

УДК 629.7.083

**ДОВЖУК Д.В.**, начальник науково-дослідної лабораторії, кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник

**ШАТРОВ А.М.**, провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник

## **ПРОГНОЗУВАННЯ СТРОКІВ СЛУЖБИ КЕРОВАНИМ АВІАЦІЙНИМ ЗАСОБАМ УРАЖЕННЯ ІЗ ЗАДАНОЮ ДОСТОВІРНІСТЮ**

*У статті викладено результати досліджень щодо можливості прогнозування термінів продовження служби (зберігання) авіаційних засобів ураження із заданою достовірністю.*

*Ключові слова: авіаційні засоби ураження, інтенсивність відмов, модель надійності, час запізнення аргументу*

Світовий досвід експлуатації авіаційної техніки (АТ) дозволяє прогнозувати терміни експлуатації бойових літальних апаратів, які знаходяться на озброєнні Збройних Сил України, до 35 ... 40 років, що обумовлює необхідність забезпечення їх відповідними авіаційними засобами ураження (АЗУ) до 2030 року. При цьому однією з основних проблем є значне перевищення початково-встановлених строків служби АЗУ розробником (виробником) над потрібними та, як наслідок, досягнення їх окремими складовими частинами граничного стану, що визначає необхідність припинення експлуатації. Про можливе наближення АЗУ до граничного стану може свідчити стійка тенденція росту інтенсивності відмов у часі у вигляді виходу параметрів за встановлені межі, які неможливо відновити відповідними регулюваннями або неможливість його безпечного застосування.

Сучасні АЗУ є специфічним видом авіаційної техніки, основними особливостями яких є відносна самостійність та можливість лише одноразового використання [1]. Отримання інформації про їх показники надійності здійснюється шляхом вибіркового контролю відносно невеликої кількості АЗУ, що обумовлено необхідністю застосування методів руйнівного контролю, тобто частина відібраних АЗУ підлягає повному розбиранню з подальшим поглибленим дослідженням всіх систем, агрегатів, деталей тощо. При цьому момент виникнення відмови можна встановити лише з точністю, яка визначається інтервалами перевірок [2].

Таким чином, однією з основних особливостей задачі визначення та прогнозування показників надійності АЗУ та визначення часу початку їх масових відмов є суттєва обмеженість вибірки.

Для ефективного прогнозування характеристик надійності систем, необхідно як найбільш точно встановити закон зміни інтенсивності потоку відмов  $\lambda(t)$ , а принциповою особливістю рішення цієї задачі для систем, що не передбачають періодичний контроль, є неможливість безпосередньої оцінки значень  $\lambda(t)$  для цього

закону [2, 3].

В основу розв'язання задачі щодо прогнозування термінів продовження служби (зберігання) АЗУ із заданою достовірністю пропонується покласти загальні положення методології дослідження складних технічних систем [4], які зокрема включають проведення декомпозиції АЗУ на складові та проведення їх ранжирування за впливом на безпеку експлуатації, вибір моделі надійності з аргументом, що запізнюється [3] для прогнозування у часі кількісних показників критеріїв якості та формування довірчих інтервалів на основі правила Клопера-Пірсона [5].

Для рішення поставленої задачі в умовах обмеженої вибірки параметрів АЗУ, що визначають їх технічний стан пропонується використовувати модель надійності з аргументом, що запізнюється. При рішенні задачі використовуємо апріорну гіпотезу щодо сталості потоку відмов  $\lambda(t)$  на етапі нормальної експлуатації системи.

У загальному вигляді модель надійності з аргументом, що запізнюється може бути записана у вигляді [43]

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

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;  $1(t - t_{\zeta})$  – одинична функція, яка може приймати значення:

$$1(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0; \\ 0, & x < 0, \end{cases}$$

де  $t_{\zeta}$  – час запізнення аргументу, який визначає час переходу системи у стан технічної несправності.

Очевидно, що для визначення моменту початку масових відмов системи необхідно оцінити  $t_{\zeta}$  з максимальною точністю.

Відомо декілька підходів щодо оцінки  $t_{\zeta}$ . Так, враховуючи модель (1) лінійна по параметрах  $(a'_0, a'_1; b'_0, b'_1) = (\underline{A}', \underline{B}')$ , то фіксуючи  $t_{\zeta}$  та обчислюючи відомими методами, наприклад методом найменших квадратів (МНК), отримуємо значення функціоналу, який відповідає вибраному  $t_{\zeta}$ . Далі задача зводиться до мінімізації функції (2)

$$\min_{\underline{A}', \underline{B}'} J(\underline{A}', \underline{B}', t_{\zeta}) = j(t_{\zeta}), \quad (2)$$

яка може бути розв'язана стандартними методами пошуку мінімуму функції однієї змінної. Більш точну оцінку  $t_{\zeta}$  можна отримати при використанні інтегрального МНК [3].

Вибір  $t_{\zeta}$  можна здійснювати також на основі методів індивідуальних або колективних експертних оцінок, тобто з використанням інтуїтивних методів прогнозування [3].

Разом з цим, наведені та інші методики визначення  $t_{\zeta}$  не враховують імовірність досягнення граничних значень параметрами, що визначають технічний

стан АЗУ або його складових частин. У зв'язку з цим пропонується наступна методика його визначення.

У загальному випадку, за результатами вибірки параметру  $x_i$  при різних строках служби АЗУ методами регресійного аналізу можливо визначити тенденцію його зміни та визначити строк служби при якому розрахункове значення параметру  $x_{i+n}$  досягне граничного значення  $X_{cp}$ . Остаточний вибір апроксимації та прогнозування пропонується здійснювати за рекомендаціями ДСТУ 3004-95 [6]: експоненціальний розподіл, характерний для агрегатів та технічних систем, які мало підлягають старінню та спрацюванню, а розподіл Вейбулла-Гнеденко – для систем, яким притаманні процеси механічного руйнування, стомлення, корозії, раптових змін їх властивостей. Враховуючи, що основним видом експлуатації АЗУ є зберігання, при цьому вони мало підлягають старінню і спрацюванню, доцільно використовувати експонентний розподіл

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

Для прогнозування тривалості експлуатації АЗУ із заданою імовірністю  $P$ , необхідно розрахувати та побудувати довірчі інтервали таким чином, щоб дійсні значення параметру  $X$  не виходили за межі інтервалу  $\varepsilon$ . Тобто повинна виконуватись нерівність [5]

$$\alpha = P [ |(\hat{X}_i + \sigma) - (\hat{X}_i - \sigma)| \leq \varepsilon ], \quad (4)$$

де  $\alpha$  – функція двох аргументів  $t_a$  та  $n$ , яка визначається як  $\alpha = 2 \int_0^{t_a} S n(t) dt$ ;  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення значення параметру;  $\varepsilon = t_a S$  – довірчий інтервал.

Величина  $t_a$  визначається відповідно до заданої імовірності та кількості наявних статистичних даних ( $n$ ) по таблиці, наведеній в [6], а при визначенні  $\sigma$  необхідно використовувати незміщені оцінки математичного очікування  $m_x$  та дисперсії  $\sigma_x^2$  [5]

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{та} \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x^*)^2}, \quad (4)$$

де  $x_i(t)$  – значення параметра  $x$  у кожному з  $n$  незалежних вимірів.

Тоді довірчі інтервали розраховуються як

$$\varepsilon \geq \hat{X}_i \pm t_a \sigma. \quad (5)$$

Виконавши обчислення за (5) у всьому діапазоні значень  $x_i$ , отримаємо довірчі інтервали обмежені кривими  $\hat{X}_i + t_a \sigma$  та  $\hat{X}_i - t_a \sigma$ .

Прогнозування виконується по одному або групі визначальних параметрів на визначений термін із заданою імовірністю, яка може бути визначена на основі відомих чи заданих значень потрібного рівня ефективності та безпеки функціонування АЗУ. Граничні значення параметрів визначені у відповідній нормативно-технічній документації. Результати прогнозування по деякому параметру  $X$  із заданою імовірністю 0,85 наведено на рисунку 1, на якому використано такі позначення:  $X_{ad}$  – граничне значення параметра  $X$ ;  $\varepsilon$  – довірчий

інтервал, розрахований за (5);  $t_3$  та  $t_{прог}$  – час запізнення та прогнозу відповідно.

За результатами прогнозування по визначеним параметрам та їх граничним значенням, можна визначити величину  $t_3$ . При цьому можливі два варіанти:

довірчий інтервал не перетинає граничні значення допуску параметру в межах заданого терміну прогнозу;

довірчий інтервал перетинає граничні значення допуску параметру в межах терміну прогнозу.

У першому випадку  $t_3$  може бути обчислено шляхом розв’язання рівняння (2) або будь-яким відомим методом, але у будь-якому випадку не може перевищувати термін прогнозу. Зазначимо, що досвід виконання досліджень підприємствами промисловості та науково-дослідними установами України доводить, що недоцільно продовжувати строків служби АЗУ більш, ніж на 5 років, тобто  $t_{прог} \leq 5$  років. Це обумовлено тим, що процеси фізичного старіння складових частин, особливо таких, що містять матеріали спеціальної хімії, у ряді випадків є нелінійними та мають нестационарний характер зміни параметрів у часі [2].

У другому випадку значення  $t_3$  пропонується визначати, як інтервал від моменту останнього визначення параметру до перетину одним з довірчих інтервалів граничного значення цього параметру ( $X_{гр}$ ), тобто  $t_{прог} = t_3$  (рисунок 1). При цьому терміни продовження призначених строків служби (строків зберігання) АЗУ ( $t_{ідіа}$ ) пропонується визначати як

$$\begin{cases} t_{прод} \leq t_3, & \text{при } t_{прог} = t_3; \\ t_{прод} = 5 \text{ років,} & \text{при } t_{прог} > t_3. \end{cases} \quad (6)$$

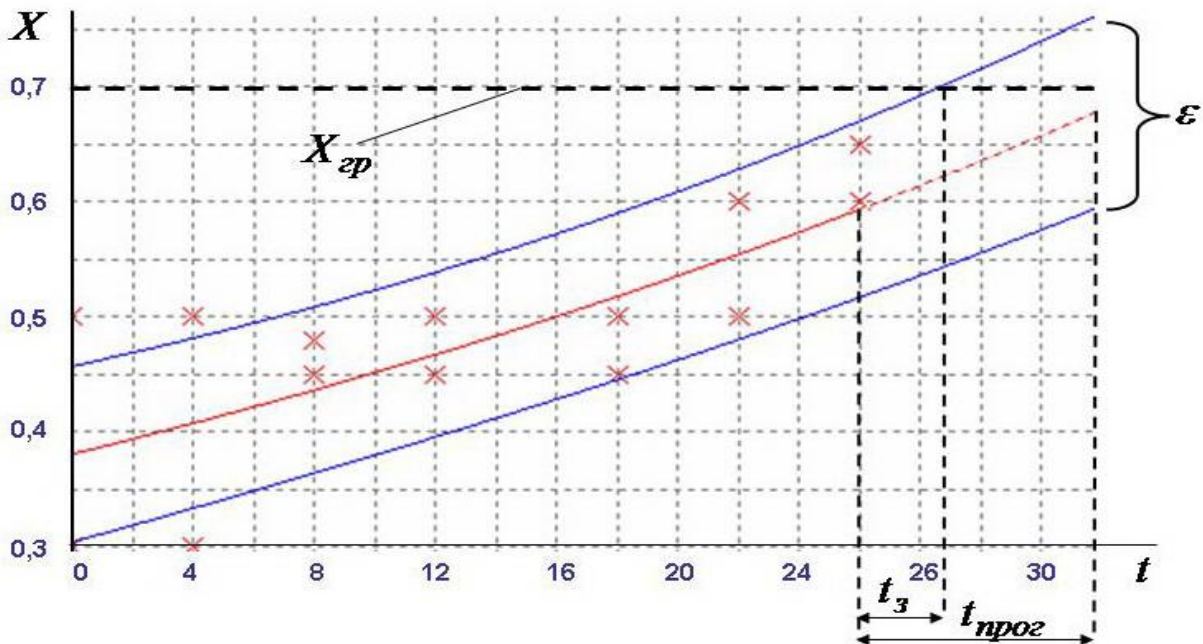


Рис 1. Прогнозування строку служби по параметру X із заданою імовірністю 0,85 та визначення для нього  $t_3$

Таким чином, для визначення моменту початку масових відмов із заданою імовірністю, запропоновано підхід до обґрунтування продовження строків служби АЗУ та їх складових частин на основі моделі із аргументом, що запізнюється.

Для практичного впровадження результатів необхідно, по закінченню продовженого строку служби ( $t_{\text{прод}}$ ) АЗУ, провести відповідні дослідження, виконати порівняльний аналіз щодо прогнозованих і реальних значень визначальних параметрів, отриманих при вибірковому руйнівному контролю визначеної кількості АЗУ.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Авиационные средства поражения. Под редакцией Ф. П. Миропольского. – М.: Военное издательство, 1995. – 251с.
2. Прогноз долговечности управляемых авиационных средств поражения в Украине / Коростелев О. П., Любарец А. А., Мамонтов В. К. // Технологические системы, №4(53), 2010. – С. 10-15.
3. Зубарев В. В., Ковтуненко А. П., Раскин Л. Г. Математические методы оценки и прогнозирования технических показателей эксплуатационных показателей радиоэлектронных систем: Монография. – К.: Книжное издательство НАУ, 2005. – 184 с.
4. Артюшин Л.М., Зиатдинов Ю.К., Попов И.А., Харченко А.В. Большие технические системы. Проектирование и управление. – Харьков: Факт, 1997. – 400с.
5. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. –524с.
6. ДСТУ 3004-95 “Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними” – К.: Держстандарт України, 1995.

*Надійшла до редакції 31.10.2016*

*Рецензент :ДТН Кононов О.А.*