

МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ СТРОКІВ ПРОДОВЖЕННЯ ПРИДАТНОСТІ ДО ВИКОРИСТАННЯ ЗА ПРИЗНАЧЕННЯМ КЕРОВАНИХ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ

У статті запропонована методика оцінки і прогнозування технічного стану керованих авіаційних засобів ураження на основі визначення закону зміни потоку відмов з використанням апроксимації сукупності поліномів ортогональних на систему рівновіддалених точок.

Ця методика дозволяє з високою достовірністю оцінити безвідмовність авіаційних засобів ураження та визначити строки продовження їх ресурсу.

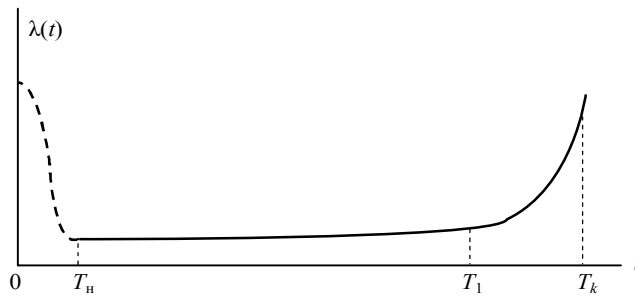
Ключові слова: авіаційні засоби ураження, імовірність, ресурс.

Вступ та постановка задачі. Важливою особливістю керованих авіаційних засобів ураження (АЗУ), як складних технічних систем, є значно обмежена можливість формування масивів статистичних даних про відмови в процесі їх експлуатації. При цьому важливо зазначити, що всі АЗУ є виробами одноразового застосування, а процес дослідження параметрів, що характеризують їх технічний стан, призводить до руйнації. Це обумовлено тим, що контроль багатьох складових частин АЗУ є руйнівним, що відповідно обмежує об'єм вибірки міркуваннями економічного характеру.

Таким чином, важливою особливістю задачі щодо удосконалення методичного апарату обґрунтування строків продовження придатності до використання за призначенням керованих АЗУ є обмеженість вибірки для проведення детальних досліджень. У зв'язку з цим доцільно поставити питання щодо раціонального планування вибіркового контролю з метою максимального підвищення інформативності його результатів.

Друга особливістю цієї задачі є фактично відсутня можливість встановлення моменту виникнення відмови на відміну складових частин АЗУ, які практично повністю контролюються по визначальних параметрах, тобто момент відмови можна встановити з точністю, яка визначається інтервалами перевірок. Це не тільки виключає можливість шаблонного застосування моделі щодо оцінки та прогнозування надійності періодично контрольованих технічних систем, а й визначає необхідність проведення спеціальних досліджень.

Основна частина. Поставлену задачу можна вирішити шляхом розробки, дослідження та удосконалення моделі надійності на основі імовірності безвідмовної роботи, регресійної моделі, апроксимації процесу фізичної деградації складових частин АЗУ сукупністю ортогональних поліномів, моделі на основі методу групового урахування аргументів, моделі з аргументом, що запізнюється тощо [1, ..., 4]. При цьому, для ефективного прогнозування характеристик надійності АЗУ необхідно як найбільш точно встановити закон зміни інтенсивності потоку відмов $\lambda(t)$. При розв'язанні задачі використовуємо відому апріорну гіпотезу щодо закону зміни параметра потоку відмов у часі, якісний вигляд якого наведено на рисунку [1, ..., 4]. Інтервал $[0, \dots, T_H]$, який характеризує період приробітки елементів, на теперішній час для всіх виробів АЗУ закінчився; інтервал $[T_H, \dots, T_1]$ – період нормальної експлуатації виробу; інтервал $[T_1, \dots, T_K]$ – входження виробу в область інтенсивних відмов, тобто «старіння» його елементів, агрегатів й складових частин, що визначає перехід виробів АЗУ у стан технічної несправності.



Зміна параметру потоку відмов технічного виробу в процесі експлуатації

Розглянемо можливі шляхи удосконалення існуючого методичного апарату щодо методики обґрунтування строків продовження придатності до використання за призначенням керованих АЗУ та їх складових частин більш детально.

Модель надійності на основі імовірності безвідмовної роботи. Закон зміни $\lambda(t)$ на ділянці $[T_n, \dots, T_1]$ можна апроксимувати прямою, а на ділянці $[T_1, \dots, T_k]$ – поліномом деякого степеня d . Тоді закон зміни $\lambda(t)$ до кінця експлуатації АЗУ, що знаходяться на озброєнні ЗС України можна записати як

$$\lambda(t) = \begin{cases} a_{10} + a_{11}t, & T_n \leq t \leq T_1, \\ a_{20} + a_{21}t + \dots + a_{2d}t^d, & T_1 \leq t \leq T_k. \end{cases} \quad (1)$$

Принциповою особливістю задачі щодо складових частин АЗУ, які не охоплені періодичним контролем, є неможливість безпосередньої оцінки значень параметрів поліномів апроксимації $\lambda(t)$ відомими методами [1] у зв'язку з тим, що звичайно $\lambda(t)$ розраховується з міркувань сталості на деякому інтервалі. У розглянутому випадку це припущення не зовсім справедливо.

Нехай на інтервалі $[0, T]$ інтенсивність потоку відмов апроксимується поліномом степеня d .

Для отримання статистичної оцінки $M[n_{0,T}]$ використаємо відомий [1, 2] вираз щодо імовірності безвідмовної роботи $P(t)$.

$$P(t) = \exp\left\{-\int_0^T \lambda(t) dt\right\} = M\left[\frac{n_{0,T}}{n_T}\right] = \frac{1}{n_T} M[n_{0,T}],$$

де $\lambda(t)$ – закон зміни інтенсивності відмов, апроксимований поліномом $\lambda(t) \approx a_0 + a_1 + \dots + a_d d^d$ степеня d .

Якщо N_T – загальна кількість АЗУ, що знаходяться в експлуатації до моменту контролю час T , а $N_{1,T}$ – їх несправна кількість до цього моменту, то $v = N_{1,T} / N_T$ є імовірністю того, що відібрані для контролю вироби будуть несправними. Очевидно, що оцінкою несправних виробів у вибірці обсягом n_T на черговому циклі контролю є співвідношення

$$\hat{v} = \frac{n_{1,T}}{n_T} = \frac{n_{1,T}}{n_{1,T} + n_{0,T}},$$

де $n_{1,T}$ та $n_{0,T}$ – кількість справних АЗУ, які відмовили у вибірці відповідно.

Можна показати, що $M[\hat{v}] = v$. Для цього введемо випадкове число ξ_k , яке дорівнює 1, якщо за результатами контролю АЗУ є несправним. У протилежному випадку – дорівнює 0. Для n_T вибраних виробів випадкове число обчислюється як

$$n_{1,T} = \sum_{k=1}^{n_T} \xi_k. \quad (2)$$

Оцінка v є незміщеною, тому що

$$M\left[\frac{n_{1,T}}{n_T}\right] = \frac{1}{n_T} M\left[\sum_{k=1}^{n_T} \xi_k\right] = \frac{1}{n_T} \sum_{k=1}^{n_T} M[\xi_k] = v.$$

Враховуючи, що

$$M[n_{0,T}] = n_T - M[n_{1,T}] = n_T(1-v),$$

можна записати

$$M[n_{0,T}] \approx n_T \left(1 - \frac{n_{1,T}}{n_T}\right) = n_{0,T}. \quad (3)$$

Логарифмуючи вираз

$$\frac{n_{0,T}}{n_T} \approx \exp\left\{-\int_0^T \lambda(t) dt\right\},$$

та враховуючи поліном апроксимації закону зміни інтенсивності відмов отримаємо

$$-\ln \frac{n_{0,T}}{n_T} \approx a_0 T + \frac{a_1}{2} + \dots + \frac{a_d}{d+1} T^{d+1}. \quad (4)$$

Введемо оціночну функцію

$$y(T) = \alpha_0 T + \alpha_2 T^2 + \dots + \alpha_d T^{d+1}, \quad (5)$$

де $\alpha_0 = a_0$; $\alpha_1 = \frac{a_1}{2}$; $\alpha_2 = \frac{a_2}{3}$; ...

Знання коефіцієнтів $(\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_d)$ забезпечує можливість розрахунку $\lambda(t)$, а числове значення функції $y(t)$ на момент контролю T може бути, відповідно до (4), оцінено безпосередньо. При цьому отримана оцінка

$$\hat{y}(t) = -\frac{1}{T} \ln \frac{n_{0,T}}{n_T} \quad (6)$$

є максимально правдоподібною.

Рішення цієї задачі може бути здійснено методом апроксимації сукупністю поліномів, ортогональних на системі рівновіддалених точок, дозволяє отримати числові значення коефіцієнтів апроксимації системи нормальних рівнянь, які мають рішення.

Процедура незалежного оцінювання коефіцієнтів при використанні ортогональних поліномів має додаткову перевагу, суть якої полягає у наступному. Якщо у процесі апроксимації було отримано поліном Чебишева степеня d , то для визначення поліномів степеня $d+1$ достатньо оцінити лише один новий коефіцієнт a_{d+1} . Решта числових коефіцієнтів залишаються без змін.

Для знаходження елементів коваріаційної матриці похибок оцінок параметрів використаємо вираз щодо визначення $K_{\hat{a}_{k_1} \hat{a}_{k_2}}$

$$K_{\hat{a}_{k_1} \hat{a}_{k_2}} = M\left[(\hat{a}_{k_1} - a_{k_1})(\hat{a}_{k_2} - a_{k_2})\right] = M\left[\left(\frac{\sum_{j=0}^n \hat{y}_{j+1} P_{k_1}(j)}{\sum_{j=0}^n P_{k_1}^2} - a_{k_1}\right) \left(\frac{\sum_{j=0}^n \hat{y}_{j+1} P_{k_2}(j)}{\sum_{j=0}^n P_{k_2}^2} - a_{k_2}\right)\right].$$

Однією з найважливіших задач оцінки та прогнозування надійності є встановлення моменту початку масових відмов АЗУ. У цьому аспекті найбільш прийнятною є модель надійності АЗУ із запізнюючим аргументом. У загальному вигляді її може записати у вигляді [22]

$$\lambda(\underline{A}, \underline{B}, t_3) = \varphi_1(\underline{A}, t) + \varphi_2(\underline{B}, t) \cdot 1(t - t_3), \quad (7)$$

де $\varphi_1(\underline{A}, t)$ – функція, що апроксимує закон зміни інтенсивності відмов АЗУ у період нормальної експлуатації виробів (як правило це лінійна функція); $\varphi_2(\underline{B}, t)$ – функція, що апроксимує закон зміни інтенсивності відмов у період масових відмов АЗУ; $1(t - t_3)$ – одинична функція.

Нехай $\varphi_1(\underline{A}, t) = \sum_{i=0}^{n_1} a_i t^i$, $\varphi_2(\underline{B}, t) = \sum_{j=0}^{n_2} b_j t^j$, тоді набір, що підлягає оцінці параметрів, утворює множину $\{a_0, a_1, \dots, a_{n_1}; b_0, b_1, \dots, b_{n_2}; t_3\}$.

Розглянемо випадок, коли функції $\varphi_1(\underline{A}, t)$ та $\varphi_2(\underline{B}, t)$ лінійні. Тоді

$$\lambda(\underline{A}, \underline{B}, t_3) = a_0 + a_1 t + (b_0 + b_1 t) \cdot 1(t - t_3). \quad (8)$$

Для оцінки параметрів лінійної моделі використаємо підхід, який було описано вище. Нехай, як й раніше,

$$\begin{aligned} \underline{Y}(\underline{A}, \underline{B}, t_3, T) = y_T &= a_0 + \frac{a_1}{2} t + \left(b_0 + \frac{b_1}{2} t \right) \cdot 1(t - t_3) = \\ &= a'_0 + a'_1 T + (b'_0 + b'_1 T) \cdot 1(t - t_3) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\hat{y}_T = -\frac{1}{T} \ln \frac{n_{0,T}}{n_{1,T}}.$$

Тоді для моментів контролю T_1, T_2, \dots, T_m маємо набір значень

$$\underline{Y} = \{y_{T_1}, y_{T_2}, \dots, y_{T_m}\}.$$

Введемо функціонал

$$J(\underline{A}', \underline{B}', t_3) = \sum_j^m \left[a'_0 + a'_1 T + (b'_0 + b'_1 T) \cdot 1(T - t_3) - \hat{y}_{T_j} \right]^2. \quad (10)$$

У зв'язку з тим, що модель (8) лінійна за параметрами $(a'_0, a'_1; b'_0, b'_1) = (\underline{A}', \underline{B}')$, то фіксуємо t_3 та використовуємо відомі методи, наприклад метод найменших квадратів (МНК) [2, 4]

$$\min_{\underline{A}', \underline{B}'} J(\underline{A}', \underline{B}', t_3) = J(t_3), \quad (11)$$

отримаємо значення функціонала, яке відповідає вибраному t_3 . Тобто задача оцінки параметрів (8) зведена до задачі безумовної мінімізації алгоритмічно заданої функції (11), яка може бути розв'язана стандартними методами пошуку мінімуму функції однієї змінної, що не використовують значення довільних (наприклад, методи дихотомії, «золотого» перерізу, Фібоначчі тощо) [4].

Висновок. Таким чином, запропонована методика дозволяє з високою достовірністю оцінити надійність АЗУ та призначити строк продовження їх придатності до використання за призначенням і їх складових частин, а також дозволяє встановити момент початку масових відмов.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ивахненко А. Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложных систем. – К.: Техника, 1975.
2. Зубарев В. В. Математические методы оценки и прогнозирования технических показателей эксплуатационных свойств радиоэлектронных систем: Монография / В. В. Зубарев, А. П. Ковтуненко, Л. Г. Раскин. – К.: НАУ, 2005. – 183 с.
3. Б.Дилон, Ч.Сингх. Инженерные методы обеспечения надежности систем. М.: Мир, 1984. – 318с.
4. Ковтуненко А. П. Основы теории восстановления эксплуатационных свойств технических систем / О. П. Ковтуненко, М.А. Шишанов, В.В. Зубарев. – К.: НАУ, 2007. – 294 с.

Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В., начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

д.т.н, проф. Шишанов М.О., к.т.н. Зубарєв О.В., к.т.н Любарєць А.А.
**МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ СРОКОВ ПРОДЛЕНИЯ ПРИГОДНОСТИ К
ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПО НАЗНАЧЕНИЮ УПРАВЛЯЕМЫХ АВИАЦИОННЫХ СРЕДСТВ
ПОРАЖЕНИЯ**

В статье предложена методика оценки и прогнозирования технического состояния управляемых авиационных средств поражения на основе определения закона изменения потока отказов с использованием аппроксимации совокупности полиномов ортогональных на систему равноотстоящих точек.

Эта методика разрешает с высокой достоверностью оценить безотказность авиационных средств поражения и определить сроки продления их ресурса.

Ключевые слова: авиационные средства поражения, вероятность ресурса.

Prof. Shishanov M.O., Ph.D. Zubarev O.V., Ph.D. Lyubarets A.A.
**METHODOLOGY OF GROUND OF TERMS OF EXTENSION OF FITNESS TO THE USE
ON SETTING OF THE GUIDED AVIATION FACILITIES OF DEFEAT**

In the article methodology of estimation and prognostication of the technical state of the guided aviation decimators on the basis of determination of law of change of stream of refuses is offered with the use of approximation of totality of polynomials of orthogonal on the system equidistant points.

This methodology lets with high authenticity to estimate faultlessness of aviation decimators and define the terms of extension of their resource.

Keywords: aviation decimators, probability is a resource.

