

УДК 623.4.017

Д.А. Півнєв, Д.С. Калугін, В.П. Попов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

АНАЛІЗ НАБЛИЖЕНИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ НЕСТАЦІОНАРНОГО КОЕФІЦІЄНТА ГОТОВНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ І ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Аналізується точність наближених методів розрахунку нестационарного коефіцієнта готовності радіоелектронних засобів (РЕЗ) зенітних ракетних комплексів (ЗРК) за показниками надійності її елементів. Розглядається придатність до вирішення завдань продовження ресурсів, визначення призначеного ресурсу (терміну служби) і ін. Експлуатація ОВТ в сучасних умовах вимагає вирішення завдань визначення призначених ресурсів (термінів служби), продовження ресурсів після закінчення призначених термінів служби. Вирішення цих завдань пов'язане з розрахунками нестационарного коефіцієнта готовності і нестационарного коефіцієнта оперативної готовності.

Ключові слова: нестационарний коефіцієнт готовності, продовження ресурсів.

Вступ

Постановка проблеми. Експлуатація озброєння і військової техніки (ОВТ) в сучасних умовах вимагає вирішення завдань визначення призначених ресурсів (термінів служби), продовження ресурсів після закінчення призначених термінів служби. Вирішення цих завдань пов'язане з розрахунками нестационарного коефіцієнта готовності (НКГ) і нестационарного коефіцієнта оперативної готовності (НКОГ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науково-технічній літературі широко відомі методи розрахунку стаціонарних коефіцієнтів готовності систем по характеристиках надійності елементів [1–3]. Проте ці методи спрощено враховують режими елементів, особливо при відновленні їх працездатності, припускають стаціонарними характеристики інтенсивності відмов і відновлень елементів і ін., що приводить до погрешностей розрахунку НКГ і НКОГ. При цьому не враховуються такі особливості РЕЗ ЗРК:

– багаторівневу структуру РЕЗ ЗРК, яку можна представити структурою типу "дерево": РЕЗ ЗРК – функціональна система (ФС) – функціональний вузол – комплектуючі елементи;

– структурну схему надійності (ССН) кожної виділеної підсистеми, яка може бути послідовною, паралельною, послідовно-паралельною і др.;

– режими функціонування різних рівнів, при проведенні технічного обслуговування, регламентних робіт, відновлення працездатного стану (для підсистеми "РЕЗ ЗРК – ФС" ССН є послідовною, причому, у разі відмови одній ФС функціонування ЗРК припиняється до закінчення відновлення, при цьому інші ФС знаходяться у вимкненому стані і не відмовляють).

Формулювання мети статті. Точні методи розрахунку вимагають вирішення системи диференціальних рівнянь із змінними коефіцієнтами, порядок якої визначається числом ФС, а коефіцієнти – характеристиками інтенсивностей відмов $\lambda_i(t)$ і відновлень $\mu_i(t)$. Такий метод є трудомістким. Він буде прийнятий як

еталонний для оцінки погрешностей розрахунків НКГ (НКОГ) наближеними методами.

Викладення основного матеріалу

Розглянемо наближені методи розрахунків НКГ і НКОГ з використанням ССН і фазового укрупнення.

Метод розрахунку з використанням ССН полягає в знаходженні НКГ кожній i -й ФС $\hat{E}_{\bar{a}i}(t)$ по відомих характеристиках $\lambda_i(t)$ і $\mu_i(t)$ і подальшої підстановки їх значень в булеву структурну функцію $S(\bar{x})$ надійності виробу [4]:

$$\hat{E}_{\bar{a}}(t) = S \left[\vec{\hat{E}}_{\bar{a}i}(t) \right], \quad i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Праву частину (1) слід розуміти наступним чином. На початку представляють булеву структурну функцію $S(\bar{x})$ ФС у вигляді виразу, який містить добутки та суми, далі розкривають скобки у виразі таким чином, щоб жодний добуток не містив одну й ту ж саму булеву змінну більш одного разу [4].

Так у випадку послідовної структурної схеми надійності:

$$K_{\bar{a}}(t) = \prod_{i=1}^n K_{\bar{a}i}(t). \quad (2)$$

При цьому погрешності розрахунків обумовлені тим, що вимкнені ФС які не відмовили, передбачаються такими, що функціонують.

Метод фазового укрупнення [5] заснований на укрупненні підмножини непрацездатних станів ФС виробу в одному стані (рис. 1) із заміною інтенсивностей $\lambda_i(t)$ і $\mu_i(t)$ наближеними еквівалентними, що є джерелом погрешностей обчислення НКГ виробу

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t), \quad \mu(t) = \sum_{i=1}^n \mu_i(t) p_i(t),$$

де $p_i(t)$ – ймовірність перебування в i -му непрацездатному стані.

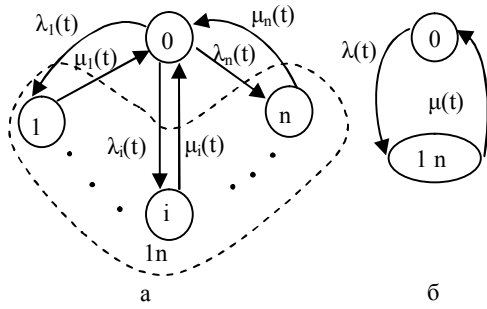


Рис. 1. Граф переходів станів РЕЗ: а – початковий, б – укрупнений

Розрахункове співвідношення для методу фазового укрупнення має вигляд:

$$K_{\bar{a}}(t) = e^{-F(t)} \left\{ 1 + \int_0^t \mu(\tau) e^{F(\tau)} d\tau \right\}, \quad (3)$$

$$F(t) = \int_0^t \lambda(\tau) d\tau + \int_0^t \mu(\tau) d\tau.$$

Для аналізу можливостей розрахунку НКГ РЕЗ ЗРК наближеними методами проведені розрахунки відносної погрішності δ , %. Спочатку розглянемо погрішності розрахунків стаціонарних коефіцієнтів готовності. Точне розрахункове співвідношення –

$$K_{\bar{a}} = \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{1 - K_{\bar{a}i}}{K_{\bar{a}i}} \right), \quad (4)$$

наближене –
$$K_{\bar{a}} \approx \prod_{i=1}^n K_{\bar{a}i}. \quad (5)$$

Як приклад на рис. 2 приведені графіки залежностей δ , % , для виробу з високонадійних ($\hat{E}_{\bar{a}i}(t) > 0,95$) ФС, та менш надійні ФС ($\hat{E}_{\bar{a}i}(t) \leq 0,95$) як функції від числа n ФС при постійних значеннях $\lambda_i(t)$, $\mu_i(t)$. Як видно з рис. 2, НКГ при стаціонарних характеристиках λ_i та μ_i значення δ , % збільшуються із зростанням числа кількості ФС та зменшенням їх надійності. Так, на рис. 3, 4 представлені графіки залежності відносної погрішності δ , % розрахункових значень НКГ РЕЗ від напрацювання t при $n=3$, при різних характеристиках надійності і різних продовжених термінах служби. Дані для побудови графіків наведені в табл. 1, 2.

Результати проведених розрахунків показують, що для обох методів розрахунку характерне зростання δ , % із збільшенням числа ФС і зниженням рівня їх надійності. При цьому для методу фазового укрупнення і низьконадійних ФС ($\hat{E}_{\bar{a}i}(t) < 0,95$) δ , % < 1 %. Для методу ССН погрішності розрахунків великі для низьконадійних ФС не перевищує 20 % при збільшенні числа ФС до 3, а для високонадійних ФС – значення δ , % < 1 % при $n = 1,5$.

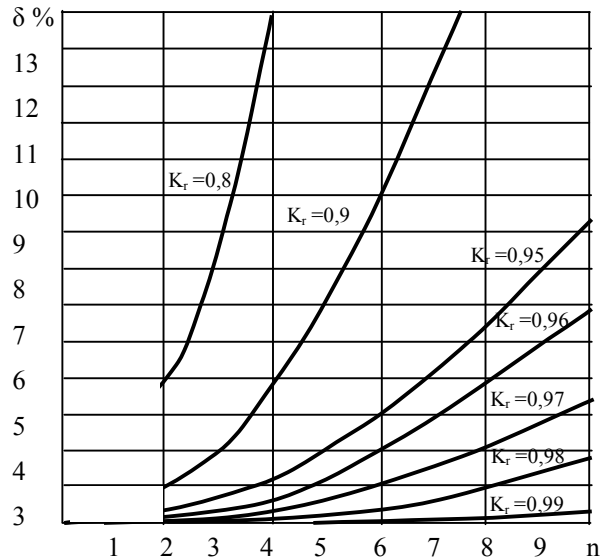


Рис. 2. Графіки залежностей відносної погрішності δ , %, оцінок коефіцієнту готовності виробу від кількості ФС n

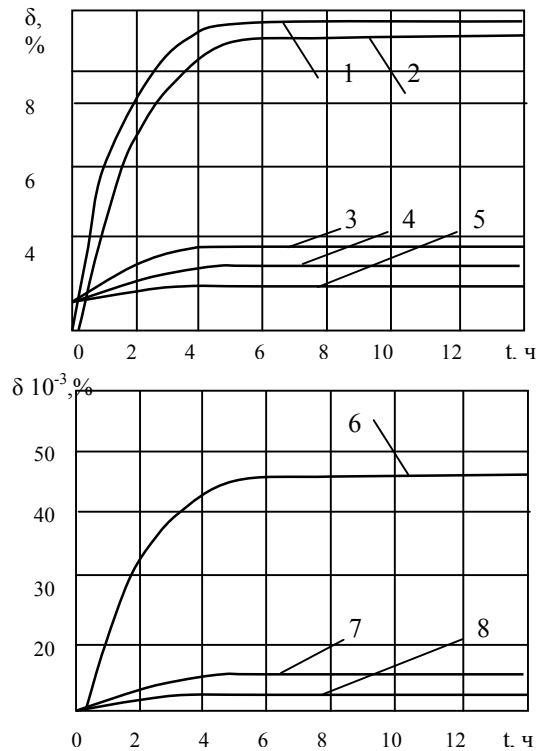


Рис. 3. Графіки залежностей відносної погрішності δ , %, розрахункових значень РЕЗ від напрацювання t при $n = 3$, за методом ССН

Таблиця 1

Вхідні дані для побудови графіків на рис. 3

| № | Дані для графіка | | | | | |
|---|-------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|---------|
| | λ_1 | λ_2 | λ_3 | μ_1 | μ_2 | μ_3 |
| 1 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 2,0 | 1 | 0,5 |
| 2 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 0,5 | 2,0 | 1 |
| 3 | 0,03 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 1 | 1,5 |
| 4 | 0,2 | 0,525 | 0,05 | 0,5 | 1 | 2,0 |
| 5 | 0,005 | 0,01 | 0,1 | 0,5 | 2,0 | 1 |
| 6 | 10^{-2} | $5,25 \cdot 10^{-3}$ | $1,25 \cdot 10^{-2}$ | 0,5 | 2,0 | 1 |
| 7 | $5 \cdot 10^{-3}$ | 10^{-3} | $5 \cdot 10^{-3}$ | 0,5 | 1 | 1 |
| 8 | $2 \cdot 10^{-4}$ | 10^{-2} | $1,25 \cdot 10^{-2}$ | 0,5 | 1 | 2,0 |

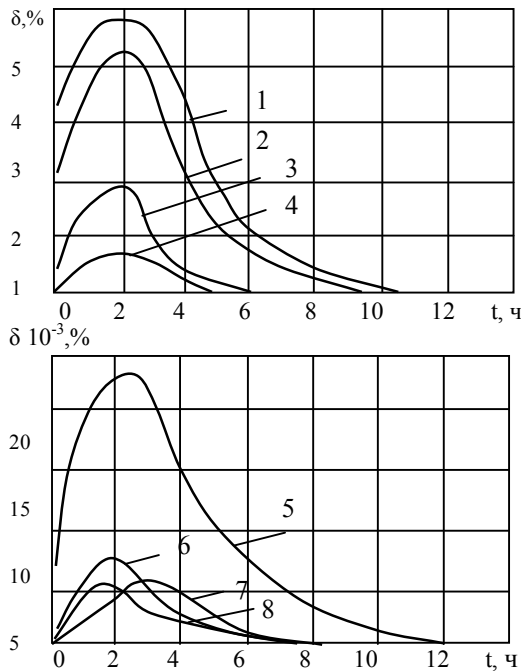


Рис. 4. Графіки залежностей відносної погрішності δ , %, розрахункових значень НКГ від напрацювання t при $n=3$, за методом фазового укрупнення

Таблиця 2

Вхідні дані для побудови графіків рис. 4

| № | Дані для графіка | | | | | |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|---------|
| | λ_1 | λ_2 | λ_3 | μ_1 | μ_2 | μ_3 |
| 1 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 2,0 | 1 | 0,5 |
| 2 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 0,5 | 2,0 | 1 |
| 3 | 0,2 | 0,0525 | 0,05 | 0,5 | 1 | 2,0 |
| 4 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 2,0 | 1 |
| 5 | 10^{-2} | $5,25 \cdot 10^{-3}$ | $1,25 \cdot 10^{-2}$ | 0,5 | 2,0 | 1 |
| 6 | $2 \cdot 10^{-3}$ | 10^{-2} | $1,25 \cdot 10^{-2}$ | 0,5 | 1 | 2,0 |
| 7 | $5 \cdot 10^{-3}$ | 10^{-3} | $5 \cdot 10^{-3}$ | 0,5 | 1 | 1 |
| 8 | $1,25 \cdot 10^{-2}$ | 10^{-2} | $2 \cdot 10^{-3}$ | 0,5 | 2,0 | 1 |

Оцінки погрішностей розрахунків НКГ для високонадійних РЕЗ ЗРК при нестационарних характеристиках $\lambda_i(t)$ і $\mu_i(t)$, що характерний для етапу старіння, для обох методів розрахунку не перевищують

АНАЛИЗ ПРИБЛИЖЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕСТАЦИОНАРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ЗРК И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Д.А. Пивнев, Д.С. Калугин, В.П. Попов

Анализируется точность приближенных методов расчета нестационарного коэффициента готовности радиоэлектронных средств зенитно-ракетных комплексов по показателям надежности элементов. Рассматривается их дополнение к решению задач продления ресурсов, определения назначенного ресурса (срока службы) и др. Эксплуатация вооружения и военной техники в современных условиях требует решения задач решения назначенных ресурсов (сроков службы), продления ресурсов после окончания назначенных сроков службы. Решения этих задач связано с расчетами нестационарного коэффициента готовности и нестационарного коэффициента оперативной готовности.

Ключевые слова: нестационарный коэффициент готовности, продление ресурса.

AN ANALYSIS OF CLOSE METHODS OF CALCULATION OF NON-STATIONARY COEFFICIENT OF READINESS RADIO ELECTRONIC FACILITIES OF ANTI-AIRCRAF MISSILE COMPLEXES AND THEIR APPLICATION TO THE SOLUTION OF MAINTANANCE TASKS

D.A. Pivnev, D.S. Kalugin, V.P. Popov

The accuracy of the approximate calculation methods of the anti-aircraft emplacement electronics instantaneous availability by elements reliability indexes is study. Their addition to overhaul-period renewal problem solution, specified life and others are considered. Exploitation of Armament and military technique in modern terms requires the decision of tasks of decision of the appointed resources (terms of work), extension of resources after completion of the appointed terms of work. The decisions of these tasks are related to the calculations of non-stationary coefficient of readiness and non-stationary coefficient of operative readiness.

Keywords: non-stationary availability factor, service life prolongation.

9 %. Таким чином погрішності розрахунків НКГ складного виробу, функціонування якого припиняється у випадку відмови та під час відновлення його ФС, за співвідношенням (5) мають тенденції до зростання зі збільшенням кількості ФС РЕЗ та зниженням їх надійності. Розрахунки за дослідженими методикою ССН дають занижене значення коефіцієнту готовності, і при низькій надійності ФС методика дає чуттєві похибки. Розглянуті методи оцінки НКГ (НКОГ) достатньо прості в реалізації і можуть служити основою для вирішення завдань, пов'язаних з визначенням призначеного ресурсу РЕЗ ЗРК і його продовженням.

Висновки

Таким чином, запропоновані методи розрахунків забезпечує прийнятна точність розрахунків НКГ і НКОГ високонадійних ФС, що дозволяє їх використовувати для вирішення завдань продовження ресурсів, визначення призначених ресурсів (термінів служби) РЕЗ ЗРК і ін. завдань експлуатації.

Список літератури

1. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 458 с.
2. Беляев Ю.К., Надежность технических систем: справ. / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, Б.В. Волошин и др.; под. ред. И.А. Ушакова, – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
3. Ивлев В.В. Надежность систем из однотипных элементов / В.В. Ивлев. – М.: Радио и связь, 1986. – 96 с.
4. Оценка надежности систем с использованием графов / К. Райнике, Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев; под. ред. И.А. Ушакова, – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
5. Денонир. рук. № 5894. Фазовое укрупнение систем, описываемых стохастическими сетевыми графами / Б.Н. Ланецкий. – М.: ЦИВТИ, 1992. – 10 с.

Надійшла до редколегії 7.04.2008

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук співр. В.О. Василець, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.