

УДК 681.3(07)

С.В. Ленков<sup>1</sup>, Г.В. Банзак<sup>2</sup>, В.М. Цицарєв<sup>1</sup>, Я.М. Проценко<sup>1</sup><sup>1</sup> Військовий інститут Київського національного університету імені Т. Шевченка, Київ<sup>2</sup> Одеська державна академія технічного регулювання і якості, Одеса

## АЛГОРИТМ ПРОГНОЗУВАННЯ ДЛЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ І ВАРТОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ОЗБРОЄННЯ

Розглядається алгоритм моделювання для прогнозування показників надійності (ПН) і вартості експлуатації (ВЕ) об'єкта радіоелектронних засобів озброєння (РЕЗО) радіоелектронної техніки з урахуванням його конструктивної структури і параметрів систем технічного діагностування та технічного обслуговування. В якості ПН виходять оцінки стандартних показників: середнє напрацювання на відмову, коефіцієнт готовності та ін. В якості показника ВЕ виходить питома вартість експлуатації об'єкта.

**Ключові слова:** об'єкт РЕЗО, показники надійності, параметри об'єкта, імітаційне статистичне моделювання, технічне обслуговування і ремонт.

### Вступ

Об'єкти радіоелектронних засобів озброєння (РЕЗО), як правило, призначаються для тривалого багаторазового використання (десятьки років) і витрати на їх експлуатацію можуть бути порівняні, або навіть перевищувати затрати на створення об'єкта. Тому видається дуже важливим мати можливість вже на етапі його розробки прогнозувати очікувані в майбутньому показники надійності (ПН) і вартості експлуатації (ВЕ). Відомо, що ПН і ВЕ об'єкта, з одного боку, повністю визначаються його характеристиками і властивостями, «закладеними» при його створенні, з іншого боку, залежать також і від повноти і якості технічного обслуговування (ТО) в процесі експлуатації. При цьому важливо розуміти, що ефективність ТО буде суттєво залежати від того, наскільки конструкція об'єкта пристосована до виконання робіт ТО, наскільки оптимально обрані параметри (обсяги та терміни) виконання цих робіт. Таким чином, очевидно, що необхідна математична модель, за допомогою якої було б можливо вже на етапі розробки об'єкта РЕЗО прогнозувати ПН і ВЕ з урахуванням обраних розробником складу і конструкції об'єкта, параметрів вбудованої системи технічного діагностування (СТД), системи технічного обслуговування (СТО). Модель ця повинна включати в себе в якості параметрів всі найбільш важливі характеристики об'єкта РЕЗО і параметри СТД і СТО. Реалізувати таку модель аналітичними методами через її складність напевно чи представляється можливим, тому найбільш природним для її розробки є використання методу імітаційного статистичного моделювання [1].

### Структура алгоритма моделювання

В імітаційній статистичній моделі імітується випадковий процес, який можна описати графом станів і переходів, представленим на рис. 1 [2]. Згідно цього графа об'єкт в кожен момент часу може

знаходитися в одному з таких станів: 0 – працездатний (або справний) стан; в цьому стані об'єкт застосовується за призначенням; 1 – стан відмови; в цьому стані проводиться ремонт (відновлення) об'єкта; 2 – проводиться контроль технічного стану об'єкта; 3 – стан ТО (виконуються роботи по ТО).

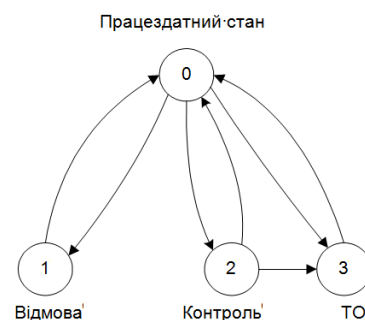


Рис. 1. Граф станів і переходів модельованого процесу

Переходи між станами відбуваються в випадковий або детермінований момент часу. Для такого процесу, в принципі, можна було б розробити аналітичну модель, наприклад, у вигляді системи диференціальних рівнянь Колмогорова [3], проте, практична реалізація такої моделі була б дуже складною. Головна складність полягає в тому, що для такої моделі необхідно отримати аналітичні вирази для інтенсивностей переходів між станами процесу, які повинні бути функціями від розглянутих вище параметрів об'єкта і параметрів СТД і СТО. Для отримання таких функцій можуть знадобитися окремі досить складні моделі. В результаті модель в цілому може виявитися вельми громіздкою і неефективною. Щодо простого способу вирішення поставленого завдання - отримання оцінок ПН і ВЕ з урахуванням залежності їх від розглянутих вище параметрів СТД і СТО є застосування методу імітаційного статистичного моделювання. Розглянемо тільки укрупнену структурну схему основного алгоритму моделювання (рис. 2).

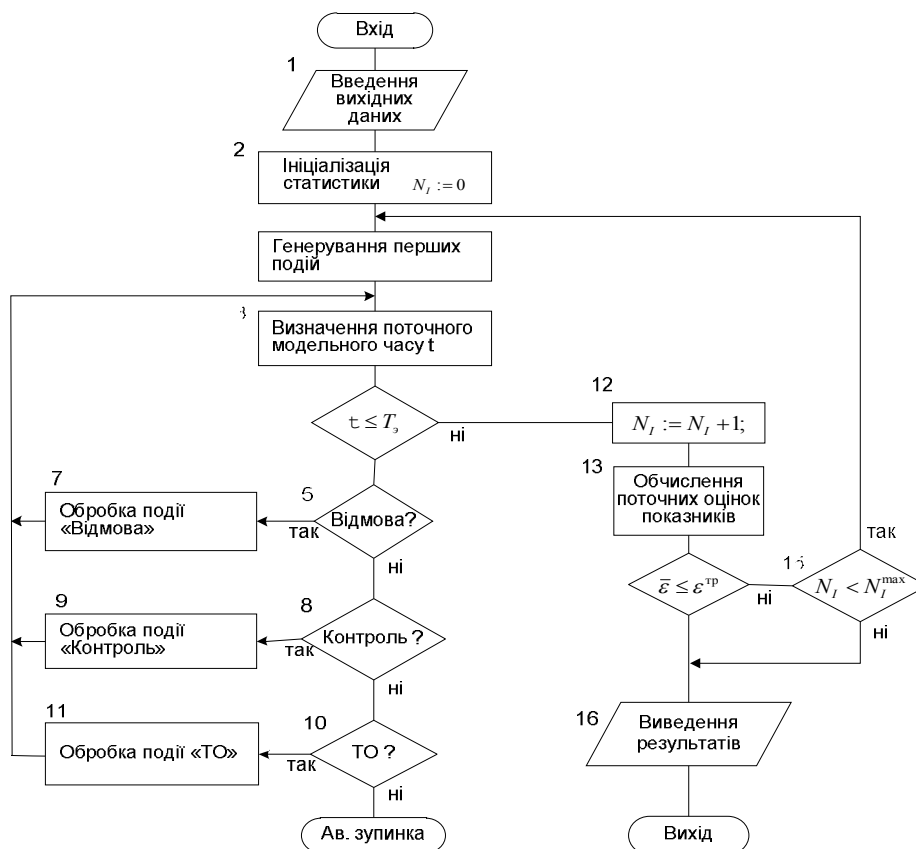


Рис. 2. Структурна схема розширеного алгоритму процесу моделювання в ІСМ

Робота алгоритму полягає в наступному.

Оператор 1 здійснює введення вихідної інформації з БД. Оператор 2 встановлює вихідні (нульові) значення в змінних, в яких процесі моделювання буде накопичуватися статистика, після завершення моделювання ця статистика буде використана для обчислення оцінок ПН і ВЕ. Встановлюється також початкове значення змінної, в якій проводиться підрахунок кількості виконаних ітерацій моделювання.

Оператор 3 на початку кожної ітерації моделювання генерує значення моментів часу настання

перших подій моделі, і зберігає їх в так званому «календарі подій» (КП). КП представляє собою масив даних, в який записуються значення моментів часу всіх модельних подій. В ІСМ явно імітуються три типи подій: відмови елементів, що входять в множини, події «Контроль» і «ТО». На рис. 3 показана діаграма, яка пояснює послідовність настання модельних подій. Перші події, які є відмовами елементів, генеруються за допомогою датчика випадкових чисел. Перші події «Контроль» і «ТО» плануються як детерміновані моменти часу, рівні  $T_{кнс}$  і  $T_{то}$  відповідно.

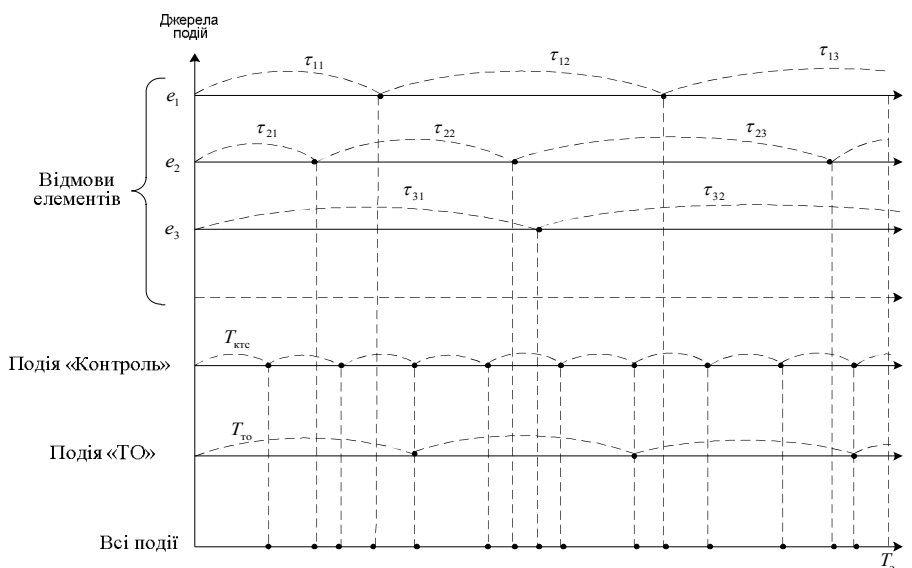


Рис. 3. Діаграма подій моделі

Потім починається процес моделювання, який полягає в циклічному виконанні операторів 3-11. Оператором 4 здійснюється «перегляд» КП, в результаті такого перегляду визначається найменше значення, що міститься в ньому, яке і приймається в якості поточного модельного часу  $t$  (цей час відповідає поточній події).

Якщо цей час не перевищило заданого значення тривалості моделювання  $T_3$  (цю перевірку виконує оператор 5), то далі виконуються оператори 6-11.

Оператори 6, 8, 10 перевіряють тип початку події. Якщо поточну подію «Відмова», оператор 6 передає управління оператору 7, який здійснює обробку цієї події. Обробка події полягає в нагромадженні необхідної статистики, пов'язаної з цією подією, і плануванні часу наступної події. Наступний час відмови генерується за допомогою датчика випадкових чисел. Для визначення випадкового часу (напрацювання) між відмовами елементів  $e_i \in E_0$  використовується датчик випадкових чисел, підпорядкованих  $DN$ -розподіленню, яке вважається найбільш адекватним для опису закономірностей відмов елементів радіоелектронної апаратури [4]. Отримане значення часу наступної відмови елемента  $e_i$  зберігається в КП замість його колишнього значення.

Обробка подій «Контроль» і «ТО» здійснюється аналогічним чином. Якщо поточна подія «Контроль», виконується оператор 9, якщо поточна подія «ТО», виконується оператор 11. Більш докладний опис цих операторів можна знайти в [2].

Розглянутий циклічний процес виконання операторів 4-11 триватиме до тих пір, поки поточний час  $t$  не перевищить задане значення тривалості експлуатації об'єкта  $T_e$ .

Як тільки виконається умова  $t > T_e$  циклічний процес переривається, і оператор 5 передає управління оператору 12. Оператор 12 підраховує кількість виконаних ітерацій моделювання  $N_I$ . Оператор 13 розраховує поточні оцінки ПН і ВЕ. Оператори

14,15 перевіряють умову завершення процесу моделювання. Такою умовою є досягнення необхідної точності результатів ( $\bar{\epsilon} \leq \epsilon^{TP}$ ) або виконання заданої кількості ітерацій процесу моделювання ( $N_I = N_I^{\max}$ ). Якщо така умова не виконується, оператор 15 передає управління оператору 3, після чого процес триває описаним вище чином. Завершується робота програми виконанням оператора 16, який виводить отримані результати на екран монітора.

## Висновки

Таким чином в статті запропонована ІСМ, за допомогою якої можна прогнозувати ПН і ВЕ об'єкта РЕЗО на стадії його проектування. Основну увагу приділено її зовнішнім описом, тобто змістом вихідної для моделі інформації і одержуваних в результаті моделювання результатами. Розглянуто також основний алгоритм моделі і принципи її роботи.

## Список літератури

1. *Forecasting to reliability complex object radio-electronic technology and optimization parameter their technical usage with the simulation statistical models: [monography] in English / S. Lenkov, K. Borjak, G. Banzak etc.; under edit. S. Lenkov. – Odessa: BMB, 2014. – 252 p.*
2. *Прогнозирование показателей надежности и стоимости эксплуатации объектов радиоэлектронной техники методом имитационного статистического моделирования / С.В. Ленков, К.Ф. Боряк, С.А. Пашков, В.Н. Цыцарев // Сборник научных работ Військового інституту КНУ імені Т. Шевченка. – К., 2016. – № 52. – С. 54 – 62.*
3. *Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1980. – 208 с.*
4. *Стрельников В.П. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем / В.П. Стрельников, А.В. Федухин. – К.: Логос, 2002. – 486 с.*

Надійшла до редколегії 9.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.В. Барабаш, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## АЛГОРИТМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И СТОИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ВООРУЖЕНИЯ

С.В. Ленков, Г.В. Банзак, В.Н. Цыцарев, Я.Н. Проценко

*В статье рассматривается алгоритм моделирования для прогнозирования показателей надежности (ПН) и стоимости эксплуатации (СЭ) объекта радиоэлектронных средств вооружения (РЕСВ) радиоэлектронной техники с учетом его конструктивной структуры и параметров систем технического диагностирования и технического обслуживания. В качестве ПН выходят оценки стандартных показателей: средняя наработка на отказ, коэффициент готовности и др. В качестве показателя СЭ получается удельная стоимость эксплуатации объекта.*

**Ключевые слова:** объект РЭСВ, показатели надежности, параметры объекта, имитационное статистическое моделирование, техническое обслуживание и ремонт.

## PROGNOSTICATION ALGORITHMS FOR PREDICTION RELIABILITY AND COST OPERATING FACILITIES RADIO ELECTRONIC MEANS OF WEAPONS

S.V. Lenkov, G.V. Banzak, V.M. Zuzarev, Ya.M. Prozenko

*The article discusses the modeling algorithm for prognostication to predict the reliability indices and operating costs of the object of radio electronic means of arms electronic equipment because of its constructive structure and parameters of technical diagnostics and maintenance systems. As reliability indexes out evaluation standard indicators: middle work on a refuse, coefficient of readiness, etc. As an indicator operating costs turns the unit cost of operation of the facility.*

**Keywords:** object of radio electronic means of arms, reliability indexes, parameters of object, imitating statistical modeling, maintenance and repair.