

УДК 681.3

М.В. Борисенко¹, А.П. Волобуєв², Є.С. Рощупкін¹¹Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків²Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕЛІКУ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ В СКЛАДІ КОНТРОЛЬНО-ПЕРЕВІРОЧНОЇ АПАРАТУРИ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ

В статті показано, що безвідмовна та безаварійна експлуатації систем зенітного ракетного озброєння можлива при умові своєчасного та достовірного контролю їх технічного стану. Для забезпечення повноти та достовірності такого контролю запропоновані принципи побудови контрольно-перевірочної апаратури для контролю та діагностування вузлів і агрегатів систем зенітного ракетного озброєння. Розроблені пропозиції по визначення оптимального переліку засобів вимірювальної техніки для комплектування контрольно-перевірочної апаратури систем зенітного ракетного озброєння.

Ключові слова: зенітне ракетне озброєння, параметр контролю, технічний стан, контрольно-перевірочна апаратура.

Вступ

Постановка проблеми. В процесі експлуатації системи зенітного ракетного озброєння поступово втрачають функціональні властивості унаслідок зношування, корозії, виходу з ладу радіоелектронних пристроїв і елементів, пошкодження деталей, втоми матеріалу, з якого вони виготовлені тощо.

Для попередження появи дефектів і своєчасного їх усунення зенітне ракетне озброєння (ЗРО) підлягає технічному обслуговуванню й діагностуванню та, при необхідності, ремонту несправних вузлів і агрегатів. Воно повинно сприяти підтримці готовності до бойового застосування й досягненню максимальної ефективності застосування ЗРО за призначенням, скороченню термінів на його простій, своєчасне відновлення несправностей.

Контроль параметрів і технічне діагностування систем ЗРО необхідні для оцінки стану вузлів, агрегатів, а також застосовуються для виявлення причин появи дефектів. Засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) та системи вимірювання для технічного контролю та діагностики ЗРО разом з пристроями відображення результатів перевірок об'єднуються, як правило, в контрольно-перевірочну апаратуру (КПА). Задача отримання і представлення персоналу адекватної інформації про стан ЗРО, необхідної та достатньої для забезпечення справної (безвідмовної протягом певного часу) і безаварійної роботи ЗРО на основі даних КПА при мінімальних часових і вартісних показниках, є актуальною [1 – 4].

У комплекс заходів, що спрямовані на досягнення єдності, необхідних точності вимірювань і вірогідності контролю, входить установа раціонального складу контрольованих параметрів (КП) при проведенні обслуговування та визначенні техні-

чного стану ЗРО і визначення оптимального переліку ЗВТ для комплектування КПА, призначеної для визначення технічного стану ЗРО, тому що вони визначають кількісну та якісну оцінку проведення заходів вимірювального контролю параметрів при технічному обслуговуванні ЗРО.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення ефективності проведення операцій вимірювання та контролю параметрів ЗРО полягає в збільшенні вірогідності визначення технічного стану, зменшенні часових і матеріальних (вартісних) витрат. Велике значення при цьому відіграє правильне визначення складу КП ЗРО і переліку ЗВТ, якими комплектується КПА.

Розроблено велику кількість методів вибору складу КП технічних об'єктів, в тому числі ЗРО, які можна розбити на дві групи: експертні [1, 2] і розрахункові [3, 4].

Однак, при виборі складу КП ЗРО, якому подовжено технічний ресурс, виникають протиріччя, наприклад, коли вартість проведення контролю параметрів наявними ЗВТ перевищує вартість самого зразка ЗРО, тобто контроль економічно недоцільний.

Відсутність простих методів вирішення такого роду задач є основною причиною постановки та подальшого вирішення окремих задач оптимізації складу КП і переліку ЗВТ.

Метою статті є розробка пропозицій щодо визначення оптимального переліку ЗВТ в складі КПА для визначення технічного стану ЗРО.

Основна частина

Єдність і необхідна точність вимірювань, а також вірогідність контролю параметрів ЗРО за допомогою КПА забезпечуються при дотриманні наступних умов [1, 2, 4]:

– у технічній документації системи ЗРО наведені й обґрунтовані необхідні значення показників точності вимірювань і вірогідності контролю кожного з КП;

– значення КП нормовані та вимірюються в установлених одиницях вимірювань фізичних величин (згідно міжнародної системи одиниць фізичних величин SI);

– фактичні значення коефіцієнтів точності в ланках метрологічного ланцюга кожного з КП не нижче необхідних, тобто:

$$k_T = |\Delta_d| / |\Delta_\Sigma| \geq k_{T_d}, \quad (1)$$

де Δ_d – допуск на відхилення КП; Δ_Σ – сумарна похибка результату вимірювання КП;

– сумарні похибки результатів вимірювання Δ_Σ КП не виходять за мінімально допустимі відхилення результатів вимірювання від встановленого значення вимірюваної величини з заданою довірчою ймовірністю P_3 для КП:

$$P(\Delta_\Sigma \leq \Delta x_{\min}) \geq P_3,$$

де Δx_{\min} – мінімально допустиме відхилення, за яке із заданою ймовірністю P_3 не повинна виходити похибка результатів вимірювань для КП;

– фактичні значення узагальнених показників вірогідності контролю працездатності ОВТ (ймовірності помилкової $P_{пві}$ і невиявленої $P_{нві}$ відмов по кожному параметру x_i) не перевершують їх допустимих значень, що задаються в технічних завданнях, тобто $P_{пві} \leq P_{пві_d}$; $P_{нві} \leq P_{нві_d}$.

Формування вимог до точності ЗВТ для комплектування КПА систем ЗРО проводиться при наявності або відсутності повних вихідних даних, які повинні містити:

– перелік параметрів, що підлягають контролю при проведенні технічного обслуговування та діагностування технічного стану ЗРО;

– допуск на відхилення кожного КП Δ_d ;

– допустимі значення ймовірностей помилкової $P_{пві_d}$ і невиявленої $P_{нві_d}$ відмов по кожному з параметрів x_i із загального складу КП;

– середні квадратичні відхилення (СКВ) результатів вимірювання кожного КП σ_{xi} ;

– мінімально допустиме відхилення Δx_{\min} , за яке із заданою ймовірністю P_3 не повинна виходити похибка результатів вимірювання для КП;

– умови, в яких будуть проводитися вимірювання КП системи ЗРО.

Розрахунок допустимих значень сумарних похибок результатів вимірювання КП для випадків симетричного двостороннього $\pm\Delta_d$ допуску й однічного допуску $+\Delta_d$ або $-\Delta_d$ на параметр здійснюється відповідно до співвідношення:

снюється відповідно до співвідношення:

$$\Delta_{\Sigma_d} = |\Delta_d| \alpha, \quad (2)$$

де α – коефіцієнт, який дорівнює результату відношення між сумарною похибкою вимірювання Δ_Σ і допустимим відхиленням Δ_d на КП.

При цьому допустиме значення α при наявності повних вихідних даних визначається по графікам для різних законів відхилень КП та законів розподілу відхилень похибки ЗВТ [4].

Графіки дозволяють визначати значення коефіцієнта α за заданими значеннями ймовірностей $P_{пв}$ і $P_{нв}$ залежно від співвідношення між допусками на КП і їх СКВ.

Оскільки закони розподілу значень контрольованих параметрів та похибок їх вимірювання можуть бути різними, то, звичайно, будуються графіки для різних сполучень цих законів.

У випадках, коли допуск на КП двосторонній і несиметричний $|\Delta_d| \neq |-\Delta_d|$, розрахунок необхідно вести за формулою:

$$\Delta_{\Sigma_d} = |\Delta_{\min}| \alpha' \text{ або } \Delta_{\Sigma_d} = |\Delta_{\max}| \alpha'', \quad (3)$$

де $|\Delta_{\min}|$; $|\Delta_{\max}|$ – мінімальне і максимальне абсолютні за модулем значення допустимого відхилення на контрольований параметр.

Для визначення оптимального переліку ЗВТ в складі КПА для контролю технічного стану ЗРО скористаємося відомим припущенням про те, що вихідні параметри складних об'єктів і похибки ЗВТ у більшості випадків розподілені за нормальним законом [1 – 4]. Тоді ймовірність помилкової $P_{пві}$ та невиявленої $P_{нві}$ відмов і щільність ймовірності значень $f(x_i)$ i -го параметра контролю x_i визначаються за допомогою формул [2]:

$$P_{пві} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{1+2\varepsilon_i^2}} \exp\left\{-\frac{\theta_i^2}{1+2\varepsilon_i}\right\} \times \left[\Phi\left(\frac{\theta_i(1+4\varepsilon_i^2)}{\sqrt{1+2\varepsilon_i^2}}\right) + \Phi\left(\frac{\theta_i}{\sqrt{1+2\varepsilon_i^2}}\right) \right]; \quad (4)$$

$$P_{нві} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{1+2\varepsilon_i^2}} \exp\left\{-\frac{\theta_i^2}{1+2\varepsilon_i}\right\} \times \left[\Phi\left(\frac{\theta_i(1+4\varepsilon_i^2)}{\sqrt{1+2\varepsilon_i^2}}\right) - \Phi\left(\frac{\theta_i}{\sqrt{1+2\varepsilon_i^2}}\right) \right]; \quad (5)$$

$$f(x_i) = \frac{1}{\sigma_{xi} \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_i - m_{xi})^2}{2\sigma_{xi}^2}\right], \quad (6)$$

де $\theta_i = \Delta x_i / \sigma_{xi}$; $\varepsilon_i = \sigma_{xi} / \sigma_{впі}$; $\sigma_{впі}$ – СКВ похиб-

ки ЗВТ, що використовується при оцінці параметра контролю x_i ; Δx_i – значення симетричного допуску на КП x_i ; m_{x_i} – математичне очікування і-го КП; $\Phi(\dots)$ – табульована функція Лапласа [4].

При нормальному законі розподілу допустиме значення похибки вимірюваного параметра x_i з імовірністю 0,997 знаходиться в межах $\pm 3\sigma_{x_i}$ [4]. Тому СКВ σ_{x_i} , $\sigma_{вп}$ приймаються рівними:

$$\sigma_{x_i} = \Delta x_i / 3 \quad \text{і} \quad \sigma_{вп} = \Delta_{вп} / 3, \quad (7)$$

де $\Delta_{звт}$ – допустиме значення (границя) похибки ЗВТ при вимірюванні параметра x_i .

Вирази (4) і (5) дозволяють за значеннями допуску на КП і похибки ЗВТ (7) визначити ймовірності помилкової $P_{пві}$ та невизначеної $P_{нві}$ відмов.

Допуском на параметр контролю є область допустимих змін значень даного параметра, звичайно, в симетричних границях. При обчисленнях значень допусків КП з урахуванням похибок засобів вимірювальної техніки, які застосовуються при контролі цих параметрів, необхідне знання функції розподілу похибок КП і ЗВТ. А це призводить до складних розрахункових операцій. Тому для призначення допуску на КП пропонується скористатися наступними виразами, які отриманні з співвідношень (4)–(6) відповідно:

$$\Delta x_i(P_{пві}) \approx \frac{(1+2\varepsilon_i)\sigma_{x_i}}{\varepsilon_i^2} \ln \frac{0,392(1+4\varepsilon_i^2)}{P_{пві}(1+2\varepsilon_i^2)}; \quad (8)$$

$$\Delta x_i(P_{нві}) \approx \frac{(1+2\varepsilon_i)\sigma_{x_i}}{\varepsilon_i^2} \ln \frac{0,784\varepsilon_i^2}{P_{нві}(1+2\varepsilon_i^2)}; \quad (9)$$

$$\Delta x_i = \frac{\Delta x_i(P_{пві}) + \Delta x_i(P_{нві})}{2}. \quad (10)$$

Вирази (8)–(10) дозволяють за значеннями ймовірностей помилкової $P_{пві}$ та невизначеної $P_{нві}$ відмов, СКВ КП σ_{x_i} і похибки засобів вимірювальної техніки $\sigma_{вп}$, що застосовується при контролі, розрахувати допустимі відхилення КП від номінального значення.

При цьому розраховані згідно формул (4), (5) значення ймовірностей помилкової $P_{пві}$ та невизначеної $P_{нві}$ відмов повинні відповідати умовам:

$$\begin{aligned} P_{пві} &\in [P_{пв\ дні}, P_{пв\ дві}]; \\ P_{нві} &\in [P_{нв\ дні}, P_{нв\ дві}], \end{aligned} \quad (11)$$

де $P_{пв\ дні}$, $P_{пв\ дві}$ і $P_{нв\ дні}$, $P_{нв\ дві}$ – нижня і верхня

границі для допустимих значень ймовірностей помилкової $P_{пві}$ і невизначеної $P_{нві}$ відмов відповідно.

Якщо в результаті розрахунків отримано, що $P_{пві} > P_{пв\ дві}$ або $P_{нві} > P_{нв\ дві}$, то ЗВТ для контролю і-го параметра системи ЗРО обрано не оптимально, необхідно використовувати більш точні засоби вимірювальної техніки.

Якщо в результаті розрахунків отримано, що

$$P_{пві} < P_{пв\ дні} \quad \text{або} \quad P_{нві} < P_{нв\ дні},$$

то при контролі використовуються засоби вимірювальної техніки із завищеною точністю, що підвищує вартість КПА.

Для вибору оптимального переліку ЗВТ, які використовуються при проведенні вимірювального контролю параметрів ЗРО, для комплектування КПА необхідно вирішити оптимізаційну задачу: знайти оптимальну номенклатуру ЗВТ $N_{звт}^0$, що забезпечує мінімальний час проведення контролю параметрів ЗРО t_k , при виконанні умови (11), тобто

$$N_{звт}^0: \min t_k(N_{звт}, \alpha, \beta) \quad (12)$$

де $t_k = \sum_{i=1}^{N_{звт}} t_{ki}$; t_{ki} – час контролю і-го параметра

ЗРО; $N_{звт}$ – кількість ЗВТ в комплекті КПА, що застосовується при контролі ЗРО.

Визначити оптимальний перелік засобів вимірювальної техніки, тобто вирішити задачу оптимізації (12), пропонується за допомогою відомих методів розв'язання задач оптимізації, наприклад, за допомогою методу лінійного програмування [5, 6].

Запропоновані пропозиції дозволяють вибрати оптимальну номенклатуру засобів вимірювальної техніки в складі КПА для проведення контролю параметрів при визначенні технічного стану ЗРО критерієм „достовірність-час”.

Висновки

В статті запропоновані принципи визначення переліку засобів вимірювальної техніки, які базується на визначенні необхідної точності вимірювання параметрів при визначенні технічного стану зенітного ракетного озброєння, дозволяє вибрати оптимальну номенклатуру засобів вимірювальної техніки до складу контрольно-перевірочної апаратури зенітного ракетного озброєння за критерієм „точність-час”.

Список літератури

1. Дмитриев А.К. Основы теории построения и контроля сложных систем / А.К. Дмитриев, П.А. Мальцев. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
2. Крецук В.В. Метрологическое обеспечение эксплуатации сложных изделий / В.В. Крецук. – М.: Изд-во

стандартів, 1989. – 200 с.

3. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотонов и др. / под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.

4. Чинков В.М. Основы метрологии та вимірювальної техніки / В.М. Чинков. – Х.: ХВУ, 2001. – 424 с.

5. Лутманов С.В. Линейные задачи оптимизации: учеб. пособ. / С.В. Лутманов. – Пермь, 2004. – Ч. 1. Линейное программирование. – 128 с.

6. Волков И.К., Загоруйко Е.А. Исследование опера-

ций: учеб. пособ. / И.К. Волков, Е.А. Загоруйко / под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – М. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 436 с.

Надійшла до редколегії 27.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, доц. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕЧНЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В СОСТАВЕ КОНТРОЛЬНО-ПРОВЕРОЧНОЙ АППАРАТУРЫ ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО ВООРУЖЕНИЯ

М.В. Борисенко, А.П. Волобуев, Е.С. Рошчупкин

В статье показано, что безотказная и безаварийная эксплуатации систем зенитного ракетного вооружения возможна при условии своевременного и достоверного контроля их технического состояния. Для обеспечения полноты и достоверности такого контроля предложены принципы построения контрольно-проверочной аппаратуры для контроля и диагностирования узлов и агрегатов систем зенитного ракетного вооружения. Разработаны предложения по определению оптимального перечня средств измерительной техники для комплектования контрольно-проверочной аппаратуры систем зенитного ракетного вооружения.

Ключевые слова: зенитное ракетное вооружение, параметр контроля, техническое состояние, контрольно-проверочная аппаратура

DETERMINATION OF OPTIMUM LIST OF FACILITIES OF MEASURING TECHNIQUE IN COMPOSITION THE CONTROL-VERIFICATION APPARATUS OF ZENITHAL ROCKET ARMAMENT

M.V. Borisenko, A.P. Volobuev, E.S. Roschupkin

It is rotined in the article, that faultless and accident-free exploitations of the systems of zenithal rocket armament possible on condition of timely and reliable control of their technical state. For providing of plenitude and authenticity of such control principles of construction of control-verification apparatus are offered for control and diagnostic of knots and aggregates of the systems of zenithal rocket armament. Developed suggestion for determination of optimum list of facilities of measuring technique for completing of control-verification apparatus of the systems of zenithal rocket armament.

Keywords: zenithal rocket armament, control parameter, technical state, control-verification apparatus