

інформації. — Харків. НАНУ. — 2002. Вип. 2 (18). — С.252—258. 11. Vilkomir S.A., Kharchenko V.S., Ponomaryev A.I., Gorda A.A. *The System Safety Assessment by the Use of Tools // Proceedings of the 17<sup>th</sup> International System Safety Conference. — USA. — Aug., 1999. P. 222—227.* 12. Харченко В.С., Ястребенецький М.А., Васильченко В.Н. *Нормирование и оценка безопасности информационных и управляющих систем АЭС: регулирующие требования к программному обеспечению // Ядерная безопасность. —2002. — №2. С.14-27.*

УДК 621.391.18

**Б.Ю. Волочій, Л.Д. Озірковський, \*Д.О. Улибін**  
 Національний університет "Львівська політехніка", кафедра ТРР,  
 \*Український Львівський інститут бізнесу та інформатики

## **МАРКОВСЬКА МОДЕЛЬ ЯК ЗАСІБ КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ФУНКЦІОНАЛЬНИМ РЕЗЕРВУВАННЯМ**

© Волочій Б.Ю., Озірковський Л.Д., Улибін Д.О., 2003

**Комплексне моделювання передбачає побудову моделі інформаційної системи, яка поєднувала би функціональний і надійнісний аспекти її проектування. Запропоновано спосіб побудови комплексної моделі.**

**Complex modeling provides for developing a model of information system which would combine functional and reliability aspects of system designing. The report presents the method of complex model development.**

**Вступ.** Інформаційна система з функціональним резервуванням є комплексом інформаційних систем, здатних при певних умовах автономно або при взаємодії кількох систем вирішувати поставлене завдання. Порядок використання інформації від кожної інформаційної системи на основі оцінки їх стану і умов функціонування комплексу здійснює людина-оператор. Якість роботи такого комплексу значною мірою залежить від психофізіологічного стану людини-оператора. Робота людини-оператора може бути представлена відповідним алгоритмом поведінки. Таких алгоритмів може бути розроблено багато варіантів і відповідь на питання “який кращий?” можна отримати на основі тривалого випробування комплексу інформаційних систем з кожним варіантом побудови алгоритму поведінки. На основі зібраних статистичних даних про роботу комплексу інформаційних систем можна визначити його показники ефективності для кожного варіанта побудови алгоритму поведінки і отримати відповідь на запитання, який алгоритм поведінки є найкращим.

Така задача може вирішуватись за значно коротший термін, якщо проєктант буде мати в своєму розпорядженні математичну модель інформаційної системи з функціональним резервуванням для кожного варіанта побудови алгоритму поведінки.

## 1. Підходи до розв'язання задачі комплексного моделювання інформаційних систем з функціональним резервуванням

При розв'язанні задачі розробки математичних моделей інформаційних систем з функціональним резервуванням існують два підходи. Перший підхід передбачає розробку окремих математичних моделей для розв'язання задач функціонального і надійнісного аспектів проектування з наступним поєднанням одержаних показників ефективності. Другий підхід передбачає комплексне моделювання інформаційних систем з функціональним резервуванням, яке поєднує в одній моделі задачі функціонального і надійнісного аспектів проектування.

Комплексне моделювання може мати два способи реалізації. В першому способі в моделі відображається як алгоритм поведінки комплексу інформаційних систем (функціональний аспект), так і алгоритм його поведінки при появі порушень працездатності (надійнісний аспект) [1]. Тобто при побудові моделі ми оперуємо всією множиною подій, а саме подіями, пов'язаними з виконанням поставленої задачі, так і з подіями, що виникають в результаті порушень працездатності функціональних модулів інформаційних систем.

У статті представлено другий спосіб побудови комплексної математичної моделі на основі математичного апарату теорії марковських випадкових процесів з дискретним скінченим простором станів і неперервним часом. Як відомо, побудова марковської моделі передбачає розробку графа станів і переходів. Таке представлення має наступне обґрунтування. Загальну статистичну картину процесу функціонування інформаційної системи можна представити набором всіх можливих станів і всіма можливими варіантами переходів із стану в стан. Варіанти переходів із стану в стан відображають реальний алгоритм поведінки інформаційної системи, який має бути заданим. Час перебування інформаційної системи в кожному стані є випадковою величиною і для отримання оцінок показників ефективності інформаційної системи слід прийняти, що він розподілений за експоненційним законом.

Практична доступність створення моделі інформаційної системи у вигляді марковського випадкового процесу з обмеженим простором станів ґрунтується на застосуванні для її створення методики автоматизованої побудови графа станів і переходів, яка передбачає на першому етапі побудову структурно-автоматної моделі [1, 3]. У випадку, коли допущення про експоненційний закон розподілу часів перебування комплексу інформаційних систем в певних станах є неприйнятним, так як є відомими реальні закони розподілу, які суттєво від нього відрізняються, можна адаптувати марковську модель до цих законів. Для рішення такої задачі рекомендуємо скористатись методом еквівалентної інтенсивності потоку [2].

Для побудови структурно-автоматної моделі реальний алгоритм поведінки слід переформувати в еквівалентний алгоритм. Суть переформування реального алгоритму поведінки в еквівалентний полягає в наступному:

1) послідовно з'єднані операційні блоки, які представляють послідовність функцій, виконуваних однією інформаційною системою, слід замінити одним еквівалентним операційним блоком із збереженням без змін в структурі еквівалентного алгоритму поведінки порівнюючих блоків;

2) модифікацію параметрів інформаційних систем, яка відбувається в блоках, що поєднуються, перенести без зміни послідовності в еквівалентний операційний блок;

3) визначити середній час виконання операції та його дисперсію для кожного еквівалентного операційного блоку;

4) в еквівалентний алгоритм поведінки слід ввести операційні блоки перевірки працездатності окремих інформаційних систем. Результат перевірки умови “чи є справною інформаційна система?” має бути представленим показником надійності даної інформаційної системи, а саме ймовірністю безвідмовної роботи.

При розробці структурно-автоматної моделі необхідно вирішити такі задачі:

- сформуувати вектор станів;
- визначити множину формальних параметрів моделі, що складається з констант, які визначають структуру і граничні можливості комплексу інформаційних систем загалом;
- описати поведінку комплексу у вигляді базових подій, що відбираються із сукупності всіх можливих подій, які відбуваються у системі;
- для кожної базової події з множини базових подій визначаються умови і обставини, при яких відбувається ця подія (умови та обставини є логічними функціями, параметрами яких є елементи вектора стану та константи з множини формальних параметрів);
- для кожної умови та обставини з множини умов та обставин сформуувати формули розрахунку інтенсивностей переходів із стану в стан;
- кожній формулі розрахунку інтенсивності переходу при необхідності має відповідати група альтернативних переходів, для яких сформуувати формули розрахунку ймовірностей альтернативних переходів;
- кожному альтернативному переходу або безпосередньо формулі розрахунку інтенсивності переходу (якщо альтернативні переходи відсутні) встановити правило модифікації компонент вектора станів.

## **2. Особливості розробки структурно-автоматних моделей інформаційних систем з функціональним резервуванням**

*Формування вектора станів.* Вектор станів повинен складатися із компонент, які однозначно визначають стан комплексу інформаційних систем в кожний момент часу. Кількість компонент в описі стану повинна відповідати кількості параметрів, зміна яких представляє поведінку комплексу. В процесі виконання завдання комплексом інформаційних систем інформаційні системи, що входять до його складу, є джерелами інформації. А тому в описі стану повинні бути компоненти, які представляють діючу інформаційну систему в кожний момент часу. Оскільки стан комплексу інформаційних систем визначається значеннями параметрів конкретної інформаційної системи, яка є джерелом інформації в даний момент, то в описі стану повинно відобразитись відповідними компонентами значення її параметрів. При цьому в описі стану повинні бути відображені ті параметри інформаційної системи, які суттєво впливають на вибрані показники ефективності комплексу загалом. Оскільки логіку переходу із стану в стан задає алгоритм поведінки, то ще одна компонента в описі стану комплексу інформаційних систем повинна вказувати, який саме його операційний блок виконується в даному стані.

*Формування множини формальних параметрів.* Множина формальних параметрів складається з констант, які визначають: структуру комплексу інформаційних систем, граничні значення елементів вектора станів, параметри алгоритму поведінки, інтенсивності потоків первинних подій, наявність перемикачів тощо.

*Формування множини подій.* Стан об'єкта моделювання змінюється під впливом потоків елементарних подій. Під час виконання завдання поведінка комплексу інформаційних систем задається відповідним алгоритмом, а отже події, які приводять до зміни стану, включені в його операційні блоки. Тому при розробці структурно-автоматної моделі інформаційної системи з функціональним резервуванням використаємо підхід, в якому множина подій включає в себе лише одну подію — “завершення виконання операційного блоку” еквівалентного алгоритму поведінки.

*Формування множини умов та обставин.* Умовою є логічна функція, яка складається з обов'язкової (власне умова) і додаткової (обставина) частин, поєднаних операцією логічного множення. Додаткова частина умови може бути відсутньою. До складу обов'язкової частини входить номер операційного блоку. 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, при яких ця подія реалізується. Тому події “завершення виконання операційного блоку” ставлять у відповідність умови і обставини з множини умов та обставин.

При виконанні того чи іншого операційного блоку еквівалентного алгоритму поведінки як джерело інформації залежно від конкретних умов застосування комплексу може використовуватись одна з інформаційних систем, яка найкраще відповідає даним умовам. Крім того, залежно від умов застосування окремої інформаційної системи, операційний блок може виконуватися при граничних значеннях параметрів компонент вектора станів.

Тому для комплексу інформаційних систем умовами реалізації події будуть: номер операційного блоку еквівалентного алгоритму поведінки, який виконується і залежно від умов застосування комплексу інформаційних систем) поєднані з ним операцією логічного множення значення відповідної компоненти вектора станів, або (і) значення компонент вектора станів, що відображають параметри окремих інформаційних систем, які при виконанні даного блоку набувають граничних значень.

*Формування формул розрахунку інтенсивностей переходів.* Умовам, 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, який обумовлений визначеною подією.

*Формування формул розрахунку імовірностей альтернативних переходів.* При визначенні напрямів переходів із стану в стан необхідно враховувати вплив випадкових чинників. Кожний чинник породжує групу альтернативних переходів. В таких випадках кожній формулі розрахунку інтенсивності переходу відповідає група альтернативних переходів, для яких формуються формули розрахунку умовних імовірностей альтернативних переходів. Для сформованої множини формул розрахунку умовних імовірностей альтернативних переходів необхідно перевіряти, аби при всіх можливих умовах сума імовірностей альтернативних переходів для всіх ланцюжків, які виходять з одного операційного блоку, дорівнювала одиниці.

В процесі аналізу сформованої моделі необхідно розв'язати систему лінійних диференційних рівнянь Колмогорова-Чепмена. Розв'язок цієї системи дозволяє отримати закон розподілу перебування в станах, на основі якого визначаються статистичні показники ефективності інформаційної системи.

Такий підхід є особливо раціональним, коли інформаційні системи, які входять до складу комплексу, спроектовані як відмовостійкі системи. Це тому, що запропонований спосіб побудови комплексної математичної моделі передбачає декомпозицію задачі, і складна сама по собі задача надійнісного аналізу відмовостійкої системи вирішується окремо. Технологія розв'язання задач надійнісного аналізу відмовостійких систем викладена в [2, 3].

Представлений спосіб комплексного моделювання був застосований при розв'язанні задач системотехнічного проектування прицільного радіоелектронного комплексу [4]. Прицільний радіоелектронний комплекс — це комплекс інформаційних систем, в якому реалізовано функціональне резервування на рівні складових інформаційних систем.

### **3. Приклад розробки комплексної моделі для розв'язання задач системотехнічного проектування прицільних радіоелектронних комплексів**

Прицільний радіоелектронний комплекс (РЕК) — це сукупність радіоелектронних систем (РЕС), використання інформації від яких визначає людина-оператор та інформаційно-керуюча система.

Прицільний РЕК призначений для [5—9]: виявлення повітряних цілей у межах заданої віддалі, захоплення та супроводження їх, визначення та математичної обробки параметрів траєкторії руху цих цілей з подальшим наданням інформації на пристрій знищення і керування ним в процесі ліквідації цілі. Початкові дані про ціль комплекс отримує від системи цілевказівки. Пристроями знищення цілі можуть бути [5—8]: зенітно-ракетна установка, малокаліберна зенітна артилерійська установка, керовані зенітні снаряди.

Як показує аналіз інформаційних джерел для вирішення поставлених завдань в склад прицільного РЕК включають наступні РЕС: радіолокаційна станція слідкування за цілями (РЛС СЦ), оптико-електронна система (ОЕС) та інформаційно-керуюча система (ІКС). Джерелом цілевказівок (ЦВ) служить зовнішня РЛС колового огляду. ОЕС складається з тепловізора (ТПВ) та телевізійно-оптичного візиру (ТОВ) в поєднанні з лазерним віддалеміром (ЛВ).

Володіючи структурною, часовою, інформаційною надлишковостями на рівні окремих РЕС та функціональною надлишковістю на рівні комплексу загалом, прицільний РЕК при відмовах окремих пристроїв чи систем, які входять до його складу, не втрачає працездатності, а лише до певного рівня знижує ефективність свого функціонування.

Сучасні прицільні РЕК — складні технічні системи, ефективність функціонування яких значною мірою визначає людина-оператор, що слід враховувати в процесі їх проектування [10, 11]. Разом з цим радіоелектронні системи РЕК можуть надавати оператору більший обсяг інформації, ніж він в стані проаналізувати і прийняти рішення за час, відведений прицільному РЕК для виконання завдання. Тому важливою задачею при створенні прицільних РЕК є автоматизація виконання певних функцій оператора: автоматичний вибір визначальної РЕС при зміні умов функціонування, впровадження систем підтримки прийняття рішень тощо [12]. Ці функції мають бути реалізованими в алгоритмі поведінки комплексу, який в даному випадку називають алгоритмом пошуку і виявлення цілей. Отже, постає завдання розробки алгоритму поведінки, яке вирішується методом багатоваріантного аналізу. Для реалізації цього методу актуальною є розробка комплексної моделі прицільного РЕК.

Вхідними даними для побудови моделі прицільного РЕК є:

- 1) склад і структурна схема прицільного РЕК;
- 2) параметри РЕС, які входять до складу РЕК;
- 3) блок-схема алгоритму поведінки комплексу;
- 4) середній час виконання кожного операційного блоку алгоритму поведінки;
- 5) дисперсії часу виконання кожного операційного блоку алгоритму поведінки;
- 6) імовірності прийняття рішення “ТАК” і доповнюючі до одиниці імовірності прийняття рішення “НІ” для кожного порівнюючого блоку алгоритму поведінки;
- 7) імовірності безвідмовної роботи інформаційних систем.

#### **Формування еквівалентного алгоритму поведінки.**

1. Операційні блоки необхідно поєднати в межах послідовного виконання в еквівалентні операційні блоки із збереженням без змін в структурі алгоритму поведінки порівнюючих блоків.

2. Модифікацію параметрів РЕС, яка відбувається в блоках, що поєднуються, перенести без зміни послідовності в еквівалентний операційний блок.

3. Визначити середній час виконання кожного еквівалентного операційного блока  $T_i$  як суму середніх часів виконання операційних блоків, які увійшли до його складу:

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

де  $T_j$  — середній час виконання  $j$ -го блока, який входить до складу еквівалентного блока;  $n$  — кількість операційних блоків алгоритму поведінки, які входять до складу еквівалентного блока.

4. Визначити дисперсії часів виконання еквівалентних операційних блоків алгоритму поведінки  $D[T_i]$  за формулою:

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

де  $D[T_j]$  — дисперсія часу виконання  $j$ -го блока, який входить до складу еквівалентного блока;  $n$  — кількість операційних блоків алгоритму поведінки, які входять до складу еквівалентного блока.

#### **Формування структурно-автоматної моделі прицільного радіоелектронного комплексу**

1. Побудова вектора станів. Структура вектора станів (ВС), зміст і тип його компонент наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Структура, зміст і тип компонент ВС прицільного РЕК**

№ компоненти	Зміст компоненти	Позначення	Тип компоненти
1	Номер операційного блока еквівалентного алгоритму поведінки	N	Змінна цілого типу
2	РЕС, яка є джерелом інформації	AD	те ж саме
3	Кількість повторних циклів звернення до джерела ЦВ	AKP	Матриця-рядок з 4-х елементів, кожен з яких є змінною цілого типу
4	Актуальний поріг виявлення	APW	те ж саме
5	Актуальна кількість захоплень	AKZ	те ж саме
6	Зона виявлення	DZ	Змінна цілого типу

2. *Формування множини формальних параметрів.* Множину формальних параметрів утворюють: максимальні кількості циклів повторного звернення до ЦВ для РЛС СЦ, ТОВ та ТПВ ( $AKP_{max} [AD]$ ); максимальні кількості введених точок траєкторії цілі для РЛС СЦ, ТОВ та ТПВ ( $AKZ_{max} [AD]$ ); максимальна кількість порогів виявлення РЛС СЦ ( $APW_{max}$ ); значення перемикача Cod для визначення шляху отримання ЦВ (якщо ЦВ отримуються у вигляді повідомлень для оператора, то  $Cod = 1$ , якщо ЦВ сприймається РЕК без участі оператора —  $Cod = 0$ ).

Якщо проводиться моделювання комплексу, який отримує ЦВ лише одним способом, то перемикач Cod буде відсутнім.

3. *Формування множини подій.* Множина подій складається з однієї події — “завершення виконання операційного блока”.

4. *Формування множини умов та обставин.* Для прицільного РЕК до складу обов’язкової частини входить номер операційного блока:  $N = K$ , де  $N$  — змінна обов’язкової частини,  $K$  — номер операційного блока. Обставиною для прицільного комплексу є те, яку з РЕС використовують як джерело інформації в даних умовах застосування комплексу. Цю обставину відображає компонента №2 ВС:  $AD = M$ , де  $AD$  — змінна додаткової частини, що вказує, яка з РЕС є джерелом інформації,  $M$  — константа, якою кодується кожна з РЕС: 0 — жодна з РЕС не є джерелом інформації; 1 — джерело інформації РЛС СЦ, 2 — ТОВ, 3 — ТПВ.

Додаткова частина доповнюється складовими в таких випадках:

а) коли залежно від умов застосування РЕК одна з компонент 3—6 ВС при виконанні операційного блока алгоритму поведінки може набути максимального або граничного значення. Наприклад:

$$APW < APW_{MAX}, AKP < AKP_{MAX}[AD], AKZ < AKZ_{MAX}[AD], DZ = 0, DZ = 1.$$

б) коли один з формальних параметрів є перемикачем режиму роботи комплексу:  $Cod = L$ , де  $Cod$  — змінна формального параметра,  $L$  — значення формального параметра. Наприклад: ЦВ приймається РЕК без участі оператора ( $Cod = 0$ ) або отримання ЦВ у вигляді повідомлення оператору ( $Cod = 1$ ).

Фрагмент представлення множини умов та обставин має такий вигляд:

$$N = 1;$$

$$(N = 12) \text{ and } (AD = 4);$$

$$(N = 4) \text{ and } (AD = 2) \text{ and } (APW < APW_{MAX});$$

$$(N = 4) \text{ and } (AD = 2) \text{ and } (AKZ < AKZ_{MAX}[AD]) \text{ and } (Cod = 1).$$

5. *Формування формул розрахунку інтенсивностей переходів.* Формули розрахунку інтенсивностей переходів для всіх умов однакові:

$$\lambda_i = \frac{1}{T_i}, \quad (3)$$

де  $T_i$  — середній час виконання  $i$ -го операційного блока еквівалентного алгоритму поведінки.

6. *Формування формул розрахунку імовірностей альтернативних переходів.* Формули розрахунку імовірностей альтернативних переходів (ФРІАП) формуються в таких випадках:

а) якщо після операційного блока наступним йде один чи декілька порівнюючих, то необхідно задати значення імовірності альтернативного переходу  $a_{m,n}$  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

доповнювальні до одиниці імовірності:  $a_{m,k} = 1 - a_{m,n}$ . Дані ймовірності —  $a_{m,n}$  подаються у вхідних даних. ФРІАП доцільно представляти у вигляді табл. 2;

Таблиця 2

### Формули розрахунку імовірностей альтернативних переходів

Імовірність альтернативного переходу	Початкове значення	Коментар
$a_{2,7}$	0.85	Імовірність переходу з операційного блока 2 в блок 7 після проходження порівнюючих блоків, які розміщені між ними.
$a_{2,4} = 1 - a_{2,7}$	0.15	Доповнювальна імовірність
.....	.....	.....
$a_{m,n}$	0.24	Імовірність переходу з блоку m в блок n після проходження порівнюючих блоків, які розміщені між ними.
$a_{m,k} = 1 - a_{m,n}$	0.76	Доповнювальна імовірність
.....	.....	.....

б) при виконанні завдання прицільним РЕК як джерело інформації необхідно вибрати одну з РЕС, яка найкраще працює в конкретних умовах застосування комплексу. Це означає, що після прийняття рішення з доповнювальною альтернативною імовірністю  $a_{m,d}$ , дуже часто необхідно ще раз приймати рішення для іншого порівнювального блоку. І ці нові рішення у вигляді імовірностей альтернативних переходів доцільно навести у іншій табличній формі. Це пов'язано з тим, що порівнювальні блоки, до яких стосуються ці імовірності альтернативних переходів, визначають режими роботи РЕК: чи то робота як з джерелом інформації з РЛС СЦ, чи з ТПВ або ТОВ, чи передача даних для виконувального пристрою.

Наприклад, імовірність  $a_{11,\alpha}$  відповідає переходу до іншого порівнювального блока, після чого можливі альтернативні переходи до блоків А, В, С, які символізують початок роботи з РЛС СЦ, ТОВ або ТПВ — відповідно. Цьому випадку в табл. 3 відповідає рядок  $a_{11,\alpha}$ , який, перетинаючись з відповідними стовпчиками, дає необхідні імовірності альтернативних переходів.

Таблиця 3

### Імовірності альтернативних переходів

Режим роботи	РЛС СЦ	ТОВ	ТПВ
$\alpha$	А	В	С
.....	.....	.....	.....
$a_{11,\alpha}$	0.4	0.3	0.3
.....	.....	.....	.....

**Зауваження:** Якщо між двома операційними блоками немає порівнювальних, то альтернативний перехід відсутній і розрахунок відповідної імовірності не проводиться.

7. *Формування правил модифікації вектора станів.* Кожному з альтернативних переходів відповідає правило модифікації ВС. Правило модифікації ВС (ПМВС) відображає:

- номер наступного операційного блока, куди здійснюватиметься перехід;
- параметри РЕС, які змінилися при виконанні даного операційного блока.
- правила зміни даних параметрів або їх нові значення.



8. Формування дерева правил модифікації ВС. Сформовані в пп. 1 - 7 компоненти структурно-автоматної моделі поєднуються в дерево правил модифікації, яке подане у вигляді табл. 4.

Таблиця 4

## Дерево правил модифікації

Події	Умови та обставини	ФРІП	ФРІАП	ПМВС
Завершення виконання операційного блоку	N=1	$\lambda_1 = 1/T_1$	—	N:=2
	.....	.....	.....	.....
	(N=K)and(DZ=0) and(Cod=1)and...	$\lambda_k = 1/T_k$	$a_{k,d}^* a_{k,T}$	N:=T; DZ:=1; APW:=APW+1
	.....	.....	.....	.....

**Висновки.** Комплексна модель інформаційної системи з функціональним резервуванням дозволяє на етапі системотехнічного проектування здійснювати:

- 1) розробку алгоритму поведінки інформаційної системи методом багатоваріантного аналізу;
- 2) вибір окремих інформаційних систем на основі кількісних значень показників їх ефективності.

[1] Volochiy B., Ulybin D. Improvements in the technology of discrete uniterupted stochastic information systems modelling // *Praci X konferenciji "Sieci i Systemy Informatyczne"*. — Łódź, — 2002. — S. 317—326. [2] Мандзій Б.А., Беляев В.П., Волочій Б.Ю. Метод надійнісного моделювання самовідновлюваних бортових інформаційних систем // *Космічні науки і технології*. — 1998. — Т. 4, № 3—4. — С. 62—67. [3] Беляев В.П., Волочій Б.Ю., Мандзій Б.А. Автоматизация построения надежностных моделей отказоустойчивых РЭС // *Автоматизация проектирования*. — М.: ВИМИ. — 1994. — № 2—3. — С. 73—81. [4] Беляев В.П., Волочій Б.Ю., Грабчак А.В., Миськів М.В., Озірковський Л.Д. Моделювання та оцінка ефективності локального радіоелектронного комплексу // *Міжвідомчий збірник наукових праць "Відбір і обробка інформації"*. — Львів: Вид-во ФМІ НАНУ. — 1999. — № 13 (83) — С. 65—70. [5] Коротков О., Карпов А. "Пальма" — защита от удара // *Военный парад*, 1997. — ноябрь—декабрь. — С. 44—46. [6] Roland for rapid reaction forces // *Jane's Def. Weekly*. — 1994. — 22, № 18. — P. 26—28. [7] Lockheed readies THAAD for White Sands testing / Hughes David // *Aviat. Week and Space Technol.* — 1994. — 141, № 2. — P. 50—51. [8] PAAMS on the Horizon / Cary G. // *Rev. aerospat.* — 1994. — № 113. — P. 42—43. [9] Лапсаков О.А. Оценка эффективности функционирования радиоэлектронных комплексов с учетом процесса восстановления // *Радиотехника*. — 1990. — № 5. — С. 9—12. [10] Зайцев В.С. Системный анализ операторской деятельности. — М.: Радио и связь, — 1990. — 119 с. [11] Kaminskij R.N. The Time Factor in Estimating the Human Operator Activity in the Human-Machine Interface of Information Technologies // *Pattern Recog. and Image Analyses*. — 1994, 4, — №3. — P. 326—334. [12] Ярлыков М.С. Радиоэлектронные комплексы — современный этап развития радиоэлектроники // *Радиотехника*. — 1995. — № 4—5. — С. 134—136.