

УДК 623.4.017

В.В. Кобзєв, І.Є. Ряполов, Д.В. Фоменко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАПАСНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ЗРК. ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДХОДУ

Проведений аналіз методів моделювання з метою можливості їх застосування для вирішення задач аналізу якості функціонування системи забезпечення запасними елементами ЗРК. Пропонується підхід, який базується на комплексному використанні засобів аналітичного та імітаційного моделювання. Розглянуті складові функціонування системи забезпечення запасними елементами ЗРК та взаємозв'язок між ними.

Ключові слова: система забезпечення запасними елементами, типовий елемент заміни, зенітний ракетний комплекс, моделювання, стратегія поповнення запасів.

Вступ

Постановка проблеми. Високий рівень витрат на утримання і обмеженість фінансових надходжень у теперішній час обумовлює велику значимість економічності експлуатації складних технічних систем, таких як зенітні ракетні комплекси (ЗРК). Однією з важливих складових економічності експлуатації є економічність функціонування системи забезпечення запасними елементами (СЗЗЕ), під якою розуміють сукупність об'єктів забезпечення запасними елементами, складів, підприємств-постачальників і ремонтних органів, засобів доставки запасних елементів, інформаційних засобів і виконавців, взаємодія яких здійснюється для підтримки і відновлення об'єктів забезпечення [1]. Стосовно ЗРК, об'єктами забезпечення є окремі вироби, що входять до його складу та характеризуються потребою у запасних елементах, яка, в свою чергу, визначається безвідмовністю цих об'єктів, режимами експлуатації, кваліфікацією обслуговуючого персоналу, реалізованими методами технічного обслуговування і ремонту. Основною ланкою СЗЗЕ є типові елементи заміни (ТЕЗ), що скомплектовані, як правило, в комплекти ЗІП (одиначні, групові, ремонтні) і використовуються для відновлення працездатності засобів ЗРК. Метою функціонування СЗЗЕ є підтримка запасів елементів на такому рівні, коли задовольняються вимоги до заданих величин показників забезпеченості, і мінімізуються:

- сумарні витрати на формування і утримання комплектів запасних елементів та транспортування запасних елементів до місць проведення ремонту;
- збитки через відсутність запасних елементів у комплектах ЗІП.

З метою оптимізації витрат на експлуатацію ЗРК в частині зменшення витрат на функціонування СЗЗЕ необхідним є проведення прогнозування цього процесу. Через труднощі технічного і економічного

характеру, з якими пов'язана організація натурних випробувань, моделювання є найбільш прийнятним методом отримання характеристик досліджуваних процесів.

В зв'язку з цим для отримання кількісних характеристик досліджуваних процесів і розробки пропозицій щодо оптимізації структури СЗЗЕ та витрат на її функціонування **актуальною** є розробка моделей, які описують процеси функціонування СЗЗЕ та спряжені з ними процеси зміни технічного стану засобів ЗРК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сутністю моделювання є проведення деякого експерименту з моделлю, яка представляє собою формальний, алгоритмічний або аналітичний опис поведінки елементів досліджуваної системи у процесі її функціонування (при їхній взаємодії один з одним і з зовнішньою середою) [2 – 4]. Серед безлічі можливих моделей можна виділити об'єктні (фізичні об'єкти, макети, тощо), словесно-описові і математичні. Застосування моделей першого виду в даній предметній області є важко реалізовуваним. Словесно-описові моделі представляють собою сукупність емпіричних понять, неформалізований текст, рисунки, які характеризують оригінал у найзагальніших рисах. Використання таких моделей для вирішення задач аналізу якості функціонування СЗЗЕ також є дуже проблематичним, проте вони можуть бути використані для розробки відповідних математичних моделей, які, в свою чергу, є найбільш прийнятними для вирішення задач аналізу якості функціонування СЗЗЕ.

Математичні моделі діляться на [3, 4]:

- аналітичні, у яких характеристики, що цікавлять, можна отримувати у явному вигляді (кількісно або у символічному вигляді), або якісно (оцінка властивостей деякого рівня);
- імітаційні, у яких відтворюється функціонування оригіналу.

При моделюванні процесів функціонування СЗЗЕ з використанням аналітичних методів, як правило, пропонується розбивати досліджувану систему на окремі функціонально незалежні підсистеми (наприклад, за окремою номенклатурою запасних елементів або у відповідності з основними режимами функціонування), проводити окремий аналіз кожної підсистеми, за результатами яких робити висновки про характеристики всієї системи. Такий підхід має істотний недолік, який полягає у проблематичності урахування впливу взаємозв'язку між підсистемами, що може призводити до неадекватності розроблених моделей.

Крім того, до недоліків моделювання з використанням аналітичних методів можна віднести такі особливості:

- для проведення моделювання необхідно заздалегідь мати обґрунтовані відомості щодо законів розподілу наробітків між відмовами запасних елементів;

- складні аналітичні перетворення призводять до значної трудомісткості отримання результатів;

- процес аналітичного моделювання не є адаптивним, оскільки результати, які отримуються з урахуванням прийнятих законів розподілу і конкретної структури СЗЗЕ є такими, що відповідають одному частковому випадку і при зміні вихідних даних потребують проведення всіх аналітичних перетворень в об'ємі близьким до повного;

- аналітичне моделювання процесів, які протікають паралельно (наприклад, у декількох виробках), як правило, виконується з використанням адитивної композиції законів розподілу випадкових величин, що не завжди відповідає дійсності.

Таким чином, застосування аналітичних методів моделювання, внаслідок вищенаведених особливостей, а також нестационарності і стохастичності процесів, що протікають, призводить до необхідності введення великої кількості обмежень, що значно ускладнює використання даних методів.

На теперішній час основній масі розроблених методів аналізу якості функціонування СЗЗЕ властива низка істотних недоліків: значні обмеження, що накладаються на природу заявок, які обробляються, та зовнішні дії, які впливають на функціонування системи; спрямованість на роздільний аналіз частин системи; низька наочність; орієнтованість на використання тільки засобів аналітичного моделювання.

Крім того, вирішення завдань вибору структури СЗЗЕ, як правило, потребує оцінки ряду альтернативних варіантів, що значно ускладнює процес розробки і аналізу моделей.

Імітаційне моделювання дозволяє врахувати вплив великого числа зовнішніх і внутрішніх чинників, складний характер взаємодії окремих компо-

нентів системи та уникнути недоліків, характерних для аналітичного моделювання [2 – 4]. Це обумовлює перевагу імітаційних методів моделювання перед методами моделювання інших типів при вирішенні даного класу задач.

Метою даної статті є розробка підходу до моделювання процесу функціонування СЗЗЕ ЗРК для отримання кількісних характеристик цього процесу та обґрунтування пропозицій щодо шляхів оптимізації її структури.

Основний матеріал

Аналіз недоліків методів аналітичного моделювання показує, що отримання прийнятних результатів при використанні моделей такого типу можливе лише при великій кількості обмежень та жорстко заданих початкових умовах.

Для побудови імітаційної моделі необхідно представити у формальному вигляді алгоритм, який описує функціонування СЗЗЕ як динамічної системи. Стосовно СЗЗЕ ЗРК застосування формальних методів опису дискретних динамічних систем ускладнене, оскільки вони передбачають послідовний спосіб функціонування системи: перехід зі стану в стан, достатньо мала загальна кількість станів, тощо. В процесі функціонування СЗЗЕ можуть бути виділені декілька незалежних паралельних потоків задач, обслуговування яких доцільно представляти як паралельні процеси конвеєрного типу. Крім того, загальна кількість станів може досягати значної величини, що суттєво ускладнює опис складних взаємозв'язків як складової частини системи. З урахуванням вищевикладеного модель функціонування СЗЗЕ ЗРК як дискретної динамічної системи повинна включати моделі паралельних асинхронних процесів, що взаємодіють між собою.

Слід зазначити, що імітаційне моделювання може супроводжуватись достатньо великою тривалістю його проведення та можливою непрозорістю виявлення причин отриманих значень кількісних показників [3].

Для усунення вищевказаних недоліків пропонується підхід до проведення аналізу якості функціонування СЗЗЕ, який базується на комплексному використанні засобів аналітичного і імітаційного моделювання. Це дозволить зняти протиріччя між вимогами до необхідності урахування великої кількості факторів для отримання адекватної моделі і вимогами до точності отриманих результатів та виявлення причин, що обумовили такі значення.

В рамках підходу, що пропонується передбачається використання методу імітаційного моделювання в якості основного, як такого, що дозволяє проводити аналіз системи при великій кількості чинників, що враховуються. Аналітичні моделі пропонується використовувати в якості перевіірочних, а

також у випадках коли неможливе застосування імітаційних.

До імітаційних моделей, які передбачається використовувати при моделюванні функціонування СЗЗЕ ЗРК, доцільно сформулювати такі вимоги:

- повнота моделі повинна надавати користувачеві можливість отримання необхідного набору оцінок кількісних характеристик системи з необхідною точністю і достовірністю;

- гнучкість моделі повинна давати можливість відтворення різних ситуацій при варіюванні структури, стратегій і параметрів системи;

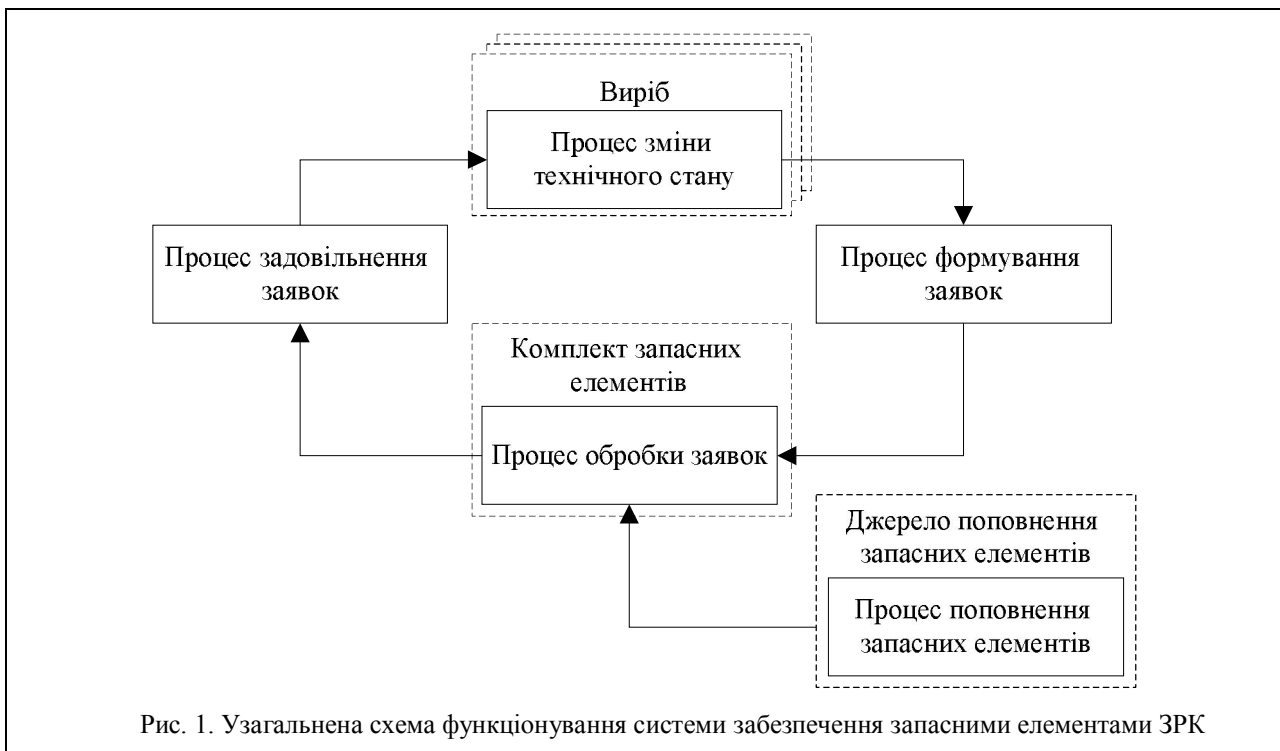
- структура моделі по можливості повинна бути блоковою, тобто допускати можливість заміни,

додавання і виключення окремих частин без переробки всієї моделі;

- інформаційне забезпечення повинне надавати можливість ефективної роботи моделі з базою даних систем певного класу (наприклад, відомості про надійність ТЕЗ, про переліз ТЕЗ, що входять до складу виробу, тощо);

- існуючі програмні і технічні засоби повинні забезпечувати ефективну (по швидкодії дії і завантаженості пам'яті) машинну реалізацію моделі і зручність під час роботи користувача з нею.

Узагальнена схема функціонування СЗЗЕ ЗРК, яка відображає процеси сумісного функціонування СЗЗЕ і виробі зі складу ЗРК наведено на рис. 1.



У відповідності з наведеною схемою ЗРК представляється як декілька окремих виробів, до складу кожного з яких, в свою чергу, входить сукупність ТЕЗ. В кожному ТЕЗ, а відповідно й у кожному виробі протікають процеси зміни технічного стану. У разі відмови ТЕЗ виникає необхідність у заміні непрацездатного елемента на працездатний з комплексу запасних елементів. Заявки на заміну, які надходять від різних виробів, впорядковуються і утворюють процес формування заявок. Далі заявка по кожному ТЕЗ в рамках комплексу запасних елементів переадресується до відповідної складової комплексу, де при наявності запасів приймається рішення про можливість задоволення конкретної заявки (процес обробки заявок). Впорядкована передача працездатних ТЕЗ з комплексу запасних елементів до виробів представляє собою процес задоволення заявок.

Наряду з витратою запасів елементів при розробці моделей функціонування СЗЗЕ ЗРК необхідно

враховувати і процеси поповнення комплектів запасних елементів, які представляють собою відновлення запасів по мірі їх витрачання в процесі експлуатації виробів. В більшості випадків при функціонуванні СЗЗЕ ЗРК доцільним є використання таких стратегій поповнення запасів [1, 5, 6]:

- стратегія періодичного поповнення (запаси відновлюються до початкового рівня через фіксовані, наперед задані інтервали часу);

- стратегія періодичного поповнення з екстреними доставками (крім планового періодичного поповнення запасів відбувається ще й непланове відновлення запасу до певного рівня у разі простою виробу через відсутність запасних елементів даного типу);

- стратегія відновлення запасу елементів (одночасно з заявкою на запасні елементи дефектний елемент надходить до ремонтного органу, а після ремонту повертається до того запасу, за рахунок якого задовольнялася заявка);

– стратегія безперервного поповнення (заявка на поповнення подається всякий раз, коли поточний рівень запасу знижується від початкового рівня до деякої наперед заданої величини).

Різновидами стратегії безперервного поповнення є стратегія з екстреною доставкою, стратегія без екстреної доставки, стратегія періодичного поповнення та стратегія з випадковою затримкою у поповненні запасів.

Крім того, для забезпечення прийнятної точності розрахунку кількісних характеристик досліджуваних процесів при розробці моделей функціонування СЗЗЕ ЗРК слід враховувати, що:

– будь-який комплект ЗІП складається із запасних елементів різного типу;

– СЗЗЕ доцільно розглядати не як самостійний об'єкт, а як виріб військової техніки разом з СЗЗЕ, що додається до нього, тобто розглядати як систему "виріб – комплекти ЗІП";

– відмова СЗЗЕ є такий стан пари "виріб – комплекти ЗІП", при якому виріб втратив працездатність, а комплект ЗІП не в змозі надати потрібного запасного елемента, тобто відмова СЗЗЕ, як правило не співпадає з обнулінням запасів елементів;

– відмова СЗЗЕ пов'язана з відсутністю будь-яких запасних елементів в комплекті ЗІП, який безпосередньо обслуговує виріб, та призводить до простою останнього.

Висновки

Обґрунтована необхідність проведення моделювання процесу функціонування СЗЗЕ ЗРК з метою отримання кількісних характеристик та розробка пропозицій щодо оптимізації структури СЗЗЕ і витрат на її утримання. Проведений аналіз методів моделювання з точки зору можливості їх застосування для вирішення даного класу задач. Запропонований

підхід до проведення аналізу якості функціонування СЗЗЕ ЗРК, який базується на комплексному використанні засобів аналітичного та імітаційного моделювання, який дозволяє зняти протиріччя між вимогами до необхідності урахування великої кількості факторів для отримання адекватної моделі і вимогами до точності отриманих результатів та виявлення причин, що обумовили такі їх значення. Наведена узагальнена схема, яка розкриває складові функціонування СЗЗЕ ЗРК та взаємозв'язок між ними. Сформульовані вимоги до імітаційних моделей, розробка яких необхідна для моделювання досліджуваних процесів. Акцентована увага на характерних рисах процесу функціонування СЗЗЕ ЗРК, урахування яких сприятиме забезпеченню адекватності розроблених моделей та прийнятної точності оцінок кількісних характеристик, що будуть отримуватися з їх допомогою.

Список літератури

1. Головин И.Н. Расчет и оптимизация комплектов запасных элементов радиоэлектронных систем / И.Н. Головин, Б.В. Чуварыгин, А.Э. Шура-Бура. – М.: Радио и связь, 1984. – 176 с.
2. Демидов Б.А. Основы научных исследований. Т. 2: Имитационное моделирование / Б.А. Демидов. – Х.: ВИРТА, 1981. – 400 с.
3. Демидов Б.А. Методы военно-научных исследований: В 4-х т. / Б.А. Демидов. – Х.: ВИРТА, 1989. – Т. 4. – 593 с.
4. Советов Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1985. – 271 с.
5. Надежность технических систем / Ю.К.Беляев, В.А. Богатырев, Б.В. Болотин и др.; под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
6. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.

Надійшла до редколегії 22.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.І. Карпенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАПАСНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЗРК. ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДА

В.В. Кобзев, И.Е. Ряполов, Д.В. Фоменко

Проведен анализ методов моделирования с целью возможности их использования для решения задач анализа качества функционирования системы обеспечения запасными элементами ЗРК. Предлагается подход, который базируется на комплексном использовании средств аналитического и имитационного моделирования. Рассмотрены составляющие функционирования системы обеспечения запасными элементами ЗРК и взаимосвязь между ними.

Ключевые слова: система обеспечения запасными элементами, типичный элемент замены, зенитный ракетный комплекс, моделирование, стратегия пополнения запасов.

THE DESIGN OF PROCESS OF FUNCTIONING OF THE SYSTEM OF PROVIDING THE SPARE ELEMENTS OF ANTI-AIRCRAFT COMPLEX. GROUND OF APPROACH

V.V. Kobzev, I.E. Ryapolov, D.V. Fomenko

The analysis of design methods is conducted with the purpose of possibility them uses for the decision of tasks of analysis of quality of functioning of the system of providing the spare elements of anti-aircraft complex. Offered approach, which is based on the complex use of facilities of analytical and imitation design. The making functioning's of the system of providing the spare elements of AMC and intercommunication are considered between them.

Keywords: system of providing spare elements, typical element of replacement, zenithal rocket complex, design, strategy of addition to the supplies.