доцільно виділити окремі підкласи, а саме з простим і складним підпорядкуванням елементів. Ми розглядаємо РЕК, для яких є справедливі такі умови:

1) РЕК зберігає працездатність до того часу, поки з його вершинного елемента є доступ до визначеної мінімальної кількості елементів M найнижчого рівня, причому $M < N$ (N – кількість елементів найнижчого рівня);

2) відмови окремих (автономних) систем РЕК є незалежними.

Для ІС без відновлення несправних елементів ймовірність безвідмовної роботи, при сформульованій вище умові працездатності, визначається розподілом ймовірностей для випадкової кількості $\eta(t)$ нормально функціонуючих (справних і доступних з вершини ІС) елементів найнижчого рівня:

$$P_{\text{а.д.}}(t) = \sum_{i=M}^N P_i(t), \quad (1)$$

де $P_i(t) = P\{\eta(t) = i\}$; M – мінімальна кількість елементів найнижчого рівня, яка задовольняє умову працездатності РЕК з ІС; N – загальна кількість елементів найнижчого рівня.

Ефективним методом знаходження розподілу ймовірностей для η є декомпозиція ІС на вкладені підструктури з наступним сходженням від найпростіших підструктур до ієрархічної структури в цілому. Декомпозиція ІС на вкладені підструктури полягає в тому, що ієрархічна структура представляється як вершинний елемент, до якого під'єднані підструктури, вершинними елементами яких є елементи наступного, нижчого рівня. У загальному випадку до вершинного елемента можуть бути під'єднані і елементи найнижчого рівня. Усі вкладені підструктури також підлягають декомпозиції, аж до елементів найнижчого рівня. Елементарною підструктурою, яка вже не підлягає декомпозиції, є вершинний елемент передостаннього рівня, до якого під'єднані всі елементи найнижчого рівня. Процес декомпозиції ІС ілюструє рис. 1.

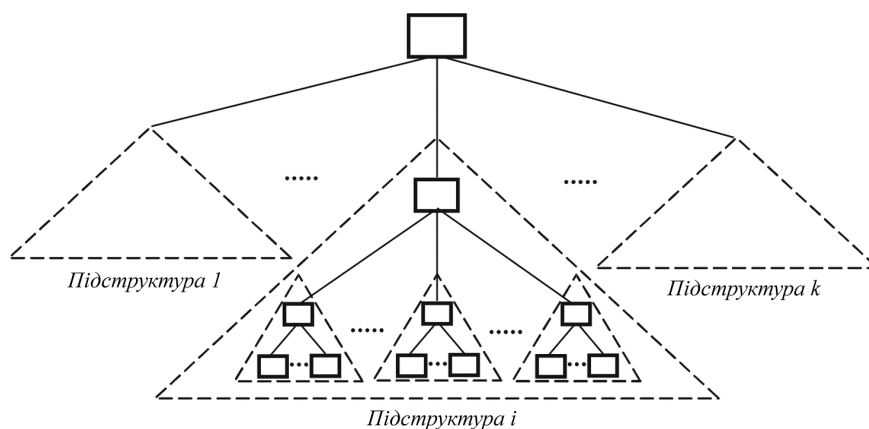


Рис. 1. Ілюстрація процесу декомпозиції ієрархічної структури.

Кожна i -та підструктура характеризується кількістю доступних з її вершини елементів найнижчого рівня $\eta_i(t)$. Очевидно, що $\eta_i(t)$ змінюється в часі внаслідок дії випадкового потоку відмов елементів ІС і є дискретною випадковою величиною.

Розглянемо процес отримання розподілу ймовірностей дискретної випадкової величини $\eta_i(t)$ для підструктури будь-якого рівня, за умови що є відомими показник надійності (ймовірність безвідмовної роботи) її вершинного елемента та розподіли ймовірностей для величин $\eta_i(t)$ підструктур, що її утворюють. На рис. 2 виділені дві характерні для підструктур довільного рівня точки A і B . Величини $\eta_A(t)$ і $\eta_B(t)$ набувають значення з одного й того ж інтервалу цілих чисел:

$0, \sum_{i=1}^k \max \eta_i(t)$. Однак розподіли ймовірностей для них є різними, якщо вершинний елемент підструктури не є абсолютно надійним.

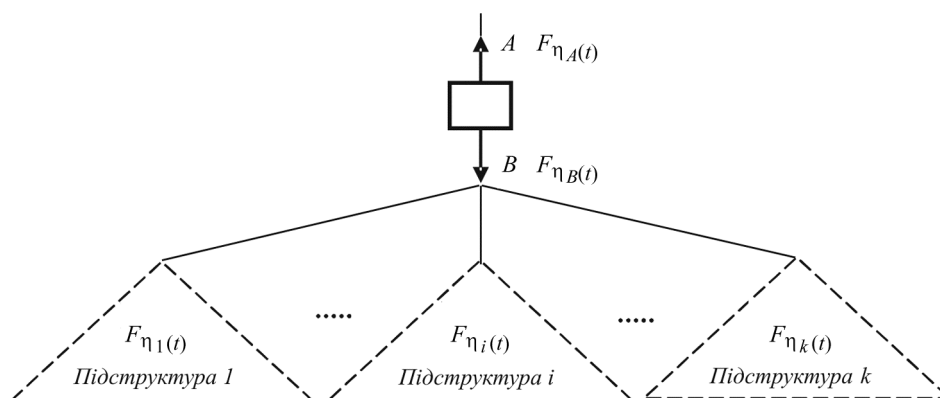


Рис. 2. Ілюстрація до методики виведення рекурентних формул породжуючих поліномів.

Густина розподілу ймовірностей для випадкової величини $\eta_B(t)$ являє собою згортку густин розподілів ймовірностей для випадкових величин $\eta_i(t)$ всіх вкладених підструктур. Кожну випадкову величину $\eta_i(t)$ однозначно характеризує породжуючий поліном виду [8]:

$$F_{\eta_i(t)} = P_0^i(t)x^0 + P_1^i(t)x^1 + \dots + P_j^i(t)x^j + \dots + P_n^i(t)x^n, \quad (2)$$

де $n = \max \eta_i(t)$; $P_j^i(t)$ – ймовірність того, що в момент часу t дискретна випадкова величина $\eta_i(t)$ набуває значення j : $P_j^i(t) = P[\eta_i(t) = j]$.

Відомо [8], що операції згортки розподілів цілочисельних випадкових величин відповідає операція перемноження побудованих таким чином породжуючих поліномів. Отже, породжуючий поліном для $\eta_B(t)$ визначається так:

$$F_{\eta_B(t)} = \prod_{i=1}^k F_{\eta_i(t)}. \quad (3)$$

Для симетричної ІС всі породжуючі поліноми $F_{\eta_i(t)}$ однакові і, відповідно, (3) можна переписати в такому вигляді:

$$F_{\eta_B(t)} = (F_{\eta_i(t)})^k. \quad (4)$$

Породжуючий поліном $F_{\eta_A(t)}$ отримаємо з породжуючого полінома $F_{\eta_B(t)}$ шляхом таких перетворень:

$$P_0^A(t) = P_{\hat{a},\hat{a},\hat{a}}(t) + (1 - P_{\hat{a},\hat{a},\hat{a}}(t))P_0^B(t);$$

$$P_0^j(t) = (1 - P_{\hat{a},\hat{a},\hat{a}}(t))P_j^B(t), \quad \forall j \in \overline{1, n},$$
(5)

де $P_{e,e}(t)$ – ймовірність відмови вершинного елемента підструктури за час t .

Для елементів найнижчого рівня (див. рис. 3) величина $\eta_B(t)$ детермінована і дорівнює одиниці, а породжуючий поліном для $\eta_A(t)$ згідно з (4) матиме такий вигляд:

$$F_{\eta_A}(t) = P_{\hat{a},\hat{a}}(t)x^0 + (1 - P_{\hat{a},\hat{a}}(t))x^1, \quad (6)$$

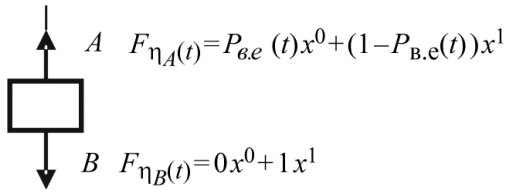


Рис. 3. Ілюстрація до формування породжуючого полінома для елементів ієрархічної структури найнижчого рівня.

де $P_{e,e}(t)$ – ймовірність відмови елемента за час t .

На основі співвідношень (2)–(6) формується рекурентна процедура сходження від елементів найнижчого рівня до вершинного елемента ІС. У результаті виконання такої процедури отримуємо породжуючий поліном величини $\eta(t)$ для ІС в цілому.

Ймовірність безвідмовної роботи РЕК з ІС за час t при відомому розподілі ймовірностей для $\eta(t)$ визначають за формулою (1), а середнє значення тривалості роботи РЕК до катастрофічної відмови отримуємо за формулою:

$$T_{e,\hat{a}} = \int_0^{\infty} P_{\hat{a},\hat{a}}(t) dt. \quad (7)$$

Метод надійнісного аналізу, на основі декомпозиції ІС на вкладені підструктури з наступним сходженням від найпростіших підструктур до ІС в цілому, перевірено на ряді ієрархічних структур, для яких побудовані і розв’язані марковські моделі надійності [15]. Для кожної з цих структур отримано повну збіжність результатів розрахунку.

Метод надійнісного аналізу ІС на основі декомпозиції ієрархічної структури на вкладені підструктури дає змогу аналізувати підклас РЕК із симетричною і несиметричною ІС простого підпорядкування. Цей метод реалізовано у програмах ANIS-01 та ANIS-02. Він є достатньо ефективним в межах вказаного підкласу ІС, але не може бути застосованим до ІС із складним підпорядкуванням елементів. На практиці досить часто виникає необхідність аналізувати саме такі структурні рішення РЕК. І тому для розв’язання таких задач розроблено метод логіко-ймовірнісного траєкторного моделювання (ЛІТМ), який дає змогу аналізувати ІС із складним підпорядкуванням елементів.

Метод логіко-ймовірнісного траєкторного моделювання для надійнісного аналізу несиметричних ієрархічних структур складного підпорядкування. Вхідними даними для аналізу ефективності РЕК з ІС є перелік станів в яких може перебувати кожен з елементів РЕК і, відповідно, ймовірності перебування елементів РЕК у цих станах у заданий момент часу. Перелік станів для кожного елемента повинен складати повну групу подій, тобто сума ймовірностей перебування в станах повинна дорівнювати одиниці. Методика розрахунку цих показників для кожного конкретного елемента може бути індивідуальною. Це, як правило, залежить від того, якими засобами забезпечується надійність цього елемента.

Основною характеристикою ефективності РЕК з ІС і в цьому розгляді вважають розподіл ймовірностей доступності з вершинного елемента ієрархічної структури до певної кількості елементів найнижчого рівня.

Для розрахунку цієї характеристики в кожному момент часу формується математична модель, яка являє собою множину реєстраційних пакетів. Реєстраційний пакет – це гіпотетичний інформаційний об’єкт, який рухається по структурі за певними правилами, збираючи ймовірнісну інформацію про стан всіх елементів структури, що трапляються на його шляху (рис. 4). У кожному пройденому елементі пакет утворює стільки собі подібних пакетів, у скількох станах може перебувати певний елемент. Реєстраційний пакет складається з маршрутної та інформаційної частин.

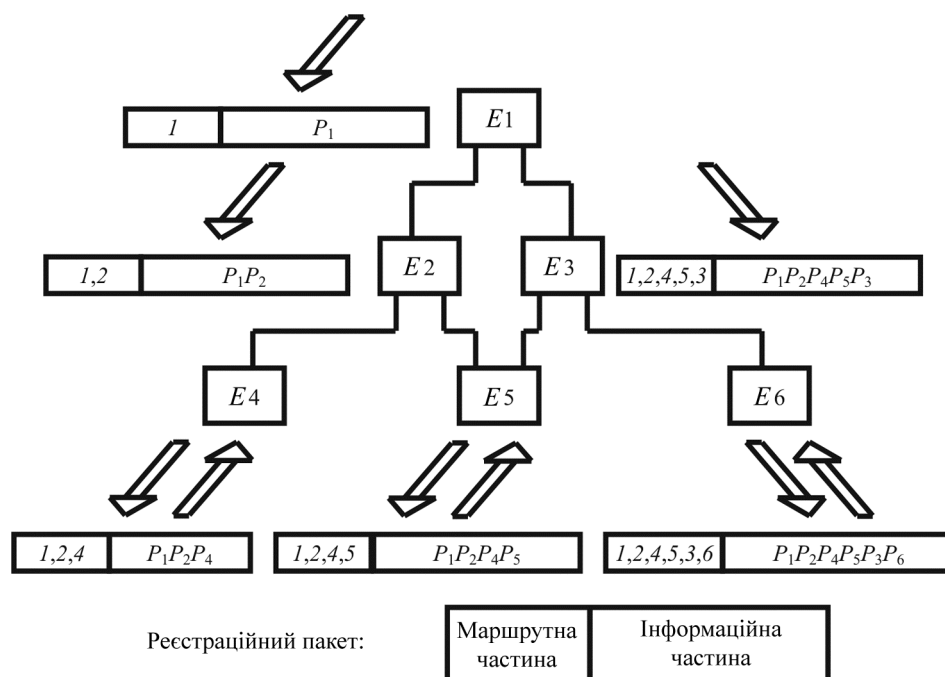


Рис. 4. Ілюстрація процедури аналізу ІС методом ЛТМ: приклад проходження першого реєстраційного пакета; E_i – i -й елемент структури; P_i – ймовірність перебування i -го елемента в працездатному стані.

Правила проходження реєстраційних пакетів по ІС є такі:

1) під час проходження реєстраційним пакетом будь-якого елемента вперше – в маршрутну частину дописується ідентифікатор елемента, а інформаційна частина домножується на ймовірність перебування цього елемента в одному з працездатних станів у певний момент часу; одночасно з цим утворюються нові пакети, кількість яких на один менша від кількості станів, у яких може перебувати цей елемент за алгоритмом функціонування; вони наслідують інформаційну і маршрутну частини попередника до проходження елемента; їхні інформаційні частини домножуються на ймовірності перебування цього елемента у відповідних їм станах, а в маршрутні частини дописується ідентифікатор елемента; ці пакети продовжують рухатись по ІС за визначеними правилами, починаючи з цього елемента, якщо відповідні їм стани є повністю або частково працездатними, і пересуваються на вищий рівень у напрямку приходу пакета-попередника, якщо відповідний їм стан є непрацездатним;

2) у разі повторного проходження пакетом елемента ні маршрутна, ні інформаційна частини не змінюються;

3) кожен пакет рухається з будь-якого елемента тільки в напрямку елемента нижчого рівня;

4) якщо всі шляхи з елемента, в якому опинився пакет, в напрямку елементів нижчого рівня вже були ним пройдені або цей елемент є елементом найнижчого рівня, пакет пересувається на один рівень вище, при чому для цього використовується саме той шлях, який привів пакет у цей елемент.

Таким чином до вершинного елемента ІС повертається множина ймовірнісних пакетів (див. таблицю). Інформація, що міститься в цій множині, дає повний ймовірнісний опис стану, в якому перебуває РЕК у заданий момент часу, тобто являє собою математичну модель структури РЕК.

Реєстраційні пакети групуються за ознакою кількості пройдених ними елементів найнижчого рівня. Підсумовуванням у кожній групі інформаційних частин пакетів отримують розподіл ймовірностей доступності з вершинного елемента певної кількості елементів найнижчого рівня у заданий момент часу.

Описані правила проходження реєстраційних пакетів по ІС дають змогу в кожний момент часу зберігати інформацію про мінімальну кількість реєстраційних пакетів. Для кожного пакета, після проходження по всій структурі, відразу визначається кількість пройдених ним елементів найнижчого рівня і інформаційна частина враховується для визначення відповідного значення розподілу ймовірностей доступності з вершинного елемента до певної кількості елементів найнижчого рівня в заданий момент часу. Після цього інформацію про цей пакет можна не зберігати.

Оскільки РЕК з ІС втрачає працездатність, коли з вершинного елемента стали доступними менше ніж M елементів найнижчого рівня, то ймовірність безвідмовної роботи РЕК $P_{6,p}(t)$ у заданий момент часу визначають за формулою (1) як суму членів розподілу ймовірностей доступності з вершинного елемента до тої кількості елементів найнижчого рівня, яка відповідає умові працездатності.

Процедура формування реєстраційних пакетів при аналізі ієрархічної структури, зображеної на рис. 4

№ пакета	Маршрутна частина	Інформаційна частина	Утворені пакети	Пакет попередник	N_{\min}
0	0	0	–	–	–
1	1,2,4,5,3,6	$P_1P_2P_4P_5P_3P_6$	2,3,4,5,6,7	–	3
2	1	$1-P_1$	–	1	0
3	1,2,3,5,6	$P_1(1-P_2)P_3P_5P_6$	8,9,10	1	2
4	1,2,4,5,3,6	$P_1P_2(1-P_4)P_5P_3P_6$	11,12,13	1	2
5	1,2,4,5,3,6	$P_1P_2P_4(1-P_5)P_3P_6$	14,15	1	2
6	1,2,4,5,3	$P_1P_2P_4P_5(1-P_3)$	–	1	2
7	1,2,4,5,3,6	$P_1P_2P_4P_3(1-P_6)$	–	1	2
8	1,2,3	$P_1(1-P_2)(1-P_3)$	–	3	0
9	1,2,3,5,6	$P_1(1-P_2)P_3(1-P_5)P_6$	16	3	1
10	1,2,3,5,6	$P_1(1-P_2)P_3P_5(1-P_6)$	–	3	1
11	1,2,4,5,3,6	$P_1P_2(1-P_4)(1-P_5)P_3P_6$	17,18	4	2
12	1,2,4,5,3	$P_1P_2(1-P_4)P_5(1-P_3)$	–	4	1
13	1,2,4,5,3,6	$P_1P_2(1-P_4)P_5P_3(1-P_6)$	–	4	1

№ пакета	Маршрутна частина	Інформаційна частина	Утворені пакети	Пакет попередник	N_{\min}
14	1,2,4,5,3	$P_1P_2P_4(1-P_5)(1-P_3)$	–	5	1
15	1,2,4,5,3,6	$P_1P_2P_4(1-P_5)P_3(1-P_6)$	–	5	1
16	1,2,3,5,6	$P_1(1-P_2)P_3(1-P_5)(1-P_6)$	–	9	0
17	1,2,4,5,3	$P_1P_2(1-P_4)(1-P_5)(1-P_3)$	–	11	0
18	1,2,4,5,3,6	$P_1P_2(1-P_4)(1-P_5)P_3(1-P_6)$	–	11	0

З розрахованих таким чином розподілів для різних моментів часу визначають часову залежність ймовірності безвідмовної роботи.

ВИСНОВКИ

Метод ЛІТМ для формування математичної моделі РЕК з ІС порівняно з методом, основаним на декомпозиції на вкладені підструктури, дає змогу аналізувати ІС будь-якої конфігурації, а також падає значно ширші можливості для формування показників ефективності функціонування РЕК.

Метод, оснований на декомпозиції на вкладені підструктури, вимагає незалежності подій, які приводять до переходу із стану в стан різних елементів ІС. Метод ЛІТМ не вимагає виконання цієї умови, оскільки залежні елементи завжди можливо замінити ділянкою ІС із складним підпорядкуванням. Крім того, цей метод дає змогу врахувати довільну кількість станів, у яких можуть перебувати елементи ІС. Отримана таким методом математична модель фактично еквівалентна марковській моделі структури, але, на відміну від неї, розподіл ймовірностей перебування в станах визначається без розв'язання системи диференціальних рівнянь.

Для зменшення обсягів розрахунків можливо виділяти ділянки ІС із складним підпорядкуванням елементів у окремі підструктури і застосовувати метод ЛІТМ для розрахунку характеристик тільки цих підструктур, а для загального аналізу всієї структури використовувати метод на основі декомпозиції на вкладені підструктури.

1. *Радиосистемы и сети передачи информации* / Н. А. Важенин, В. А. Вейцель, С. А. Волковский и др. Под ред. Р. Б. Мазепы. – М.: Изд-во Моск. авиац. ин-та, 2002. – 568 с.
2. *Советов Б. Я., Яковлев С. А.* Построение сетей интегрального обслуживания. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 332 с.
3. *Березюк Н. Т., Гапунин А. Я., Подлесный Н. И.* Живучесть микропроцессорных систем управления. – К.: Техніка, 1988. – 143 с.
4. *Зайченко Ю. П., Гонга Ю. В.* Структурная оптимизация сетей ЭВМ. – К.: Техніка, 1986. – 168 с.
5. *Янбых Г. Ф., Эттингер Б. Я.* Методы анализа и синтеза сетей ЭВМ. – Л.: Энергия, 1980. – 96 с.
6. *Морозов В. К., Долганов А. В.* Основы теории информационных сетей. – М.: Высш. шк., 1987. – 256 с.
7. *Надежность технических систем: Справ.* / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др. Под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
8. *Рябинин И. А., Черкесов Г. Н.* Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.
9. *Филин Б. П.* Методы анализа структурной надежности сетей связи. – М.: Радио и связь, 1988. – 122 с.
10. *Ушаков И. А.* Вероятностные модели надежности информационно-вычислительных систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 132 с.

11. *Методика* і засоби надійнісного проектування підсистем мереж зв'язку з ієрархічною структурою / В. П. Беляєв, Б. Ю. Волочій, Б. А. Мандзій, Д. В. Чернишук // Пр. Міжнар. наук.-техн. конф. "Сучасні проблеми автоматизованої розробки і виробництва радіоелектронних засобів і підготовки інженерних кадрів". Ч. 2. – Львів, 1994. – С. 39–40.
12. *Беляєв В. П., Волочій Б. Ю., Павлів М. В.* Метод комутації ймовірнісних пакетів для розрахунку показників парної зв'язності структур типу сітка // Пр. Міжнар. наук.-техн. конф. "Сучасні проблеми автоматизованої розробки і виробництва радіоелектронних засобів та підготовки інженерних кадрів". Т. 2. – Львів, 1996. – С. 176.
13. *Оцінка* ефективності методів розрахунку показників зв'язності в структурному аналізі радіоелектронних комплексів / В. П. Беляєв, Б. Ю. Волочій, Л. Д. Озірковський, М. В. Павлів // Теоретична електротехніка. – Львів: Світ, 1998. – Вип. 54. – С. 8–14.
14. *Беляєв В. П., Волочій Б. Ю., Чернишук Д. В.* Аналіз показників ефективності радіоелектронних комплексів з ієрархічною структурою на основі методу логіко-ймовірнісного траєкторного моделювання // Пр. 4-ї Міжнар. наук.-техн. конф. "Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР мікроелектроніки". – Львів: Вид-во держ. ун-ту "Львівська політехніка", 1997. – С. 15–16.
15. *Розробка* математичного забезпечення автоматизованих процедур системотехнічного та схемотехнічного проектування радіоелектронних пристроїв та систем // Звіт з держбюджетної НДР ДБ "Комплекс" / № держ. реєстрації 0196U000186. – Львів: Державний ун-т "Львівська політехніка", 1997. – 136 с.
16. *Розробка* математичного забезпечення процедур оптимального синтезу самоконтрольованих відмовостійких та живучих радіоелектронних засобів // Звіт з держбюджетної НДР ДБ "Синтез" / № держ. реєстрації 0198U002382. – Львів: Державний ун-т "Львівська політехніка", 1999. – 105 с.

Національний університет "Львівська політехніка"

Одержано
20.01.2009