

УДК 623.4.017

Б.М. Ланецький, І.В. Коваль, А.А. Шоколовський, В.П. Попов, С.В. Селезньов, С.М. Донцов

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

РОЗРОБКА МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ З ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗБЕРЕЖУВАНOSTІ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ ЗЕНІТНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ ПРОДОВЖЕННЯ ПРИЗНАЧЕНИХ ПОКАЗНИКІВ

Можливості продовження призначених показників (ПП) зенітних керованих ракет (ЗКР) встановлюються за результатами виконання сукупності робіт, зокрема оцінювання і прогнозування на продовжуваній період показників надійності. Розроблені рекомендації з оцінювання показників залишкової збережуваності бортового обладнання ЗКР для прийняття рішення про встановлення призначених показників ЗКР.

Ключові слова: бортове обладнання, цензурована мала вибірка, експлуатаційні випробування, модифікований метод довірчих інтервалів, залишкова збережуваність.

Вступ

Постановка проблеми. При проведенні робіт з продовження ПП ЗКР обґрунтоване рішення повинне прийматися за результатами оцінювання показників надійності (ПН) ЗКР в цілому, їх складових частин і комплектуючих виробів. Завдання оцінювання ПН зводиться до вирішення завдань оцінювання ПН планера, бортового обладнання (БО), двигунної установки і ЗКР в цілому. У даній статті розглядаються питання оцінювання показників збережуваності БО ЗКР, які вибірково контролюються у військових умовах за допомогою автоматизованої контрольно-випробувальної пересувної станції (АКВПС). Для визначення можливості продовження ПП ЗКР необхідно за результатами експлуатаційних спостережень і випробувань оцінювати такі показники збережуваності як середній час зберігання до відмови БО ЗКР, середній залишковий термін зберігання; γ – відсотковий залишковий термін зберігання.

Результатом проведення експлуатаційних випробувань (ЕВ) ЗКР є отримання початкової інформації про кількість відмов складових частин БО ЗКР за кожен контрольований період. Відомо, що не всі виробни можуть відмовити до моменту завершення ЕВ, отже, в результаті проведення ЕВ встановленої кількості БО ЗКР (N ЗКР) в кожній з груп сформулюються цензуровані вибірки випадкової величини – часу зберігання до відмови. Такі вибірки, виходячи з малої кількості об'єктів і особливостей проведення ЕВ, є цензурованими малими вибірками [1, 9, 12]. Виходячи з вищевикладеного, актуальним є завдання оцінювання показників збережуваності БО ЗКР, за наявності інформації обмеженого об'єму у вигляді цензурованої малої вибірки.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Розроблена безліч методів оцінювання показників надійності по цензурованих вибірках. Найбільш відомими є метод максимальної правдоподібності, Нельсона, Джонсона, Каплана-Мейера [3], послідовного переходу до нової системи координат [12]. Для вибору найбільш відповідного методу оцінювання при малих цензурованих вибірках необхідно проводити порівняльний аналіз перерахованих методів. Основою для порівняння повинна бути точність цих методів.

При використанні непараметричних методів оцінки показників надійності по цензурованих вибірках оцінюється емпірична функція розподілу (ЕФР) ймовірності відмови або ймовірності зберігання до відмови за загальним варіаційним рядом з напрацювань до відмови і напрацювань до цензурування. За побудованою ЕФР знаходяться оцінки показників надійності.

Використовувані перераховані методи схожі в тому, що всі обчислення оцінок показників надійності проводяться за одними і тими ж початковими даними вибірки обмеженого об'єму і не припускають отримання нових даних з наявної початкової вибірки.

Використовувані перераховані методи схожі в тому, що всі обчислення оцінок показників надійності проводяться за одними і тими ж початковими даними вибірки обмеженого об'єму і не припускають отримання нових даних з наявної початкової вибірки.

Одним з відомих непараметричних статистичних методів обробки результатів експерименту за наявності обмеженого об'єму початкової інформації є бутстреп-метод [4]. Цей метод також виключає необхідність робити прийняті в статистиці допущення щодо закону розподілу даних. Відмінною особливістю даного методу є необхідність розмноження наявної початкової інформації з використанням обчислювальних засобів, багатократної обробки різних частин одних і тих же даних і зіставлення отриманих результатів. Так практичне застосування бутстреп-методу показане в роботі [5] при визначенні нижньої довірчої межі показника довговічності при прогнозуванні рівня довговічності виробів, в [6] при прогнозуванні терміну служби (ресурсу) виробу на підставі результатів, отриманих методами

статистичного прогнозування, і експертного, з оцінкою односторонньої нижньої довірчої межі прогнозованого значення. У перерахованих роботах використання бутстреп-методу зводиться до традиційного розмноження наявної вибірки початкових даних і подальшої їх обробки. На відміну від розглянутих робіт в [2] описаний метод побудови довірчих інтервалів для емпіричних моментів довільного закону розподілу, який заснований на виділенні шуканого інтервалу із впорядкованої множини моментів, отриманої шляхом багатократного моделювання ЕФР з використанням обчислювальних засобів. Таким чином, бутстреп-процедури використовуються для отримання псевдовипадкових вибірок нових значень ЕФР та їх подальшої оцінки.

Мета статті – розробка методичних рекомендацій з оцінювання показників збереженості БО ЗКР за цензурованою малою вибіркою при вирішенні завдань продовження їх призначених показників.

Основна частина

Як відомо, в даний момент в підрозділах знаходяться в експлуатації ЗКР, різних років випуску, в яких передбачений контроль технічного стану. Ці ЗКР знаходяться в різних режимах та умовах утримання. Тому, для отримання необхідної статистичної інформації для оцінки показників залишкового ресурсу (терміну служби) необхідним є формування однорідних груп ЗКР для проведення ЕВ. Такі групи формуються із ЗКР одного року виготовлення, режиму утримання та умов зберігання. Кількість ЗКР, необхідна для проведення ЕВ в кожній з груп, встановлюється відповідно до пропозицій, розглянутих в [8]. ЕВ передбачають проведення періодичних перевірок необхідної кількості (N) ЗКР в кожній з груп за допомогою штатної АКВПС за програмами з максимальною повнотою контролю відповідно до інструкції з експлуатації ЗКР. Результатом проведення перевірок N ЗКР в кожній з груп є формування цензурованих вибірок випадкової величини – часу зберігання до відмови БО ЗКР. Отримані дані за результатами випробувань дозволяють побудувати ЕФР часу зберігання до відмови БО ЗКР.

Оскільки закон розподілу часу зберігання до відмови БО ЗКР невідомий, то оцінювання функції розподілу доцільно проводити непараметричними методами. З метою аналізу і розробки методичних рекомендацій для оцінювання функції розподілу розглянемо методи оцінювання показників збереженості, описані в [2, 7, 9].

У [2] розглядається застосування методу побудови довірчих інтервалів для визначення емпіричних моментів довільного закону розподілу. В результаті проведення ЕВ бортового обладнання ЗКР на АКВПС ЕФР часу зберігання БО до відмови задається у вигляді:

$$F(t) = \begin{cases} 0 & \text{для } 0 < t \leq t_1; \\ q_1 & \text{для } t_1 < t \leq t_2; \\ \dots\dots\dots \\ q_i & \text{для } t_i < t \leq t_{i+1}; \\ \dots\dots\dots \\ 1 & \text{для } t > t_N, \end{cases} \quad (1)$$

де t_i – спостережене значення часу зберігання до відмови БО i -ї ЗКР, де $i=1, 2, N$ – число різних спостережених значень випадкової величини, q_i – частіть, яка відповідає спостереженому часу зберігання до відмови. Тоді величини

$$t = \frac{q - q_{i-1}}{q_i - q_{i-1}} (t_i - t_{i-1}) + t_{i-1}, \quad (2)$$

для $q \in \{q_{i-1}, q_i\}$ розподілені відповідно до заданої статистичної моделі (ЕФР), якщо q_i розподілено рівномірно на інтервалі $[0, 1]$.

Процес моделювання полягає в послідовному моделюванні за допомогою обчислювальних засобів псевдовипадкових чисел, рівномірно розподілених на інтервалі $[0, 1]$ і знаходженні реалізації випадкового часу зберігання до відмови t . За сформованою вибіркою значень t_i знаходяться статистичні оцінки перших двох вибіркових моментів:

1) початковий момент першого порядку – середнє значення часу зберігання до відмови

$$m_{(1)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i^{(1)}, \quad (3)$$

де $t_i^{(1)}$ – значення випадкових величин, N – об'єм сформованої вибірки, який дорівнює початковій;

2) центральний момент другого порядку – дисперсія часу зберігання до відмови

$$s_{(1)}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (t_i^{(1)} - m_{(1)})^2, \quad (4)$$

Аналогічним чином формується друга бутстреп-вибірка випадкових величин $t = \left| t_1^{(2)}, t_2^{(2)}, \dots, t_N^{(2)} \right|$ і визначаються її вибіркові моменти $m_{(2)}, s_{(2)}^2$.

Цей процес повторюється багато разів і визначається множина числових характеристик

$$\begin{aligned} & m_{(1)}, s_{(1)}^2; \\ & m_{(2)}, s_{(2)}^2; \\ & \dots\dots\dots \\ & m_{(\delta)}, s_{(\delta)}^2, \end{aligned}$$

де δ – кількість модельованих вибірок.

Щоб знайти довірчі межі для моментів m і s^2 складаються їх варіаційні ряди:

$$m_1 \leq m_2 \leq \dots m_i \leq \dots m_\delta;$$

$$(s^2)_1 \leq (s^2)_2 \leq \dots (s^2)_i \leq \dots (s^2)_\delta.$$

Чисельна оцінка двосторонніх довірчих меж з рівнем довіри γ визначається такими величинами:

m_{r_1} та m_{r_2} , $s_{r_1}^2$ та $s_{r_2}^2$, де

$$r_1 = \left[\frac{\delta(1-\gamma)}{2} \right], r_2 = \left[\frac{\delta(1+\gamma)}{2} \right], \quad (5)$$

квадратні дужки означають цілу частину числа, що міститься в них. Для отримання оцінок з прийнятною точністю кількість модельованих вибірок δ доцільно вибрати з умови $\delta \geq 10/(1-\gamma)$.

Нижче приведений приклад використання методу побудови довірчих інтервалів для емпіричних моментів довільного закону розподілу з метою отримання оцінок показників збережуваності БО ЗКР. Оцінювання проводилося виходячи з таких умов:

- для отримання початкових даних з метою побудови ЕФР обраний датчик випадкових чисел, що генерує випадкові значення часу зберігання до відмови, які підпорядковуються нормальному закону розподілу з параметрами, відповідними приведеним нижче варіантам.

1 варіант:

ЕВ проводяться для групи ЗКР, що мають календарну тривалість експлуатації 25 років, тривалість ЕВ складає 5 років, дані експлуатаційних спостережень (ЕС) до 25 років по цій групі відсутні. Для цих умов математичне сподівання часу зберігання до відмови (T_{cp}) $m = 29$ років, середнє квадратичне відхилення (СКВ) $s = 3$ роки.

2 варіант:

ЕВ проводяться для групи ЗКР, що мають календарну тривалість експлуатації 25 років, тривалість ЕВ складає 5 років, при цьому є дані ЕС для цієї групи починаючи з 5 року її експлуатації і до моменту початку ЕВ. Для цих умов $m = 29$ років $s = 8$ років;

- кількість ЗКР, що беруть участь в ЕВ і спостереженнях складає 16 виробів;
- кількість бутстреп-вибірок псевдовипадкових чисел, які генеруються, складає 1000;
- довірча ймовірність $\gamma = 0,8$.

Передбачається, що за результатами ЕВ за 1 варіантом по досягненню 30 років отримана початкова цензурована мала вибірка, в якій зафіксовано 8 значень часу зберігання до відмови та 8 значень часу зберігання до цензурування. точкові оцінки ЕФР часу зберігання до відмови за першим варіантом представлені матрицею

$$C = \begin{pmatrix} 25.53 & 27.21 & 27.44 & 28 & 28.03 & 29.18 & 29.43 & 29.65 \\ 0.13 & 0.27 & 0.3 & 0.37 & 0.38 & 0.53 & 0.55 & 0.58 \end{pmatrix},$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0.076	0.11	0.156	0.21	0.274	0.346	0.43	0.52	0.62	0.75	0.85	0.98	1
2	26.12	26.71	27.3	27.89	28.48	29.07	29.66	30.75	30.84	31.43	32.02	32.61	33.2

а за другим варіантом – матрицею

$$C = \begin{pmatrix} 6.02 & 13.96 & 16.58 & 18.98 & 26.17 & 26.94 & 27.88 & 29.57 \\ 0.01 & 0.03 & 0.06 & 0.11 & 0.36 & 0.4 & 0.44 & 0.53 \end{pmatrix},$$

На рис. 1 і 2 представлені ЕФР часу зберігання до відмови, на яких позначені: F1 – початкова, F2 – екстрапольована, F11 – апроксимована ЕФР.

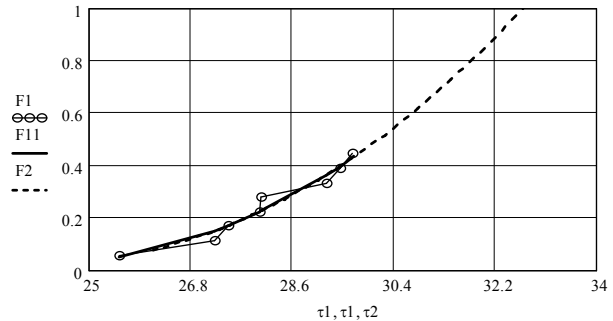


Рис. 1. ЕФР часу зберігання до відмови (1 варіант)

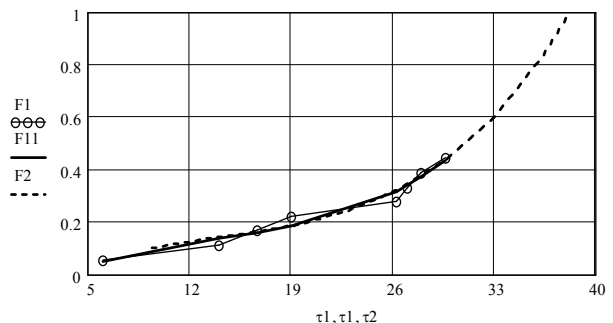


Рис. 2. ЕФР часу зберігання до відмови (2 варіант)

З представлених ЕФР виходить, що побудова ЕФР в повному об'ємі відповідно до виразу (1) утруднене у зв'язку з тим, що найбільше отримане значення ЕФР дорівнює 0,58 і 0,53 для 1 і 2 варіантів відповідно, статистика відмов при цьому виходить неповна і подальші обчислення за методом довірчих інтервалів відповідно до виразів (2),(5) представляються утрудненими.

Виходячи з вищевикладеного, представляє інтерес модифікувати викладений в [2] метод, тобто перейти до модифікованого методу довірчих інтервалів (ММДІ), а саме провести екстраполяцію початкової ЕФР з метою отримання повної статистики відмов і на підставі нової отриманою ЕФР провести обчислення відповідно до виразів (2), (5). Для цього в математичному середовищі MATCHAD по початковій ЕФР були отримані коефіцієнти поліномів другого і третього ступеня, для 1 і 2 варіантів відповідно, і проведена екстраполяція початкової ЕФР відповідно до отриманого виразу. Результати розрахунків значень екстрапольованої ЕФР, відповідних значень часу зберігання до відмови, а також результати екстраполяції за першим варіантом представлені матрицею

а за другим варіантом – матрицею

$$C = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.099 & 0.13 & 0.157 & 0.19 & 0.24 & 0.318 & 0.435 & 0.6 & 0.83 & 1 \\ 9.38 & 12.75 & 16.11 & 19.48 & 22.84 & 26.21 & 29.58 & 32.94 & 36.31 & 39.67 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Погрішність апроксимації при цьому складає не більше 10%.

За екстрапольованою ЕФР проведені обчислення довірчих інтервалів емпіричних моментів довільного закону розподілу. Отримані наступні результати для 1(2) варіанту відповідно:

- точкова оцінка середнього часу зберігання до відмови складає 29,79(28,59) років;

- відповідно до (5) одностороння нижня довірна межа (ОНДМ) складає 28,95(25,46) року; одностороння верхня довірна межа (ОВДМ) складає 30,51(31,14) року.

Відповідно до ЕФР ймовірність безвідмовного зберігання за 1 варіантом складає $P_{29} = 0,65$, за 2 варіантом $P_{29} = 0,58$. Точність оцінювання непараметричним методом можна визначити за статистикою Колмогорова [1]:

$$D_N = \max_{-\infty < x < \infty} |F^*(x) - F(x)|, \quad (6)$$

будуючи для заданої довірчої ймовірності γ зону з межами:

$$F_B^*(x) = F^*(x) + D_N(\gamma), \quad (7)$$

$$F_H^*(x) = F^*(x) - D_N(\gamma), \quad (8)$$

де $F^*(x)$ – оцінка ЕФР у відповідній точці; $F_H^*(x)$ $F_B^*(x)$ - верхня та нижня межі оцінки.

Для $N=16$ і $\gamma=0,8$ для заданих умов відповідно до табличних значень [1] $D_N(\gamma)=0,25$. Виходячи з цього, ОНДМ і ОВДМ ймовірності зберігання до відмови складатимуть: $\underline{P}_{29} = 0,4$ і $\bar{P}_{29} = 0,9$ за 1 варіантом; $\underline{P}_{29} = 0,33$ і $\bar{P}_{29} = 0,83$ за 2 варіантом.

У [7] і [9] розглядається непараметричний метод оцінювання показників надійності за наявності основної експериментальної інформації. Точкова оцінка середнього часу зберігання до відмови визначається як:

$$\hat{T}_{cp} = \left[\sum_{i=1}^r t_i + (N - r) \cdot T_{max} \right] / N, \quad (9)$$

ОНДМ і ОВДМ середнього часу зберігання до відмови визначаються відповідно до співвідношень:

$$\underline{T}_\beta = \hat{T}_{cp} - U_\gamma \sqrt{\sum_{i=1}^r \frac{\Delta F(t_i)}{r} (t_i - \hat{T}_{cp})^2}, \quad (10)$$

$$\bar{T}_\beta = \hat{T}_{cp} + U_\gamma \sqrt{\sum_{i=1}^r \frac{\Delta F(t_i)}{r} (t_i - \hat{T}_{cp})^2}, \quad (11)$$

де \hat{T}_{cp} - точкова оцінка середнього часу зберігання до відмови; T_{max} - час цензурування, β - квантиль нормального розподілу; r - кількість виробів, що відмовили; t_i - i -та реалізація часу зберігання до відмови;

$$\Delta F(t_i) = F(t_i) - F(t_{i-1}), \quad (12)$$

де $F(t_i), F(t_{i-1})$ – значення функції розподілу в моменти t_i і t_{i-1} .

Нижня і верхня довірчі межі ймовірності зберігання до відмови рівня γ визначаються відповідно [9]:

$$\underline{P}_\gamma = \hat{P}(t_0) - U_\gamma \cdot s_1, \quad (13)$$

$$\bar{P}_\gamma = \hat{P}(t_0) + U_\gamma \cdot s_1, \quad (14)$$

де $\hat{P}(t_0)$ – точкова оцінка ймовірності зберігання до відмови, яка визначається за співвідношенням

$$\hat{P}(t_0) = 1 - (d_1 \cdot \hat{F}(t_i) + (1 - d_1) \cdot \hat{F}(t_{i-1})); \quad (15)$$

$$d_1 = \frac{t_0 - t_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}; \quad t_{i-1} < t_0 < t_i;$$

s_1 – оцінка СКВ середнього часу зберігання до відмови, яка визначається за співвідношенням:

$$s_1 = P(t_{i-1}) \sqrt{\sum_{i=1}^j \frac{r_i}{(N - p_i)(N - q_i)}}; \quad (16)$$

де p_i – сумарне число напрацювань до відмови і до цензурування наростаючим підсумком; $q_i = p_i - r_i$, де у свою чергу r_i - число напрацювань в i -інтервалі спостереження [9].

Виходячи із заданих початкових умов і проведених обчислень відповідно до [7] і [9] отримані наступні результати для 1(2) варіанту відповідно:

- точкова оцінка середнього часу зберігання до відмови складає 29,03(25,38) року;

- ОНДГ при $\gamma = 0,8$ середнього часу зберігання до відмови складає 28,41(23,75) року;

- ОВДМ при $\gamma = 0,8$ середнього часу зберігання до відмови складає 29,65(27,01) року.

Точкова оцінка ймовірності зберігання до відмови за 1(2) варіантом відповідно складає $\hat{P} = 0,67(0,57)$. ОНДМ ймовірності зберігання до відмови при $\gamma=0,8$ складає $\underline{P} = 0,55(0,41)$, ОВДМ ймовірності зберігання до відмови при $\gamma=0,8$ складає $\bar{P} = 0,78(0,73)$.

Вищенаведені оцінки показників збережувальності, отримані за допомогою ММДІ а також за до-

помогою методів, викладених в [7] і [9]. Представляє інтерес провести порівняння точності показників збережуваності з метою вироблення рекомендацій з оцінювання цих показників при вирішенні завдань продовження призначених показників БО ЗКР. Відомо, що реалізації часу зберігання до відмови для початкових вибірок були отримані шляхом генерування випадкових чисел з нормального закону розподілу. У зв'язку з цим далі проведено оцінювання показників збережуваності параметричним методом відповідно до [7].

Оцінки параметрів нормального закону розподілу \hat{T}_{cp} і \hat{s} знаходяться методом послідовних наближень. ОНДМ і ОВДМ середнього часу зберігання до відмови \hat{T}_{cp} визначаються як:

$$\underline{T}_{cp} = \hat{T}_{cp} - t_q(r) \cdot \hat{s} / \sqrt{r}, \quad (17)$$

$$\overline{T}_{cp} = \hat{T}_{cp} + t_q(r) \cdot \hat{s} / \sqrt{r}, \quad (18)$$

де q – квантиль розподілу Стюдента, \hat{s} – оцінка СКВ середнього часу зберігання до відмови.

Ймовірність безвідмовного зберігання за час зберігання визначається відповідно до співвідношення:

$$\hat{P}(t_{xp}) = \Phi_0 \left[\left(\hat{T}_{cp} - t_{xp} \right) / \hat{s} \right], \quad (19)$$

де Φ_0 – функція Лапласа, а ОНДМ і ОВДМ ймовірності безвідмовного зберігання за час зберігання визначаються відповідно до співвідношень:

$$\underline{P}(t_{xp}) = \Phi_0(\underline{h}), \quad \overline{P}(t_{xp}) = \Phi_0(\overline{h}), \quad (20)$$

де
$$\underline{h} = \hat{h} - U_q \sqrt{\frac{1}{r} \left(1 + \frac{\hat{h}^2}{2} \right)},$$

$$\overline{h} = \hat{h} + U_q \sqrt{\frac{1}{r} \left(1 + \frac{\hat{h}^2}{2} \right)},$$

$$\hat{h} = \frac{t - \hat{T}_{cp}}{\hat{s}}$$

t – момент часу, на який проводиться оцінювання.

Відповідно до приведених співвідношень отримані наступні оцінки показників збережуваності для 1(2) варіанту:

- точкова оцінка середнього часу зберігання до відмови складає 29,77(30,47) року;

- ОНДГ середнього значення часу зберігання до відмови складає 29,07(26,63) року;

- ОВДГ середнього значення часу зберігання до відмови складає 30,46(34,32) років.

Вірогідність безвідмовного зберігання по 1(2) варіанту відповідно складає $P = 0,64(0,54)$. Нижня довірча межа ймовірності безвідмовного зберігання при довірчій ймовірності $\gamma = 0,8$ складає $\underline{P} = 0,51(0,43)$ верхня довірча межа ймовірності

безвідмовного зберігання при довірчій ймовірності $\gamma = 0,8$ складає $\overline{P} = 0,74(0,65)$.

В табл. 1 представлені для порівняльного аналізу оцінки показників збережуваності, проведені трьома методами для 1 (2) варіанту початкових даних.

Таблиця 1

Результати оцінювання показників збережуваності БО ЗКР

Показники збережуваності	Метод оцінювання		
	Непараметричний	Параметричний	ММДІ
\underline{T}	28,41(23,75)	29,07(26,63)	28,95(25,46)
\hat{T}	29,03(25,38)	29,77(30,47)	29,79(28,59)
\overline{T}	29,65(27,01)	30,46(34,32)	30,51(31,14)
\underline{P}	0,55(0,41)	0,51(0,43)	0,4(0,33)
\hat{P}_{29}	0,67(0,57)	0,64(0,54)	0,65(0,58)
\overline{P}_{29}	0,78(0,73)	0,74(0,65)	0,9(0,83)

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок про те, що оцінки, проведені за допомогою пропонованого ММДІ, є ближчими до оцінок, проведених параметричним методом в порівнянні з оцінками, проведеними відповідно до [7]. При збільшенні s помилка в оцінюванні такого показника як \hat{T}_{cp} відповідно до [7] значно збільшується і складає 3,12 року, тоді як помилка при оцінюванні ПН відповідно до ММДІ складає 1,17 року.

Оцінимо залишковий середній термін збережуваності $T(\tau)$ і залишковий гамма-процентний термін збережуваності $T_\gamma(\tau)$. У досліджуваних варіантах 1(2) ЕВ починаються у момент часу $\tau=25$ років і завершуються у фіксований момент часу $t=30$ років. Таким чином, при роботах з продовження досліджуються величини "усічених залишкових ресурсів" [8] парку ЗКР, що розглядаються на інтервалі $(\tau, \tau + t)$. У відповідності з отриманою екстрапольованою ЕФР момент часу t для 1 варіанту складає 33 роки, для 2 варіанту 38 років.

Величина середнього залишкового усіченого терміну збережуваності $\hat{T}_t(\tau)$ [10] розраховується за співвідношенням:

$$\hat{T}_t(\tau) = \frac{1}{P(\tau)} \int_{\tau}^{\tau+t} P(t) dt, \quad (21)$$

де $P(\tau)$ - значення ймовірності зберігання до відмови у момент часу τ . Відповідно до співвідношення (21) і екстрапольованою ЕФР отримуємо такі значення:

$\hat{T}(\tau) = 9,5(5,8)$ років для 1 і 2 варіанту відповідно;

$T_\gamma(\tau) = 5,5(3)$ років, при $\gamma = 0,9$ для 1 і 2 варіанту відповідно.

Висновки

З результатів досліджень отриманих в даній статті і в [8] можна зробити наступні висновки:

- для проведення ЕВ, при вирішенні завдань продовження ПП ЗКР, необхідно розраховувати об'єм випробувань (мінімальну кількість виробів і мінімально необхідну тривалість їх випробувань) виходячи з розрахункових співвідношень, приведених в [8];

- обґрунтоване рішення з продовження призначеного терміну служби (зберігання) ЗКР повинне прийматися на підставі точкової і інтервальної оцінок показників залишкової збережуваності БО ЗКР;

- для обробки результатів експлуатаційних спостережень і випробувань, які є цензурованими малими вибірками необхідно використовувати непараметричні методи оцінювання, засновані на побудові ЕФР часу зберігання до відмови з подальшим оцінюванням показників залишкової збережуваності. Завдання оцінювання показників збережуваності БО ЗКР, за наявності початкової інформації у вигляді цензурованої малої вибірки доцільно вирішувати, використовуючи запропонований ММДІ, а також використовуючи непараметричні методи, викладені в [7] і [9]. Точність оцінювання цих методів при малих СКВ приблизно однакові. При великих СКВ доцільно використовувати ММДІ. Прийняття рішення щодо продовження призначеного терміну служби (зберігання) ЗКР повинне відбуватися спільно з рішеннями щодо інших призначених показників на основі отриманих точкових і інтервальних оцінок відповідних показників надійності.

Список літератури

1. Гаскаров Д.В. *Малая выборка* / Д.В. Гаскаров, В.И. Шаповалов. – М.: Статистика, 1978. – 249 с.
2. Пешес Л.Я. *Основы теории ускоренных испытаний на надёжность* / Л.Я. Пешес, М.Д. Степанова. – Минск – Наука и техника, 1972. – 168 с.

3. Аронов И.З. *Оценка надёжности по результатам сокращённых испытаний* / И.З. Аронов, Е.И. Бурдасов. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 184 с.

4. Эфрон Б. *Нетрадиционные методы многократного статистического анализа* / Б. Эфрон. Пер. с англ. – Финансы и статистика, 1988. – 263 с.

5. Адлер Ю.П. *Применение бутстреп-метода при определении нижней доверительной оценки показателя долговечности* / Ю.П. Адлер, И.Г. Липкина, Н.В. Никитина // *Надёжность и контроль качества*. – 1987. – № 9. – С. 18-23.

6. Адлер Ю.П. *Применение бутстреп-метода при комплексном прогнозировании ресурса изделий с учётом экспертных оценок* / Ю.П. Адлер, И.Г. Липкина, Н.В. Никитина // *Надёжность и контроль качества*. – 1988. – № 9 – С. 24-41..

7. *Методические указания. Надёжность в технике. Методы оценки показателей надёжности по экспериментальным данным*. РД 50-690-89. – Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам. Москва, 1990, – 132 с.

8. *Рекомендации по обоснованию объёмов испытательных зенитных управляемых ракет при решении задач продления их назначенных показателей* / Б.Н. Ланецкий, И.В. Коваль, А.А. Шоколовский, В.П. Попов, К.В. Борисенко // *Системы обработки информации*. – Х.: ХУПС, 2014. – Вып. 4. – С. 25-31.

9. ГОСТ 27.504-84. *Методы оценки показателей надёжности по цензурированным выборкам*. – М., 1985. – 41 с.

10. *Надёжность и эффективность в технике. Справочник в десяти томах. Т. 6: Экспериментальная отработка и испытания* / Под общ. ред. Р.С. Суакова, О.И. Тескина. – М.: Машиностроение, 1989. – 376 с.

11. ГОСТ 27.410-87. *Надёжность в технике. Методы контроля показателей надёжности и планы контрольных испытаний на надёжность*. – М., 1987. – 79 с.

12. Скрыпник В.М. *Оценка надёжности технических систем по цензурированным выборкам* / В.М. Скрыпник, А.Е. Назин. – Минск: Наука и техника, 1981. – 144 с.

Надійшла до редколегії 28.11.2015

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

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОЦЕНИВАНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОХРАНЯЕМОСТИ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗЕНИТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРОДЛЕНИЯ НАЗНАЧЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Б.Н. Ланецкий, И.В. Коваль, А.А. Шоколовский, В.П. Попов, С.В. Селезнев, С.Н. Донцов

Возможности продления назначенных показателей зенитных управляемых ракет (ЗКР) устанавливаются по результатам выполнения совокупности работ, в том числе оценивания и прогнозирования на продлеваемый период показателей надёжности. Разработаны рекомендации по оцениванию показателей остаточной сохраняемости бортового оборудования ЗКР для принятия решения об установлении назначенных показателей ЗКР.

Ключевые слова: бортовое оборудование, цензурированная малая выборка, эксплуатационные испытания, модифицированный метод доверительных интервалов, остаточная сохраняемость.

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR THE ASSESSMENT OF INDICATORS SHOWING STATE OF ELECTRONIC COMPONENTS IN SURFACE-TO-AIR GUIDED MISSILE DURING THEIR SHELF LIFE WHEN SOLVING THE PROBLEMS OF EXTENDING THE DESIGNATED TERMS

B.M. Lanetskiy, I.V. Koval, A.A. Shokolovskiy, V.P. Popov, S.V. Seleznev, S.M. Dontsov

The possibility of extending the assigned service terms for surface-to-air guided missile (SAGM) shall be established on the basis of a set of jobs including the estimation and forecasting the performance reliability for the extended period. The recommendations as to evaluation of indicators of residual reliability of electronic components in SAGM are developed to enable the decision making process with regard to assigned service terms of SAGM.

Keywords: onboard equipment, small censored sample, operating tests, modified method of confidence intervals, residual reliability.