

УДК 623.4.017

Б.М. Ланецький, І.В. Коваль, В.В. Лук'янчук, В.П. Попов

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## РОЗРОБКА ТИПОВОЇ МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ НА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВІДРИВНИХ РОЗ'ЄМІВ ЗЕНІТНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ПРОДОВЖЕННЯ ПРИЗНАЧЕНИХ ПОКАЗНИКІВ

*Можливості продовження призначених показників зенітних керованих ракет (ЗКР) установлюються за результатами виконання сукупності робіт, у тому числі оцінювання та прогнозування показників надійності на період продовження. У статті розроблені основні положення типової методики проведення випробувань на надійність електричних відривних роз'ємів ЗКР з метою продовження призначеної кількості зчленувань роз'ємів.*

**Ключові слова:** електричний відривний роз'єм, імовірність безвідмовного зчленування, середня залишкова кількість зчленувань.

### Вступ

**Постановка проблеми.** При проведенні робіт з продовження призначених показників ЗКР обґрунтоване рішення на продовження повинне прийматися по всіх призначених показниках, передбачених експлуатаційною документацією (ЕД) на ЗКР. Одним із призначених показників (ПП) багатьох типів ЗКР, що є на озброєнні Повітряних Сил України, є призначена кількість зчленувань електричного відривного роз'єму. Електричний відривний роз'єм таких ЗКР складається з вилки, розташованої на ракеті, і розетки, розташованої на пусковому пристрої. Одним із завдань проведення робіт з продовження ПП ЗКР є встановлення призначеної кількості зчленувань для вилки роз'єму на період продовження. Для вирішення цього завдання необхідно на етапі виконання робіт з продовження ПП досліджувати зміну технічного стану та надійності електричних відривних роз'ємів ЗКР при експлуатації та отримувати оцінку відповідних показників надійності. У зв'язку із цим актуальним є розробка методики випробувань на надійність електричних відривних роз'ємів ЗКР для вирішення завдання продовження призначеної кількості зчленувань роз'ємів.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** З останніх публікацій, пов'язаних з випробуваннями електричних з'єднувачів на надійність, слід зазначити статтю [1], у якій розглядаються питання організації випробувань електричних з'єднувачів на надійність з використанням статистичних методів. Основна увага приділена методам прискорення випробувань на надійність нероз'ємних електричних з'єднувачів, а також питанням статистичної обробки результатів випробувань. Робота [2] присвячена прогнозуванню залишкового ресурсу розбірних електроконтактних з'єднань за результатами періодичного моніторингу ресурсного параметра (температури) з'єднання в процесі його експлуатації. У статті запропонована модель прогнозування залежності пе-

ревищення температури від номінальної замкненого контактного з'єднання від часу.

У науково-технічній літературі практично не розглядаються питання контролю показників надійності різних електричних з'єднувачів. Особливо актуальні ці питання для електричних відривних роз'ємів ЗКР, які є одним з об'єктів досліджень при проведенні робіт з продовження призначених показників.

**Мета статті** – розробка типової методики випробувань на надійність електричних відривних роз'ємів ЗКР для вирішення завдання продовження призначеної кількості зчленувань.

### Основна частина

Завдання продовження призначеної кількості зчленувань електричних відривних роз'ємів ЗКР можливо вирішувати на основі результатів дослідження їх технічного стану та надійності. Методичні рекомендації з контролю технічного стану електричних відривних роз'ємів ЗКР розглянуті в роботі [3]. У даній статті розглядаються питання розробки типової методики випробувань на надійність електричних відривних роз'ємів ЗКР з використанням результатів контролів технічного стану, проведених при експлуатаційних випробуваннях ЗКР. У цій методиці визначається, які показники надійності підлягають оцінюванню, план випробувань на надійність, порядок їх проведення, а також порядок оцінювання показників надійності. Електричний відривний роз'єм ЗКР (далі – роз'єм) повинен бути готовий до використання протягом усього часу експлуатації без будь-яких додаткових операцій, у тому числі контролю технічного стану. Вилка роз'єму у процесі штатної експлуатації не контролюється та не обслуговується [4; 5], тому її при аналізі надійності доцільно розглядати, як об'єкт, який при штатній експлуатації не обслуговується і не ремонтується, а надійність вилки роз'єму ЗКР повністю визначається її збереженістю та безвідмовністю. У зв'язку із цим, для вирішення завдання продовження призначеної кількості зчленувань роз'ємів необ-

хідно оцінювати наступні показники безвідмовності та залишкової її збережаності:

- середня залишкова кількість безвідмовних зчленувань роз'єму;
- $\gamma\%$  залишкова кількість зчленувань роз'єму.

Під безвідмовним зчленуванням роз'єму розуміється зчленування вилки та розетки роз'єму, при якому величина перехідного опору всіх пар контактів "штир-гніздо" забезпечує необхідну силу струму в мережах передачі команд і сигналів усіх відповідних пар контактів. Під відмовою вилки роз'єму розуміється перехід її із працездатного стану в непрацездатний при зчленуванні роз'єму. Відмова вилки роз'єму приводить до неможливості передачі відповідної команди або сигналу хоча б через одну пару контактів роз'єму "штир-гніздо", внаслідок збільшення перехідного опору [6]. У випадку відмови розетки роз'єму таке випробування відноситься до незалишкових і не враховується.

Для оцінки показників надійності введемо поняття "залишкова кількість безвідмовних зчленувань електричного відривного роз'єму ЗКР".

Під залишковою (після  $k$  безвідмовних зчленувань роз'єму) кількістю безвідмовних зчленувань  $i$ -го електричного відривного роз'єму ЗКР –  $\xi_k^{(i)}$  будемо розуміти кількість зчленувань роз'єму, починаючи з  $k$ -го зчленування до його ресурсної відмови при штатних режимах використання за призначенням та умовах експлуатації. Величина  $\xi_k^{(i)}$  визначається за співвідношенням:

$$\xi_k^{(i)} = \xi_i - k |_{\xi_i \geq k+1},$$

де  $\xi_i$  – кількість зчленувань  $i$ -го електричного відривного роз'єму ЗКР до виникнення відмови.

Під середньою залишковою кількістю зчленувань роз'єму розуміється математичне сподівання залишкової кількості безвідмовних зчленувань тобто  $M[\xi_k^i]$ .

Випадкова величина  $\xi_k^{(i)}$  є дискретною, співвідношення для її точкової оцінки може бути отримане за аналогією оцінки безперервної випадкової величини [7]. Точкова оцінка середньої залишкової кількості зчленувань після  $k$  – зчленувань роз'єму визначається за співвідношенням:

$$\tilde{R}_n^m(k) = \frac{1}{(n-m) \cdot \beta(n,k)} \sum_{i=1}^{n-m} \xi_k^{(i)}, \quad (1)$$

де  $n$  – кількість роз'ємів, що беруть участь у випробуваннях;  $m$  – кількість роз'ємів, що відмовили, у процесі експлуатаційних випробувань до  $k$  – зчленувань;  $k$  – кількість безвідмовних зчленувань однаковою для всіх роз'ємів, що випробуються;  $\beta(n,k)$  – коефіцієнт зсуву, що розраховується за співвідношенням:

$$\beta(n,k) = 1 - (1 - P\{\xi > k+1\})^n,$$

де  $P\{\xi > k+1\}$  – імовірність того, що кількість без-

відмовних зчленувань роз'єму  $\xi$  більше  $k+1$ .

Якщо кількість зчленувань до відмови має геометричний розподіл, то середня залишкова кількість зчленувань після  $k$ -зчленувань, визначається зі співвідношення (1):

$$\tilde{R}_n^m(k) = \frac{1}{(n-m) \cdot \alpha(n,k)} \sum_{i=1}^{n-m} \xi_k^{(i)}, \quad (2)$$

де  $\alpha(n,k) = 1 - (1 - p^k)^n$ ;  $p$  – імовірність одного безвідмовного зчленування роз'єму, однаковою для одного зчленування кожного з  $n$ -роз'ємів.

В експлуатації перебувають ЗКР різних років випуску, режимів утримання, які мають різний наробіток (кількість зчленувань).

Тому, для проведення випробувань роз'ємів на надійність необхідно сформулювати кілька однорідних груп з вилок роз'ємів ЗКР одного року виготовлення, режиму утримання та наробітку. Кількість  $n$ -роз'ємів однієї групи, що беруть участь у випробуваннях, доцільно встановити в обсязі 2-3 одиниць, виходячи з обмеженої кількості ЗКР, а максимальна кількість циклів випробувань для одного роз'єму, установлювати більше ніж потрібна кількість циклів зчленувань ЗКР на інтервалі продовження.

Один цикл випробувань вилки роз'єму полягає в послідовному виконанні наступних операцій:

- контроль працездатного стану вилки роз'єму перед зчленуванням;
- зчленування вилки роз'єму з розеткою;
- контроль величини перехідного опору пари контактів "штир-гніздо" непрямим методом (шляхом виміру сили струму в мережі передачі команд і сигналів ЗКР і перевірки виконання критерію працездатного стану контактів). При цьому пара контактів вважається працездатною, якщо виконується умова  $I_{\text{пко}} \geq I_{\text{пкн}}$ , де  $I_{\text{пко}}$  – обмірювана величина сили струму в мережі передачі команди або сигналу,  $I_{\text{пкн}}$  – необхідна величина сили струму в мережі передачі команди або сигналу;
- контроль проходження через контакти роз'єму команд і сигналів, передбачених ЕД. При цьому вилка роз'єму вважається працездатною, якщо виконується умова проходження через контакти роз'єму всіх команд і сигналів, передбачених ЕД.

Виходячи з вищевикладеного, для вилки роз'єму як об'єкта випробувань доцільно встановити біноміальний план випробувань із зупинкою тобто план  $\{NUz\}$ , де  $N$  – число об'єктів випробувань;  $U$  – вироб, що відмовили, не замінюються й не відновлюються;  $z_i$  – наробіток (число зчленувань) роз'єму, що визначається, як  $z_i = \min(m_i, d)$ , де  $m_i$  – кількість зчленувань (наробіток)  $i$ -го роз'єму до відмови,  $d$  – кількість зчленувань (наробіток) роз'єму до зняття з випробувань; фігурні дужки  $\{ \}$  означають контроль працездатного стану роз'єму на початку та в кінці циклу випробувань. Слід зауважити, що в процесі проведення випро-

бувань зі збільшенням кількості зчленувань відбувається зростання ушкоджень роз'єму (збільшення переднього опору пар контактів), тому імовірність безвідмовної роботи роз'єму може зменшуватися від одного циклу випробувань до іншого [3; 6].

За результатами випробувань отримуємо значення реалізацій випадкових величин  $\xi_i$  – кількість  $i$ -х зчленувань, роз'ємів що відмовили, до відмови та  $\xi_d$  – кількість зчленувань, роз'ємів що не відмовили, до цензурування.

За результатами випробувань оцінюється середня залишкова кількість зчленувань за співвідношенням (2). Однобічна нижня довірча границя (ОНДГ) рівня  $\gamma$  ( $\gamma > 0,5$ ) для показника середня залишкова кількість зчленувань понад  $k$  зчленувань оцінюється за співвідношенням:

$$\underline{R}_n^m(k) = \frac{\hat{R}_n^m(k)}{1 + \frac{u_\gamma}{\sqrt{n-m}}}, \quad (3)$$

де  $u_\gamma$  визначається зі співвідношення:

$$\Phi(u) = \gamma - 0,5; \quad \Phi(u) = \frac{1}{2\pi} \int_0^u e^{-\frac{x^2}{2}} dx.$$

Співвідношення (3) отримане за умови виконання нерівності  $\sigma(k) \leq M[\xi_k^2]$ , де  $\sigma(k)$  – середнє квадратичне відхилення залишкової кількості зчленувань при великих  $n$  ( $n \geq 30$ ), аналогічно виводу співвідношень для ОНДГ середнього залишкового ресурсу, розглянутого як безперервна випадкова величина.

## Висновки

При вирішенні завдань продовження призначених показників ЗКР актуальним є оцінювання показників надійності вилок електричних відривних роз'ємів ЗКР з розробкою методики їх випробувань на надійність. Для проведення випробувань електричних відривних роз'ємів ЗКР на надійність доцільно формувати однорідні групи з вилок роз'ємів ЗКР одного року виготовлення, режиму утримання

та наробітку, а також установити біноміальний план випробувань із зупинкою тобто план  $\{NUz\}$ .

Результатом випробувань, згідно із цим планом, для кожного роз'єму є вибірка реалізацій випадкових величин: кількість зчленувань роз'єму до відмови та кількість зчленувань роз'єму до цензурування.

У типовій методиці випробувань передбачені загальні положення, порядок проведення випробувань, розрахункові співвідношення обробка, аналіз, оцінка результатів випробувань тощо. На основі типової методики випробувань розробляються методики випробувань конкретних виробів.

## Список літератури

1. Сафонов А. Прямоугольные электрические соединители. Статистические методы испытания электрических соединителей на надёжность / А. Сафонов, Л. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2009. – №1. – С. 24-27.
2. Измайлов В.В. Автоматизированная система прогнозирования остаточных ресурсов электроконтактных соединений / В.В. Измайлов, А.Е. Наумов // Программные продукты и системы. – 2008. – № 2. – С. 73-75.
3. Ланецкий Б.М. Методичні рекомендації з контролю працездатного стану електричних відривних роз'ємів зенітних керованих ракет / Б.М. Ланецкий, І.В. Коваль, В.В. Лук'янчук // Озброєння та військова техніка. – Х.: ХУПС, 2016. – № 1. – С. 163-167.
4. Инструкция по эксплуатации. Эксплуатация ракет на арсеналах, ЗРТБ и в ЗРЧ. 9М38М1.0000.000 ИЭ.
5. Ракета 9М38М1. Техническое описание. 9М38М1.0000.000. ТО, 1984. – 111с.
6. Сафонов А. Электрические прямоугольные соединители. Анализ физических процессов в контактах / А. Сафонов, Л. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – № 6. – С. 48-52.
7. Надёжность и эффективность в технике: Справочник в 10 т / Ред. совет: В.С. Адуевский (пред.) и др. Т.6: Экспериментальная отработка и испытания; под общ. ред. Р.С. Судакова, О.И. Тескина. – М.: Машиностроение, 1989. – 376 с.

Надійшла до редколегії 12.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Б. Леонтьев, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

## РАЗРАБОТКА ТИПОВОЙ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОТРЫВНЫХ РАЗЪЁМОВ ЗЕНИТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОДЛЕНИЯ НАЗНАЧЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Б.Н. Ланецкий, И.В. Коваль, В.В. Лукьянчук, В.П. Попов

Возможности продления назначенных показателей зенитных управляемых ракет (ЗУР) устанавливаются по результатам выполнения совокупности работ, в том числе оценивания и прогнозирования показателей надёжности на период продления. В статье разработанные основные положения типовой методики проведения испытаний на надёжность электрических отрывных разъёмов ЗКР с целью продления назначенного количества сочленений разъёмов.

**Ключевые слова:** электрический отрывной разъём, вероятность безотказного сочленения, среднее остаточное количество сочленений.

## DEVELOPMENT OF STANDARD PROCEDURE OF FAIL-SAFETY TEST OF ELECTRIC SHEET CONNECTORS OF ANTI-AIRCRAFT MISSILES FOR SOLVING PROBLEMS OF EXTENSION OF STATED INDICES

B.M. Lanetsky, I.V. Koval, V.V. Lukyanchuk, V.P. Popov

Possibility of extension of stated indices of anti-aircraft missiles (AAM) is determined on the base of results of cumulative actions, including estimation and prediction of reliability indices for a period of extension. In the paper the main principles of standard procedure of fail-safety test of electric sheet connectors of AAM for a purpose of extension of stated number of connector articulations were developed.

**Keywords:** electric sheet connector, probability of faultless articulations, middle residual quantity of articulations.