

УДК 623

Б.М. Ланецький, О.М. Доска

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МЕТОД РОЗРАХУНКУ СКЛАДУ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН КОМПЛЕКТІВ ЗІП ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВОДОЧНИХ РОБІТ ТА ВИПРОБУВАНЬ ЗРАЗКА ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ ПРИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РЕМОНТАХ

У статті проводиться постановка задачі розрахунку складу запасів запасних частин комплектів ЗІП для забезпечення доводочних робіт та випробувань зразка зенітного ракетного озброєння при відновлювальному середньому чи капітальному ремонті та розробляється метод її вирішення.

Ключові слова: відновлювальний ремонт, зразок зенітного ракетного озброєння, доводочні роботи та випробування, запасні частини.

Вступ

Постановка проблеми. Проведення відновлювальних середнього чи капітального ремонтів зразків зенітного ракетного озброєння (ЗРО) передбачає дефектацію, усунення бойових пошкоджень, відновлення працездатності та часткове відновлення ресурсу зразків ЗРО в обсязі, достатньому для виконання бойових завдань протягом встановленого часу [1]. При цьому після усунення бойових пошкоджень і відновлення працездатності проводяться доводочні роботи і випробування зразка ЗРО.

Тому, до складу відповідних комплектів ЗІП-В для відновлювальних ремонтів, крім запасів запасних частин для усунення бойових пошкоджень, необхідно включити запаси запасних частин для забезпечення доводочних робіт і випробувань.

Номенклатура і кількість запасних частин комплектів ЗІП-В для забезпечення проведення доводочних робіт та випробувань при відновлювальних середньому чи капітальному ремонті зразків ЗРО визначається номенклатурою, кількістю, безвідмовністю їх складових частин, вимогами до своєчасного відновлення працездатності зразків ЗРО з усуненими бойовими пошкодженнями, вартістю запасних частин, які включаються до комплектів ЗІП-В.

Основними складовими, що визначають потік відмов при проведенні доводочних робіт і випробувань є радіоелектронні засоби зразків ЗРО. При цьому характерною особливістю проведення доводочних робіт і випробувань радіоелектронних засобів зразків ЗРО є нестаціонарний потік відмов на цьому інтервалі [1]. Тому, вирішення задачі розрахунку складу запасів запасних частин комплектів ЗІП-В для забезпечення доводочних робіт і випробувань зразків ЗРО повинно враховувати наведену особливість.

Аналіз літератури. В відомих роботах [2, 3], присвячених розробці методів та методик розрахунку складу комплектів ЗІП-В, доводочні роботи і випробування, як етап відновлювального ремонту, не розглядався. Тому розробка науково-методичного забезпечення розрахунку комплектів ЗІП-В для про-

ведення доводочних робіт та випробувань зразків ЗРО не проводилась.

В [5, 6] представлені методи та методики розрахунку складу запасних частин експлуатаційних комплектів ЗІП, які ґрунтуються на припущенні того, що потік відмов є найпростіший, тривалість експлуатації зразків ЗРО триває до планового заводського ремонту та не враховують особливості проведення доводочних робіт і випробувань зразків ЗРО при відновлювальних ремонтах.

В [4] представлений метод розрахунку групового комплекту ЗІП (ЗІП-Г) з урахуванням фактору старіння зразків ЗРО. При цьому зроблене припущення про те, що напрацювання між відмовами розподілено за нормальним законом, а розрахунок комплекту ЗІП-Г проводиться до планового заводського ремонту. Таке припущення не в повній мірі відповідає процесу відмов складових частин при доводочних роботах і випробуваннях та не може використовуватися для розрахунку комплектів ЗІП-В.

Таким чином, відомі методи та методики [2 – 6] розрахунку складу комплектів ЗІП-В не враховують особливості проведення доводочних робіт і випробувань зразків ЗРО при відновлювальних ремонтах, що потребує їх удосконалення для вирішення задачі розрахунку складу запасних частин комплектів ЗІП-В для забезпечення доводочних робіт і випробувань, тому рішення задачі розрахунку складу запасів запасних частин комплектів ЗІП-В для забезпечення доводочних робіт і випробувань зразків ЗРО є актуальним.

Мета статті. Розробка методу розрахунку складу запасів запасних частин комплектів ЗІП-В для забезпечення доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО при відновлювальних ремонтах.

Основна частина

При проведенні доводочних робіт і випробувань виявляються та усуваються приховані дефекти, які були не виявлені при дефектації та усуненні бойових пошкоджень, чи дефекти, внесені при виконанні інших ремонтних операцій в зразках ЗРО.

Усунення прихованих дефектів може відбуватися шляхом проведення прогону, циклічних включень та заміни дефектних, виявлених при цих роботах, складових частин на запасні зі складу комплектів ЗІП-В.

Нижче розглядається метод розрахунку складу запасних частин запасів комплектів ЗІП-В для забезпечення доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО за умови відомих: залежності параметра потоку відмов зразка ЗРО від напрацювання $\omega(t)$ на етапі доводочних робіт і випробувань; значення раціональної тривалості проведення доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО t_n^* ; даних експлуатації на етапі, який передує бойовим пошкодженням щодо номенклатури і кількості складових частин зразків ЗРО, які відмовили.

Порядок визначення $\omega(t)$ і рекомендації щодо розрахунку t_n^* докладно представлені в роботі [7].

Номенклатура запасів запасних частин комплектів ЗІП-В для забезпечення доводочних робіт і випробувань повинна визначатися за даними експлуатації на етапі, який передує бойовим пошкодженням чи підконтрольної експлуатації перед проведенням середнього чи капітального ремонтів за технічним станом. Крім того, за цими даними можуть оцінюватися ймовірності виникнення відмов складових частин зразків ЗРО одного типу

$$P_\ell = n_\ell / \sum_{\ell=1}^L n_\ell; \quad \ell = \overline{1, L}, \quad (1)$$

де n_ℓ – число відмов складових частин зразків ЗРО ℓ -го типу; L – кількість типів запасних частин, які можуть використовуватися для відновлення працездатності зразків ЗРО на інтервалі часу доводочних робіт і випробувань.

В подальшому ця номенклатура із L типів запасних частин, пропонується для розрахунків складу запасів запасних частин комплектів ЗІП-В для доводочних робіт і випробувань.

В якості показника достатності комплектів ЗІП-В в частині, що стосується запасів запасних частин для забезпечення доводочних робіт і випробувань, розглянемо ймовірність достатності цих запасів. Під ймовірністю достатності запасів запасних частин комплектів ЗІП-В будемо розуміти ймовірність того, що запас запасних частин комплекту ЗІП-В забезпечить проведення доводочних робіт і випробувань зразків ЗРО без відмов.

При цьому під відмовою запасів запасних частин комплекту ЗІП-В для доводочних робіт і випробувань розуміють стан пари “виріб-ЗІП-В”, при якому виріб втратив свою працездатність із-за відмови однієї з його складових частин, а в комплекті ЗІП-В потрібна запасна частина відсутня [5].

Тоді ймовірність достатності запасу запасних частин комплектів ЗІП-В для доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО може бути розрахована за формулою

$$P_{\text{ЗІП-В}}^{\text{ДР}}(X) = \prod_{\ell=1}^L \sum_{i=0}^{x_\ell} \frac{[\Omega_\ell(t, t + t_n^*)]^i}{i!} e^{-\Omega_\ell(t, t + t_n^*)}, \quad (2)$$

де x_ℓ – кількість запасних частин ℓ -го типу в комплекті ЗІП-В; $\Omega_\ell(t, t + t_n^*)$ – математичне очікування числа відмов складових частин ℓ -го типу за тривалість доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО; t_n^* – значення раціональної тривалості доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО.

Склад запасів запасних частин комплектів ЗІП-В для проведення доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО повинен забезпечувати усунення відмов, виявлених при доводочних роботах і випробуваннях зразка ЗРО за встановлену тривалість їх проведення.

Подія усунення відмов, виявлених при проведенні доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО за встановлену тривалість їх проведення, є складною подією та може бути представлена двома простими подіями: подією виникнення відмов складових частин зразка ЗРО на етапі доводочних робіт і випробувань; подією усунення відмов складових частин зразка ЗРО за наявний час при умові їх виникнення на етапі доводочних робіт і випробувань.

Тоді ймовірність усунення відмов, виявлених при проведенні доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО, за встановлену тривалість їх проведення може бути визначено за формулою повної ймовірності

$$P_B(t_n^*, \tau) = \prod_{\ell=1}^L \sum_{i=1}^{x_\ell} P(H_{\ell i}(t_n^*)) P_B(\tau / H_{\ell i}(t_n^*)), \quad (3)$$

де $P(H_{\ell i}(t_n^*))$ – ймовірність того, що за час t_n^* буде рівно i відмов; $P_B(\tau / H_{\ell i}(t_n^*))$ – умовна ймовірність усунення i відмов складових частин зразка ЗРО за час τ на етапі доводочних робіт і випробувань при умові того, що за час t_n^* буде i відмов складових частин ℓ -го типу; τ – значення інтервалу часу усунення відмов складових частин, виявлених при доводочних роботах і випробуваннях зразка ЗРО.

При відомих $\omega(t)$ і t_n^* можливо визначити математичне очікування числа відмов зразка ЗРО за тривалість доводочних робіт і випробувань по формулі

$$\Omega(t, t + t_n^*) = \int_t^{t+t_n^*} \omega(t) dt. \quad (4)$$

Потім, при відомих оцінках ймовірностей P_ℓ із номенклатури запасних частин L , проводиться розрахунок математичних очікувань числа відмов складових частин різного типуноміналу за тривалість доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО

$$\Omega_\ell(t, t + t_n^*) = P_\ell \cdot \Omega(t, t + t_n^*); \quad \ell = \overline{1, L}. \quad (5)$$

де P_ℓ – оцінка ймовірностей виникнення відмов складових частин ℓ -го типу на етапі доводочних робіт і випробувань зразків ЗРО $\ell = \overline{1, L}$.

Враховуючи (4) та (5) ймовірність $P(H_{\ell_i}(t_n^*))$ може бути розрахована за формулою

$$P(H_{\ell_i}(t_n^*)) = \frac{[\Omega_\ell(t, t + t_n^*)]^i}{i!} e^{-\Omega_\ell(t, t + t_n^*)}.$$

Тоді, для однієї ремонтної бригади та при припущенні щодо експоненціального закону розподілу тривалості усунення відмов на етапі доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО, ймовірність усунення відмов, виявлених при проведенні доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО за встановлену тривалість їх проведення, може бути визначена за формулою

$$P_B(t_n^*, \tau) = \prod_{\ell=1}^L \sum_{i=1}^{x_\ell} \frac{[\Omega_\ell(t, t + t_n^*)]^i}{i!} e^{-\Omega_\ell(t, t + t_n^*)} \times \\ \times (1 - \sum_{h=0}^{i-1} \frac{[\mu_\ell \tau]^h}{h!} e^{-\mu_\ell \tau}), \quad (6)$$

де μ_ℓ – інтенсивність відновлення працездатності складових частин ℓ -го типу зразка ЗРО бригадою ремонтного підприємства.

Формула [6] отримана з використанням методів розрахунку надійності системи з часовим резервуванням.

Задача розрахунку складу запасних частин запасів комплектів ЗПП-В для забезпечення проведення доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО полягає в такому. При відомих:

– значенні раціональної тривалості проведення доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО t_n^* ;

– залежності параметра потоку відмов зразка ЗРО від напрацювання на етапі доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО $\omega(t)$;

– значення інтервалу часу усунення відмов складових частин, виявлених при доводочних роботах і випробуваннях зразка ЗРО τ ;

– значення інтенсивності відновлення працездатності складових частин ℓ -го типу зразка ЗРО бригадою ремонтного підприємства μ_ℓ , $\ell = \overline{1, L}$;

– вартості запасних частин комплектів ЗПП-О, ЗПП-Г та інших складових частин, які можуть бути замінені при доводочних роботах і випробуваннях c_ℓ , $\ell = \overline{1, L}$;

– потрібного значення показника достатності комплекту ЗПП-В для забезпечення проведення доводочних робіт і випробувань $P_{зпп-в}^{пт}$;

– потрібного значення ймовірності усунення відмов, що виявляються при проведенні доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО $P_B^{пт}$;

– знайти такий склад запасів запасних частин комплектів ЗПП-В для забезпечення проведення доводочних робіт і випробувань, при якому сумарна вартість запасу запасних частин $C(X^*)$ буде мінімальною

$$C(X^*) = \min \sum_{\ell=1}^L c_\ell x_\ell \quad (7)$$

та виконуються обмеження:

– ймовірність достатності комплекту ЗПП-В не нижче заданої величини $P_{зпп-в}^{пт}$

$$P_{зпп-в}^{дп}(X) \geq P_{зпп-в}^{пт}; \quad (8)$$

– ймовірність своєчасного усунення відмов, виявлених при проведенні доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО не нижче заданої величини $P_B^{пт}$

$$P_B(t_n^*, \tau) \geq P_B^{пт}; \quad (9)$$

– кількість запасних частин кожної номенклатури є цілим позитивним числом Z_+

$$x_\ell \in Z_+. \quad (10)$$

Для рішення оптимізаційної задачі (7) – (10) пропонується використовувати послідовний алгоритм оптимізації ЗПП [5]. Тоді порядок вирішення задачі (7) – (10) полягає в такому (рис. 1).

На першому кроці визначається номенклатура запасних частин комплектів ЗПП-В для забезпечення доводочних робіт і випробувань та за формулою (1) проводиться оцінка ймовірностей виникнення відмов складових частин зразка ЗРО на етапі доводочних робіт і випробувань (бл. 2, 3).

На другому кроці, проводиться розрахунок математичного очікування числа відмов зразка ЗРО за тривалість доводочних робіт і випробувань (4) (бл. 4).

На третьому кроці, для складових частин кожного з типоміналу, визначаються математичні очікування числа їх відмов за тривалість доводочних робіт і випробувань (5) (бл. 5).

Отримані таким чином математичні очікування $\Omega_\ell(t, t + t_n^*)$ в подальшому використовуються при розрахунках числа запасних частин запасів комплектів ЗПП-В для забезпечення доводочних робіт і випробувань (бл. 6).

Порядок розрахунку числа запасних частин запасів комплектів ЗПП-В полягає в такому:

– присвоїмо початкове значення числа запасних частин кожного типоміналу нуль $x_\ell = 0$, $\ell = \overline{1, L}$ (бл. 6.1);

– послідовно для всіх типів запасних частин, розрахуємо ймовірність їх достатності при умові того, що $x_\ell = 0$ (бл. 6.2, 6.3);

– за формулою (2) розрахуємо $P_{зпп-в}^{дп}(X)$ (блок 6.4);

– перевіримо виконання умови (8) (бл. 6.5).

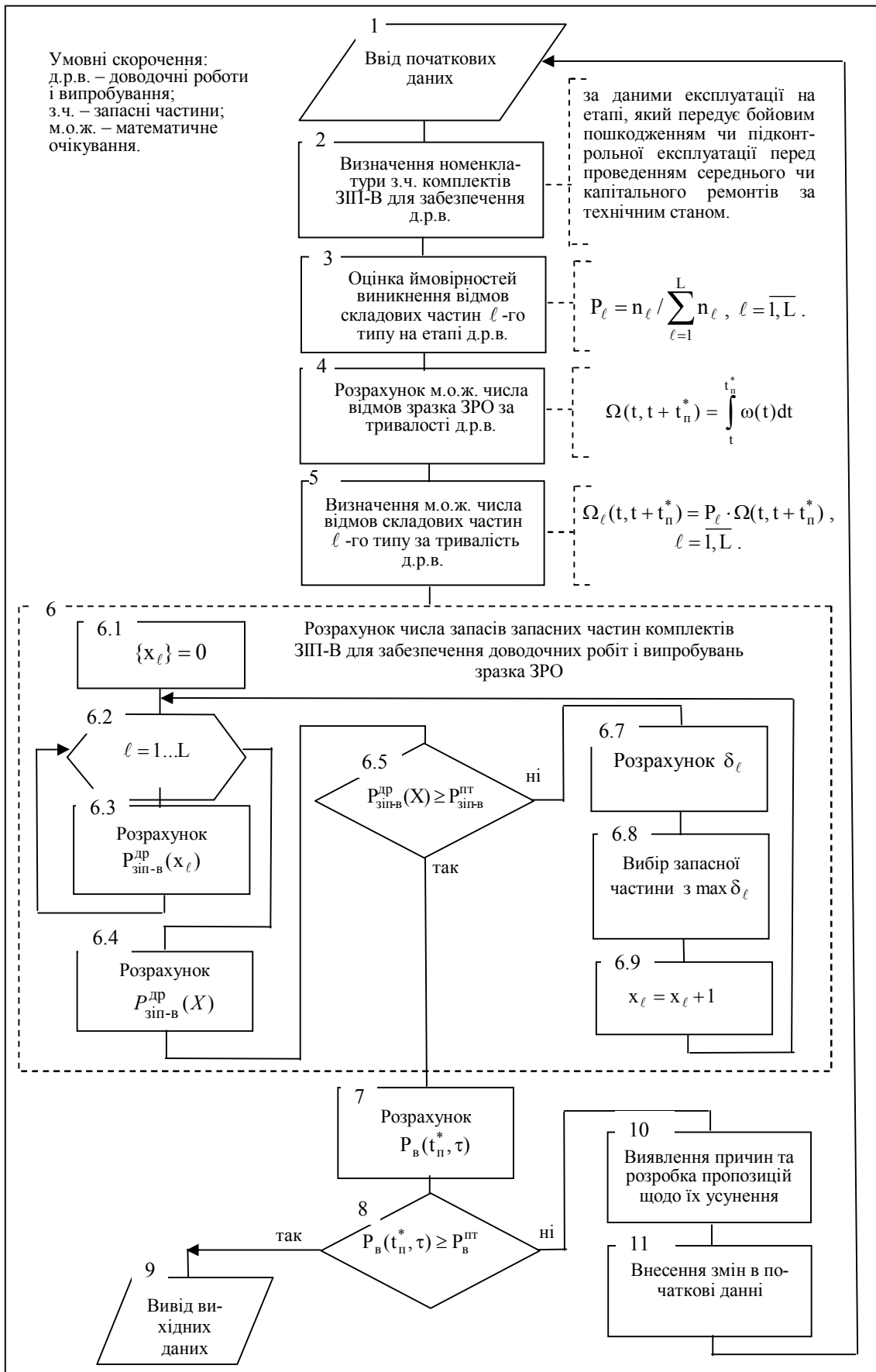


Рис. 1. Структурна схема методу розрахунку складу запасів запасних частин комплектів ЗП-В для забезпечення доводочних робіт і випробувань при відновлювальному середньому чи капітальному ремонті зразка ЗРО

У випадку невиконання умови (8), на кожній ітерації до початкового складу комплекту ЗІП-В додамо одну запасну частина ℓ -го типу (бл. 6.9). Вибирається той тип запасних частин, якому відповідає найбільше значення відносного зменшення показника достатності на одиницю витрат (бл. 6.7-6.8)

$$\delta_{\ell} = \frac{P_{\text{зип-в}}(k_{\ell}) - P_{\text{зип-в}}(k_{\ell} + 1)}{c_{\ell}},$$

де δ_{ℓ} – відносне зменшення показника достатності на одиницю витрат; $P_{\text{зип-в}}(k_{\ell})$ – ймовірність достатності k запасних частин ℓ -го типу.

Для нової кількості запасних частин проводиться розрахунок показника достатності та перевіряється виконання умови (8). Процедура повторюється доки умова (8) не буде виконана.

На наступному кроці за формулою (6) розрахуємо $P_{\text{в}}(t_{\text{п}}^*, \tau)$ (бл. 7) та перевіримо виконання умови (9) (бл. 8). У випадку невиконання умови (9) проводиться аналіз можливих причин та розробляються пропозиції щодо підвищення значення $P_{\text{в}}(t_{\text{п}}^*, \tau)$ (бл. 10).

Висновки

Розроблений метод розрахунку складу запасних частин запасів комплектів ЗІП-В для забезпечення доводочних робіт і випробувань зразків ЗРО при відновлювальних середніх і капітальних ремонтах включає в себе формалізацію оптимізаційної задачі розрахунку складу запасів запасних частин комплектів ЗІП-В для забезпечення доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО та спосіб її вирішення. Для вирішення цієї оптимізаційної задачі запропоновано використовувати послідовний алгоритм оптимізації ЗІП.

Розроблений метод на відміну від відомих враховує тривалість доводочних робіт і випробувань, обмеження на своєчасність відновлення працездатності зразка ЗРО і інші специфічні особливості розрахунку складу запасів запасних частин комплектів ЗІП-В, що дозволяє підвищити достовірність розрахунків складу запасних частин комплектів ЗІП-В.

Отримані результати пропонується використовувати при визначенні складу запасів запасних частин комплектів ЗІП-В для забезпечення проведення відновлювальних середнього чи капітального ремонту зразків ЗРО.

Список літератури

1. Ланецький Б.М. Методика розрахунку відновлювальних комплектів ЗІП групи зразків зенітного ракетного озброєння / Б.М. Ланецький, О.М. Доска // Збірник наукових праць "Труди університету". – 2013. – № 7(121). – С. 34-46.
2. Шмаков А.Н. Обоснование требований к составу комплектов ЗИП для восстановительного ремонта систем вооружения в боевых условиях / А.Н. Шмаков, В.Н. Самушенко, Б.В. Белопухов // Вопросы повышения боевых возможностей и эффективности радиоэлектронной техники Войск ПВО с учетом перспектив развития средств воздушно-космического нападения. – К.: КВИРТУ, 1985. – С. 191-198.
3. Ковтуненко А.П. Основы теории восстановления эксплуатационных свойств технических систем / А.П. Ковтуненко, М.А. Шишанов, В.В. Зубарев. – К.: НАУ, 2007. – 294 с.
4. Каминский В.Р. Обоснование рациональных путей совершенствования существующих методик расчета комплектов ЗИП для сложных РЭС / В.Р. // Вопросы построения и надежности антенных систем Каминский – Д.: ВЗРКУ, 1981 – С. 95-100.
5. 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.
6. Надежность технических систем: справочн. / под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 602 с.
7. Ланецький Б.М. Обґрунтування тривалостей доводочних робіт та випробувань зразків зенітного ракетного озброєння при відновлювальних середніх і капітальних ремонтах / Б.М. Ланецький, О.М. Доска // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 4(40). – С. 94-97.

Надійшла до редколегії 15.01.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.О. Демідов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОД РАСЧЕТА СОСТАВА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ КОМПЛЕКТОВ ЗИП ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОВОДОЧНЫХ РАБОТ И ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦА ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО ВООРУЖЕНИЯ ПРИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕМОНТАХ

Б.Н. Ланецкий, А.М. Доска

В статье проводится постановка задачи расчета состава запасных частей запасов комплектов ЗИП для обеспечения проведения доводочных работ и испытаний образца зенитного ракетного вооружения при восстановительных среднем или капитальном ремонтах и разработанный метод ее решения.

Ключевые слова: восстановительный ремонт, образец зенитного ракетного вооружения, доводочные работы и испытания, запасные части.

METHOD OF CALCULATION OF COMPOSITION OF SPARE PARTS OF COMPLETE SETS OF ZIP FOR PROVIDING OF DOVODOCHNYKH OF WORKS AND TESTS OF STANDARD OF ZENITHAL ROCKET ARMAMENT AT RESTORATION REPAIRS

В.М. Laneckiy, O.M. Doska

Raising of task of calculation of composition of spare parts of supplies of complete sets of ZIP for providing of conducting of доводочных работ and tests of standard of zenithal rocket armament at restoration middle or capital repairs and developed method of its decision is conducted in the article.

Keywords: restoration repair, standard of zenithal rocket armament, finishing works and test, spare part.