

УДК 623.418

Ю.В. Трофименко, О.М. Доска, П.О. Марункевич

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ДОСТАТНОСТІ ОДИНОЧНОГО КОМПЛЕКТУ ЗІП ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ

*В статті запропоновано вирішення задачі розрахунку показників достатності запасних частин одиночного комплекту ЗІП зенітного ракетного озброєння для довільних законів розподілу випадкових величин наробітку на відмову і часу доставки заказаної партії запасних частин, за умови поповнення запасів запасних частин за рівнем.*

**Ключові слова:** показники достатності, запасні частини, одиночний комплект ЗІП.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Забезпечення проведення поточного ремонту зразків зенітного ракетного озброєння (ЗРО) вимагає запасних частин, інструментів та приладдя (ЗІП). Недостатній рівень запасів запасних частин призводить до збільшення часу перебування зразків ЗРО в непрацездатному стані. Надмірна кількість ЗЧ вимагає значних витрат на створення і зберігання як одиночних, так і групових комплектів ЗІП [1].

Номенклатура і склад запасних частин одиночних комплектів ЗІП (ЗІП-О) визначається вимогами до їх показників достатності – середній час затримки ЗІП у виконанні заявки на запасну частину ( $\Delta t_{\text{зіп}}$ ), коефіцієнт готовності ЗІП ( $K_{\text{зіп}}$ ), ймовірність достатності ЗІП ( $P_{\text{зіп}}^{(n)}$ ) [2 – 4]. У зв'язку з цим при обґрунтуванні номенклатури і складу запасних частин комплектів ЗІП-О необхідно розрахувати показники достатності.

Відомі підходи [1 – 3] розрахунку показників достатності ґрунтуються на математичних моделях, що описують потік заявок на ЗЧ і потік їх витрат. При цьому робиться припущення про експоненціальний закон розподілу випадкової величини наробітку складових частин зразка ЗРО на відмову. Це припущення не завжди відповідає дійсності і може призводити до завищення необхідного числа запасних частин комплектів ЗІП-О.

У зв'язку з цим виникає необхідність вирішення задачі розрахунку показників достатності комплектів ЗІП-О для довільних законів розподілу випадкових величин наробітку на відмову і часу доставки заказаної партії запасних частин.

**Аналіз літератури.** Існуючі підходи [1 – 4] для розрахунку показників достатності експлуатаційних комплектів ЗІП ґрунтуються на моделях функціонування запасу запасних частин. При цьому процес забезпечення запасними частинами носить характер масового обслуговування, тому для опису процесів

використання і поповнення запасних частин в комплектах ЗІП-О використовують математичний апарат теорії системи масового обслуговування. При цьому в [1 – 4] обмежуються найпростішими потоками заявок на обслуговування та їх задоволення.

В [5] представлена методика розрахунку показників достатності та необхідної кількості запасів запасних частин комплектів ЗІП на основі двохпараметричної функції розподілу напрацювання до відмови (на відмову) дифузійного немонотонного розподілу (DN-розподілу).

В [6] представлена модель процесу забезпечення запасними частинами радіоелектронних засобів при безперервній, періодичній та періодичній з екстремними доставками стратегіях поповнення. Стратегія поповнення запасних частин за рівнем в роботі [6] не розглядалася.

Таким чином, існуючі підходи [1-6] розроблені при припущеннях про експоненціальний та DN закони розподілу випадкових величин. Використання таких припущень, в моделі процесу забезпечення запасними частинами зразків ЗРО, потребує додаткового обґрунтування та може вносити погрішності при розрахунку комплектів ЗІП.

**Мета статті.** Вирішення задачі розрахунку показників достатності запасних частин комплекту ЗІП-О для довільних законів розподілу випадкових величин наробітку на відмову і часу доставки заказаної партії запасних частин.

### Основна частина

Розглянемо одиночну систему забезпечення зразків ЗРО запасними частинами за рівнем. Стратегія поповнення запасних частин за рівнем використовується, як правило, для поповнення запасів дорогих не відновлювальних запасних частин в комплекті ЗІП-О. Крім того, використання цієї стратегії зручне при розробці систем “виріб-ЗІП”, статичні характеристики відмов яких невідомі або недостовірні.

При використанні стратегії поповнення запасних частин за рівнем для запасу запасних частин

даного типу фіксується ціле число  $m$  і коли запас запасних частин даного типу вичерпується до рівня  $m$ , надсилається заявка на поповнення  $n$  запасних частин в довольчий орган ( $n > m$ ).

Заявка на поповнення запасних частин задовольняються через випадковий час  $\tau$ , що має функцію розподілу

$$G(t) = P\{\tau \leq t\}, t \in \overline{0, \infty},$$

де  $t$  – довільне дійсне число.

Вимоги на запасні частини надходять через випадкові взаємозалежні інтервали  $\xi$ , які мають функцію розподілу

$$F(t) = P\{\xi \leq t\}, t \in \overline{0, \infty}.$$

Процес витрачання та поповнення запасних частин є регенеративним, причому в якості точок регенерації доцільно вибрати моменти подачі заявок на запасні частини.

Тоді задача розрахунку показників достатності комплекту ЗПП-О може бути сформульована таким чином.

При відомих:

– номенклатурі запасних частин для яких проводяться розрахунки  $j \in J$ ;

– числі запасних частин  $j$ -го типу при вичерпанні запасу до якого надсилається заявка на поповнення  $m_j$ ;

– числі запасних частин  $j$ -го типу на які посиляються заявка на поповнення  $n_j$ ;

– законі розподілу випадкової величини часу доставки заказаної партії запасних частин  $G(\tau)$ ;

– законі розподілу випадкової величини наробітку на відмову складових частин відповідного типу  $F(\xi)$ ,

знайти показники достатності комплекту ЗПП-О.

Так як розглядається одиночна система забезпечення запасними частинами за рівнем, тоді в якості показників достатності доцільно використовувати  $K_{зип}$  та  $\Delta t_{зип}$ .

При цьому в [2] зазначено, що для розрахунку  $K_{зип}$  та  $\Delta t_{зип}$  в цілому, достатньо визначити  $K_{j зип}$  та  $\Delta t_{j зип}$  всіх запасів запасних частин  $j \in J$ , які входять до складу цього комплекту ЗПП.

Тому в подальшому, розглянемо математичні співвідношення розрахунку показників достатності лише для одного фіксованого типу запасних частин, а індекс  $j$  опустимо.

Оскільки, за умовами задачі, процес забезпечення запасними частинами регенеративний, то показники достатності  $K_{зип}$ ,  $\Delta t_{зип}$  можуть бути розраховані за такими співвідношеннями:

$$K_{зип} = 1 - \frac{Mt_{оч}}{MT}; \quad (1)$$

$$\Delta t_{зип} = \frac{Mt_{оч}}{n + m}, \quad (2)$$

де  $MT$  – середня тривалість циклу регенерації;

$Mt_{оч}$  – середній час простою виробу в непрацездатному стані з причини відсутності запасних частин за цикл регенерації.

Тривалість циклу регенерації може бути розрахований за співвідношенням

$$T = \max(\tau, \xi_{m+1}) + \sum_{i=m+2}^n \xi_i,$$

де  $\xi_{m+1}$  – сумарний час відмови  $(m+1)$  складових частин.

Якщо чергова  $(m+1)$  вимога надсилається раніше, ніж відбувається поповнення запасних частин то  $T$  можна представити як суму часу надходження замовлення і тих  $n - (m+1)$  вимог, які зменшують запас до точки замовлення  $m$ .

Так як

$$\begin{aligned} P\{\max(\tau, \xi_{m+1}) \leq t\} &= \\ &= P\{\tau \leq t\}P\{\xi_{m+1} \leq t\} = \\ &= G(t)F_{m+1}(t), \end{aligned}$$

то

$$\begin{aligned} MT &= \int_0^{\infty} td(G(t)F_{m+1}(t)) + \int_0^{\infty} td(F_{n-m-1}(t)) = \\ &= \int_0^{\infty} [1 - G(t)F_{m+1}(t)]dt + \int_0^{\infty} [1 - F_{n-m-1}(t)]dt, \end{aligned} \quad (3)$$

За цикл регенерації зразок зенітного ракетного озброєння не буде простоювати в непрацездатному стані, якщо після замовлення чергове поповнення запасних частин поступає раніше ніж  $(m+1)$  вимог на запасні частини. В протилежному разі, ЗРО буде простоювати протягом часу  $(\tau - \xi_{m+1})$ , якщо  $(m+1)$  вимог надходять раніше ніж поповнення запасних частин.

Тоді

$$t_{оч} = \max[0, (\tau - \xi_{m+1})].$$

Так як

$$\begin{aligned} P\{\max(0, \tau - \xi_{m+1}) > u\} &= \\ &= \int_u^{\infty} F_{m+1}(t - u)dG(t) = \\ &= \int_0^{\infty} F_{m+1}(u)dG(u + v), \end{aligned}$$

то

$$\begin{aligned}
 Mt_{\text{оч}} &= \\
 &= \int_0^{\infty} P\{\max(0, \tau - \xi_{m+1}) > u\} du = \\
 &= \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} F_{m+1}(v) dG(u+v).
 \end{aligned}$$

Змінимо порядок інтегрування, отримаємо

$$\begin{aligned}
 Mt_{\text{оч}} &= \\
 &= \int_0^{\infty} [1 - G(v)] F_{m+1}(v) dv. \quad (4)
 \end{aligned}$$

Підставимо (3), (4) в (1) та (2), отримаємо

$$\begin{aligned}
 K_{\text{зип}} &= 1 - \frac{\int_0^{\infty} [1 - G(v)] F_{m+1}(v) dv}{\int_0^{\infty} [1 - G(t)] F_{m+1}(t) dt + \int_0^{\infty} [1 - F_{n-m-1}(t)] dt}, \\
 \Delta t_{\text{зип}} &= \frac{\int_0^{\infty} [1 - G(v)] F_{m+1}(v) dv}{n + m}.
 \end{aligned}$$

Таким чином, отримані математичні співвідношення, що дозволяють провести розрахунки показників достатності запасу запасних частин комплексу ЗІП-О та вирішити поставлену задачу.

## ВИСНОВКИ

Вирішено задачу розрахунку показників достатності запасних частин комплексу ЗІП-О при використанні стратегії поповненні запасів запасних частин за рівнем.

Надійшла до редколегії 9.03.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Б.М. Ланецький, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОСТАТОЧНОСТИ ОДИНОЧНОГО КОМПЛЕКТА ЗИП ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО ВООРУЖЕНИЯ

Ю.В. Трофименко, А.М. Доска, П.А. Марункевич

*В статье предложено решение задачи расчета показателей достаточности запасных частей одиночного комплекта ЗИП зенитного ракетного вооружения для произвольных законов распределения случайных величин наработки на отказ и времени доставки заказанной партии запасных частей, при условии пополнения запасов запасных частей по уровню.*

**Ключевые слова:** показатели достаточности, запасные части, одиночный комплект ЗИП.

## COMPUTATION OF INDEX FOR SPARE PART KIT EFFICIENCY OF SURFACE-TO-AIR MISSILE COMPLEX

Yu. V. Trofimenko, O. M. Doska, P. O. Marynkevich

*In the paper, we propose solution to the task of computing the index of the spare parts kit sufficiency that includes parts for repairing surface-to-air missile complex. Solution is based on assumption of arbitrary probability distribution of the time to fault and time of spare part delivery given that condition of spare kit replenishment by level is satisfied.*

**Keywords:** sufficiency index, spare parts, single kit of spare parts and accessories.