

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНУ ТЕХНІЧНОЇ ПРИДАТНОСТІ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ З АРГУМЕНТОМ, ЩО ЗАПІЗНЮЄТЬСЯ

Можливості продовження призначених показників засобів ураження встановлюються за результатами виконання сукупності робіт, зокрема оцінювання і прогнозування на продовжуваний період показників надійності.

Надійність є інтегральною властивістю, яка, в залежності від призначення зразка і умов його використання, містить сукупність властивостей: безвідмовність, довговічність і ремонтпридатність. При цьому вирішальним фактором обрання надійності для рішення задач оцінювання деградації технічного стану ЗУ є її властивість змінюватися у часі в залежності від початкових властивостей зразка та умов експлуатації. При рішенні задачі було використано апріорну гіпотезу щодо сталості потоку відмов на етапі нормальної (ефективної) експлуатації системи.

У статті викладено результати досліджень щодо можливості визначення терміну технічної придатності до використання засобів ураження із заданою достовірністю на основі моделі надійності з аргументом, що запізнюється.

Ключові слова: граничний стан, засоби ураження, інтенсивність відмов, модель надійності з аргументом, що запізнюється

Постановка проблеми. На сьогодні, одним з ключових проблемних питань підтримання боєздатності Збройних Сил України є забезпечення справності засобів ураження (ЗУ) – одних з основних складових військової техніки, які фактично визначають її бойовий потенціал та спроможність виконувати свої завдання за призначенням.

Аналіз світового досвіду підтримання справності ЗУ засвідчує, що на озброєнні провідних країн продовжують знаходитися ЗУ, виготовлені ще до початку 90-х років минулого сторіччя. Такий підхід, направлений на зменшення витрат військових відомств, притаманний багатьом країнам світу.

У загальному випадку, продовження встановлених строків придатності ЗУ до використання за призначенням – це комплекс досліджень і робіт, які виконуються для максимально повного використання фактичних залишків ресурсу (строку служби, строку зберігання) та визначення можливості їх подальшої експлуатації. Зниження вартості цих робіт може бути досягнуто за рахунок збільшення долі аналітичних та теоретичних досліджень шляхом:

- впровадження математичних моделей зміни у часі технічного стану ЗУ та їх складових частин;

- максимального використання статистичної інформації про реальний технічний стан та рівень безпеки;

- використання інформації про результати виконання таких робіт на ЗУ – аналогах.

Надійність є інтегральною властивістю, яка, в залежності від призначення зразка і умов його використання, містить сукупність властивостей: безвідмовність, довговічність і ремонтпридатність. При цьому вирішальним фактором обрання надійності для рішення задач оцінювання деградації технічного стану ЗУ є її властивість змінюватися у часі в залежності від початкових властивостей зразка та умов експлуатації. Таким чином, за результатами аналізу сукупності експлуатаційно-технічних властивостей ЗУ та їх складових частин з позицій дослідження складних технічних систем, можна зробити висновок, що в якості основного показника при розв'язанні задачі оцінювання та прогнозування зміни

технічного стану систем у часі доцільно розглядати надійність, як найбільш інформаційну властивість зразка [1].

Метою статті є розробка методики оцінки та прогнозування можливості визначення терміну технічної придатності до використання засобів ураження із заданою достовірністю на основі моделі надійності з аргументом, що запізнюється.

Основний матеріал. Сучасні ЗУ є специфічним видом військової техніки, основними особливостями яких є відносна самостійність та можливість лише одноразового використання за призначенням. Отримання інформації про показники надійності їх здійснюється шляхом вибіркового контролю відносно невеликої кількості ЗУ, які підлягають повному розбиранню з подальшим поглибленим дослідженням всіх систем, агрегатів, деталей тощо, у тому числі із застосуванням методів руйнівного контролю. Обсяг вибірки обмежується також міркуваннями економічного характеру. При цьому момент виникнення відмови можна встановити лише з точністю, яка визначається інтервалами перевірок [2].

Таким чином, для ефективного прогнозування характеристик надійності будь-яких систем, необхідно як найбільш точно встановити закон зміни інтенсивності потоку відмов $\lambda(t)$, а принциповою особливістю рішення цієї задачі – неможливість безпосередньої оцінки значень $\lambda(t)$ [1, 3].

Сучасні ЗУ складаються з великої кількості різноманітних елементів, кожен з яких виконує свої функції, побудований на використанні певних фізичних принципів та має зв'язки з іншими елементами, а структура – визначається бойовим призначенням. Разом з цим, всі вони мають спільні риси по організації побудови та складу обладнання, тобто є типовими представниками складних систем та можуть бути розглянуті з позицій теорії складних систем в організаційному і функціональному аспектах [4]. При цьому найбільш поширений підхід щодо здійснення поточних та прогнозних оцінок стану складних технічних систем базується на визначенні рівня показників їх експлуатаційних властивостей.

У зв'язку з цим, в основу розв'язання задачі щодо прогнозування термінів технічної придатності до використання ЗУ із заданою достовірністю пропонується покласти загальні положення методології дослідження складних технічних систем [4], які зокрема включають проведення декомпозиції ЗУ на складові та проведення їх ранжирування за впливом на безпеку експлуатації, вибір моделі надійності для прогнозування у часі кількісних показників критеріїв якості та врахувати випадковий характер вектора параметрів технічного стану ЗУ, який обумовлений недосконалістю технології виробництва і впливом експлуатаційних факторів, та формування довірчих інтервалів на основі правила Клопера-Пірсона [3].

Для рішення поставленої задачі в умовах обмеженої вибірки параметрів ЗУ, що визначають їх технічний стан пропонується використовувати модель надійності з аргументом, що запізнюється, яка у загальному вигляді може бути записана у вигляді [1]:

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

де $\varphi_1(\underline{A}, t)$ – функція, що апроксимує закон зміни інтенсивності відмов ЗУ 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 ЗУ; $1(t - t_c)$ – одинична функція, яка може приймати значення:

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

де t_c – час запізнення аргументу, який визначає час переходу системи у стан технічної несправності.

При рішенні задачі використовуємо апіорну гіпотезу щодо сталості потоку відмов $\lambda(t)$ на етапі нормальної (ефективної) експлуатації системи.

Очевидно, що для визначення моменту початку масових відмов системи необхідно оцінити t_ζ з максимальною точністю.

Відомо декілька підходів щодо оцінки t_ζ . Так, враховуючи модель (1) лінійна по параметрах $(a'_0, a'_1; b'_0, b'_1) = (\underline{A'}, \underline{B'})$, то фіксуючи t_ζ та обчислюючи відомими методами, наприклад методом найменших квадратів (МНК), отримуємо значення функціоналу, який відповідає вибраному t_ζ . 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_ζ можна отримати при використанні інтегрального МНК [5]. Вибір t_ζ можна здійснювати також на основі методів індивідуальних або колективних експертних оцінок, тобто з використанням інтуїтивних методів прогнозування [1].

Разом з цим, наведені та інші методики визначення t_ζ не враховують імовірність досягнення граничних значень параметрами, що визначають технічний стан ЗУ 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_{sp} . Остаточний вибір апроксимації та прогнозування пропонується здійснювати за рекомендаціями ДСТУ 3004-95 [5]: 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 ЗУ 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 ЗУ із заданою імовірністю P , необхідно розрахувати та побудувати довірчі інтервали таким чином, щоб дійсні значення параметру X не виходили за межі інтервалу ε . Тобто повинна виконуватись нерівність [5]

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

де α – функція двох аргументів t_a та n , яка визначається як $\alpha = 2 \int_0^{t_a} S^n(t) dt$; σ – 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 σ необхідно використовувати незміщені оцінки математичного очікування m_x та дисперсії σ_x^2 [3]

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

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 ЗУ. 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: $X_{ад}$ – граничне значення параметра X ; ε – довірчий інтервал, розрахований за (5); t_ζ та $t_{i\delta i\bar{a}}$ – 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 відомих 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 терміни технічної придатності ЗУ більш, ніж на 5 років, тобто $t_{i\delta i\bar{a}} \leq 5$ років. Це обумовлено тим, що процеси фізичного старіння складових частин, особливо таких, що містять матеріали спеціальної хімії, у ряді випадків є нелінійними та мають нестаціонарний 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 ($X_{ад}$), тобто $t_{i\delta i\bar{a}} = t_\zeta$ (рис. 1).

Термін технічної придатності ЗУ ($t_{n\text{prod}}$) пропонується визначати як

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

Таким чином, для визначення моменту початку масових відмов із заданою імовірністю, запропоновано підхід до обґрунтування терміну технічної придатності ЗУ та їх складових частин на основі моделі із аргументом, що запізнюється.

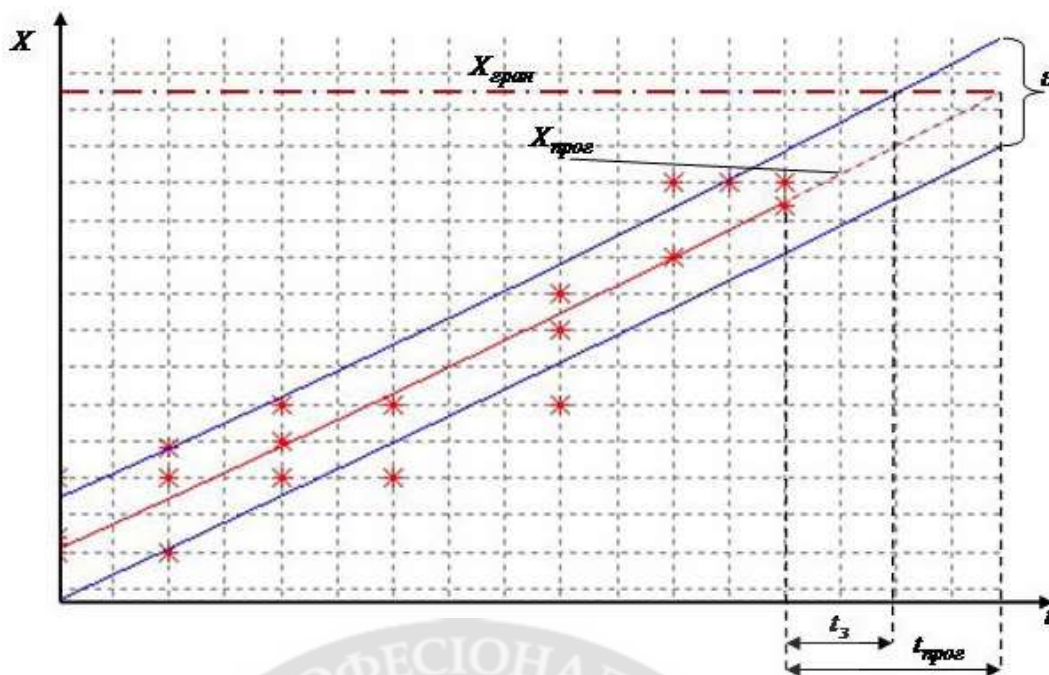


Рис. 1. Прогнозування технічного стану засобу ураження по параметру X із заданою імовірністю 0,85 та визначення для нього t_3

Висновки. Методика, що запропонована в статті дозволяє з заданою достовірністю враховувати технічний стан і надійність засобів ураження, на основі отриманих даних за результатами контрольних перевірок в період експлуатації.

З результатів досліджень отриманих в даній статті можна зробити наступні висновки:
 довірчий інтервал не перетинає граничні значення допуску параметру в межах заданого терміну прогнозу;
 довірчий інтервал перетинає граничні значення допуску параметру в межах терміну прогнозу.

Однак досвід виконання досліджень підприємствами промисловості та науково-дослідними установами України доводить, що недоцільно продовжувати терміни технічної придатності ЗУ більш, ніж на 5 років, тобто $t_{прог} \leq 5$ років.

ЛІТЕРАТУРА:

1. 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.
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. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 524с.
4. Ковтуненко А. П. Основы анализа сложных технических систем. Теория и приложения: Монография / А. П. Ковтуненко, В. В. Зубарев. – К.: НАУ, 2009. – 483 с.
5. ДСТУ 3004-95 “Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними” – К.: Держстандарт України, 1995.

REFERENCES:

1. Zubarev V.V., Kovtunencko A. P., Raskin L.G. (2005). Mathematical methods for assessing and forecasting the technical performance indicators electronic systems. [Monograph], Kyiv, Book publishing house NAU, 184 p. (In Russian).

2. Korostelev O.P., Ljubarec A. A., Mamontov V.K. (2010). Forecast the longevity of managed aviation means of destruction in Ukraine. [Technological systems no.4(53)], Kyiv, VAT“Ukrainian Scientific Research Institute of aviation technology”, ZAT “Company “Industrial technologies”, pp. 10-15 (In Russian).

3. Gnedenko B.V., Belyaev Y.K., Soloviev A.D. (1965) Mathematical methods in reliability theory. [Nauka], Moscow, Akademizdatcenter “Nauka” RAN, 524 p. (In Russian).

4. Kovtunencko A.P. Zubarev V.V. (2009) Framework for the analysis of complex technical systems. Theory and applications. [Monograph], Kyiv, Book publishing house NAU, 483 p. (In Russian).

5. DSTU 3004-95 “The reliability of the technology. Methods of evaluation of reliability for the experimental data” (1995) [Government standard of Ukraine], Kyiv, DSTU, (In Ukrainian).

Рецензент: д.т.н., проф. Зубарєв В.В., головний науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України

д.т.н., проф. Шишанов М.О., к.т.н. Любарєц А.А., к.т.н. Шатров А.М., Горбачевский С.А.
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРОКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРИГОДНОСТИ СРЕДСТВ УНИЧТОЖЕНИЯ,
НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ С ЗАПАЗДЫВАЮЩИМ АРГУМЕНТОМ**

Возможности продления определенных показателей средств уничтожения устанавливаются по результатам выполнения всей работы, в частности оценки и прогнозирования на продолжительный период надежности.

Надежность является неотъемлемой чертой, которая, в зависимости от назначения образца и условий его использования, содержит набор свойств: время безотказной работы, долговечность и ремонтпригодность.

При этом решающим фактором выбора надежности для решения проблем оценки ухудшения технического состояния средств уничтожения является ее свойство различаться во времени в зависимости от первоначальных свойств образца и условий эксплуатации. Для решения проблемы было использовано априорную гипотезу относительно устойчивости потока сбоев во время нормальной (эффективной) эксплуатации системы.

В статье изложены результаты исследований о возможности определения срока технической пригодности к использованию средств уничтожения с заданной точностью на основе модели надежности с запаздывающим аргументом.

Ключевые слова: граничные условия, средства уничтожения, интенсивность отказов, модель надежности с запаздывающим аргументом.

Prof. Shishanov M.O., Ph.D. Ljubarec A.A., Ph.D. Shatrov A.M., Horbachevskii S.A.
**THE DEFINITION OF THE LINE TECHNICAL FEASIBILITY MEANS DESTRUCTION,
ON THE BASIS OF RELIABILITY MODELS WITH RETARDED ARGUMENT**

Possible extension of certain indicators means of destruction are set according to the results of the entire work, in particular the assessment and prediction of reliability for a long period.

Reliability is an integral feature of which, depending on the destination-pattern and the conditions for its use, contains a set of properties: uptime, durability and maintainability.

When you do this, the decisive factor in choosing to tackle the problems of reliability evaluation of deterioration of means of destruction is its property vary in time depending on the initial properties of the sample, and operating conditions. To solve the problem was used a priori hypothesis regarding the stability of the stream of failures during normal (effective) operating system.

The article describes the results of studies on the possibility of defining a string of technical suitability for use of means of destruction with precision on the basis of reliability models with retarded argument.

Keywords: boundary conditions, means of destruction, AFR, model reliability with retarded argument.