

УДК 519.2-623.1/7



О. О. П'явчук



П. М. Яблонський



П. В. Опенько



В. П. Диптан

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗБЕРІГАННЯ АвіАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ДИФУЗІЙНО-НЕМОНОТОННОГО РОЗПОДІЛУ ЇХ ВІДМОВ

*Побудовано математичну модель зберігання авіаційних засобів ураження із застосуванням дифузійно-немонотонного розподілу їх відмов. Установлено залежність коефіцієнта технічного використання від масштабу і форми дифузійно-немонотонного закону розподілу, періодичності проведення технічного обслуговування, достовірності контролю, тривалості відновлення виробу, що відмовив.*

***Ключові слова:** авіаційні засоби ураження, відмова, коефіцієнт технічного використання, дифузійно-немонотонний розподіл, достовірність контролю, технічне обслуговування.*

**Постановка проблеми.** Сучасний етап функціонування Збройних Сил України, як і багатьох інших країн світу, характеризується наявністю у складі їх озброєння і військової техніки значної кількості авіаційних засобів ураження (АЗУ), ресурсні показники яких вичерпані або перебувають на етапі завершення. При цьому переважна більшість із них були розроблені й виготовлені у Радянському Союзі, після розпаду якого їх розробники і виробники опинилися за кордоном, в основному в Російській Федерації. Як наслідок – авторський нагляд на території України припинив здійснюватися з кінця 1991 р., а система забезпечення справності фактично не стала існувати. Це призвело до того, що АЗУ поступово вичерпали не тільки гарантійні, а й призначені ресурсні показники (терміни служби, терміни зберігання), унаслідок чого подальша їх експлуатація мала бути припинена, перш за все з міркувань безпеки.

Водночас після вчинення широкомасштабної агресії Російською Федерацією в Україну надходить військово-технічна допомога від зарубіжних країн-партнерів, зокрема й АЗУ, які необхідно зберігати, обслуговувати та відновлювати у разі їх несправності.

Таким чином, ситуація, що склалася, вимагає прийняття обґрунтованого системно-концептуального рішення щодо забезпечення Збройних Сил України справними АЗУ. При цьому на першому місці – питання підтримання

справності АЗУ та їх відновлення. Зазначені обставини потребують вирішення актуального наукового завдання, сутність якого полягає у розробленні методики підвищення ефективності технічного обслуговування АЗУ на стадіях життєвого циклу «використання» та «підтримка» [1], а саме визначення оптимального періоду проведення технічного обслуговування АЗУ, у яких ресурсні показники вичерпані або перебувають на етапі завершення. Вирішити це питання пропонується за допомогою побудови математичної моделі експлуатації АЗУ, що відповідає стадіям життєвого циклу «використання» та «підтримка», із застосуванням при цьому дифузійно-немонотонного закону розподілу їх відмов.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Уперше математичну модель технічної експлуатації виробів для напівмарковського випадкового процесу розробив відомий учений у галузі теорії надійності І. Б. Герцбах у праці [2]. За модель відмов виробів, що зберігаються, він вибрав гамма-розподіл, який досить добре описує зношення механічних виробів. У випадку експлуатації (зберігання) АЗУ є певна особливість, а саме: у разі тривалого зберігання АЗУ інформація про їхній технічний стан не надходить. При цьому на стадіях життєвого циклу «задум» та «розроблення», як правило, показником ефективності експлуатації АЗУ вибирається коефіцієнт технічного використання. Наразі державними стандартами

© О. О. П'явчук, П. М. Яблонський, П. В. Опенько, В. П. Диптан, 2022

України [3–6] для опису моделі відмов передбачено використання таких законів розподілу: експоненціальний, логарифмічно-нормальний, закон Вейбула, а також дифузійно-монотонний (ДМ) і дифузійно-немонотонний (ДН) закони розподілу тощо. Для виробів електронної природи рекомендуються до застосування експоненціальний і ДН-розподіли. Експоненціальний закон розподілу можливо використовувати під час експлуатації виробів протягом так званого нормального періоду експлуатації, коли інтенсивність відмов залишається постійною. Зрозуміло, що коли настає старіння техніки, інтенсивність відмов зростає з часом, а це означає, що експоненціальний закон уже не може бути моделлю відмов. Крім того, у статті [7] показано, що для високонадійних виробів середній наробіток на відмову у разі використання експоненціальної моделі відмов суттєво перевищує аналогічну оцінку для двопараметричних законів, які більш адекватно описують реальний процес експлуатації.

Для АЗУ встановлена регламентована стратегія технічної експлуатації [8]. Ця стратегія ще називається ресурсною (планово-попереджувальною) стратегією [9, 10]. За такою стратегією встановлюється жорстка періодичність проведення регламентних робіт. Вона є досить зручною для планування організаторами експлуатації та ремонту (технічних обслуговувань).

Зазвичай за календарним принципом технічне обслуговування (ТО) проводять на АЗУ, які зберігаються, або коли інтенсивність зносу залежить в основному від тривалості його зберігання.

Аналізуючи процес експлуатації (зберігання) АЗУ, що відповідають стадіям життєвого циклу «використання» та «підтримка», будемо вважати за необхідне виділити питання визначення раціональної періодичності й оптимальних режимів ТО та ремонту (відновлення).

Під час огляду стану експлуатації (зберігання) АЗУ необхідно згадати наукові доробки вчених, що працюють у цьому напрямі і вплинули на вдосконалення системи технічної експлуатації та ремонту.

Серед іноземних публікацій можна виділити праці таких дослідників, як В. S. Dhillon [11, 12, 13], Heinz P. Bloch та Fred K. Geitner [14], Wallace R. Blischke та D. N. Prabhakar Murthy [15], Lindley Higgins та Keith Mobley [16, 17] і

багатьох інших. Майже у кожній науковій праці, в якій розглядаються питання підвищення рівня технічної експлуатації, автори пропонують свій метод визначення оптимальних (раціональних) режимів проведення ТО і ремонтів. Метою всіх цих методів є оптимізація часу постановки техніки в ТО і ремонт, визначення необхідних обсягів робіт для запобігання передчасному виходу з ладу, а також зведення до мінімуму всіх витрат, пов'язаних з її експлуатацією.

Науковець А. Н. Максименко [18] пропонує методику планування технічної експлуатації машин з урахуванням процесу старіння і діагностування. Дослідник Д. Ю. Макацарія [19] установив кількісні залежності зміни коефіцієнта технічного використання залежно від напрацювання з початку експлуатації техніки, а також запропонував методи визначення техніко-економічних показників та ефективності використання техніки з урахуванням цього коефіцієнта.

Визначення технічного стану і прогнозування ресурсу вузлів і агрегатів машин з використанням імовірнісного методу широко розкриті у дослідженні Н. Г. Гринчара [20].

Оптимізувати періодичність А. М. Шейнін [21, 22] пропонує шляхом забезпечення необхідного рівня безвідмовності між ТО. Оптимізація відбувається на основі обліку витрат на ТО, ремонти та необхідні запасні частини залежно від рівня надійності техніки.

Коригувати періодичність залежно від інтенсивності експлуатації, що характеризується середньорічним пробігом, запропонував В. О. Степаненко [23]. У розрахунок визначення періодичності він вводить поправковий коефіцієнт темпу зношування залежно від середньорічного напрацювання.

З великої кількості розроблених методів визначення оптимальних режимів ТО і ремонтів нині найбільшої актуальності набувають методи, що безпосередньо враховують технічний стан об'єктів контролю.

Становлення теорії дослідження технічної експлуатації складних технічних систем з урахуванням оптимальної періодичності проведення регламентних робіт можна поділити на три етапи розвитку.

До першого етапу слід віднести теоретичні розробки Є. Ю. Барзиловича [24], який під час розроблення математичної моделі експлуатації авіаційної техніки враховував питання

оптимізації проведення регламентних робіт, та дослідження В. О. Каштанова [9], який довів, що проведення регламентних робіт через невідповідні періоди часу забезпечують максимальне значення коефіцієнта технічної готовності.

Науковець П. М. Яблонський [10] довів існування оптимального періоду проведення регламентних робіт у процесі моделювання технічного обслуговування авіаційної техніки за станом для експоненціального закону розподілу відмов з урахуванням помилок першого та другого роду, що можна віднести до другого етапу розвитку теорії.

На третьому етапі розвитку С. О. Пустовим [25] було застосовано статистичний метод моделювання технічної експлуатації авіаційних двигунів військового призначення з визначенням техніко-економічної ефективності експлуатації та показано збіжність оптимальних періодів проведення регламентних робіт, яка не перебільшує 5–7 % у широкому діапазоні зміни надійності окремих зразків. Застосування сучасних діагностичних засобів на 70–75 % прискорює процес технічного діагностування у порівнянні зі звичайними методами перевірки.

Таким чином, проведений аналіз засвідчив, що, незважаючи на наявність досить великої кількості напрацювань, на цей час актуальним залишається питання побудови математичної моделі, яка описує процес експлуатації (зберігання) АЗУ, в умовах невизначеності (за відсутності інформації про їхній технічний стан). Надалі це може бути використано організаторами виробництва та персоналом, який безпосередньо займається експлуатацією і застосуванням АЗУ на стадіях життєвого циклу «використання» та «підтримка», для встановлення ефективності зберігання АЗУ на складах, коли інформації про їхній технічний стан бракує.

**Метою статті** є побудова математичної моделі експлуатації (зберігання) авіаційних засобів ураження із застосуванням дифузійно-немонотонного закону розподілу на стадіях життєвого циклу «використання» та «підтримка».

**Виклад основного матеріалу.** У межах проведення підготовчого етапу до побудови математичної моделі експлуатації (зберігання) АЗУ було виконано таке:

– аналіз технічного стану та умов зберігання авіаційних засобів ураження у Повітряних Силах Збройних Сил України [26];

– визначено фактори, що впливають на

технічний стан авіаційних засобів ураження [27, 28];

– аналіз існуючого науково-методичного апарату, що використовується для оцінювання і контролю показників надійності авіаційних засобів ураження [29];

– визначено показники і критерії ефективності технічного обслуговування авіаційних засобів ураження [30];

– здійснено вибір математичного апарату проведення дослідження [31];

– обґрунтовано застосування ДН-розподілу як моделі відмов авіаційних засобів ураження [32].

У разі, якщо встановлено, що об'єкт зберігання містить елементи, які складаються з виробів електронної техніки (інтегральні мікросхеми, напівпровідникові пристрої, конденсатори тощо), або інші електротехнічні вироби, то для таких об'єктів за модель відмов найбільш відповідає застосування ДН-розподілу [32]. Крім того, ДН-розподіл – це єдина модель, яка дає змогу вирішувати практично всі задачі надійності. Дещо вужчий спектр вирішуваних задач мають ДМ-розподіл та експоненціальний розподіл.

Під час зберігання АЗУ інформація про їхній технічний стан не надходить, всю інформацію містить закон розподілу. Таким чином, якщо вдало підібрані параметри ДН-розподілу, то можна побудувати якісну модель експлуатації. Параметрами ДН-розподілу є параметр масштабу  $\mu$  і параметр форми  $\nu$ . Вважається, що параметр масштабу збігається із середньою швидкістю зміни визначального параметра, а параметр форми практично збігається з коефіцієнтом варіації цієї швидкості. Для двопараметричного ДН-розподілу математичне сподівання називають параметром масштабу, а коефіцієнт форми – параметром форми. На рисунку 1 схематично зображено модель експлуатації АЗУ у разі тривалого зберігання.

Позначення, використані на рис. 1:  $T$  – період проведення регламентних робіт;  $t_k$  – тривалість перевірки об'єкта контролю (ОК);  $t_n$  – тривалість проведення профілактичних робіт на ОК;  $t_{\theta}$  – тривалість повного відновлення ОК.

Стрілки на рис. 1 показують напрями переходів і тривалості перебування виробу у попередньому стані  $i = \overline{1,5}$  перед переходом до наступного стану  $j = \overline{1,5}$ .

На рисунку 2 наведено граф переходів для ідеальної системи експлуатації.

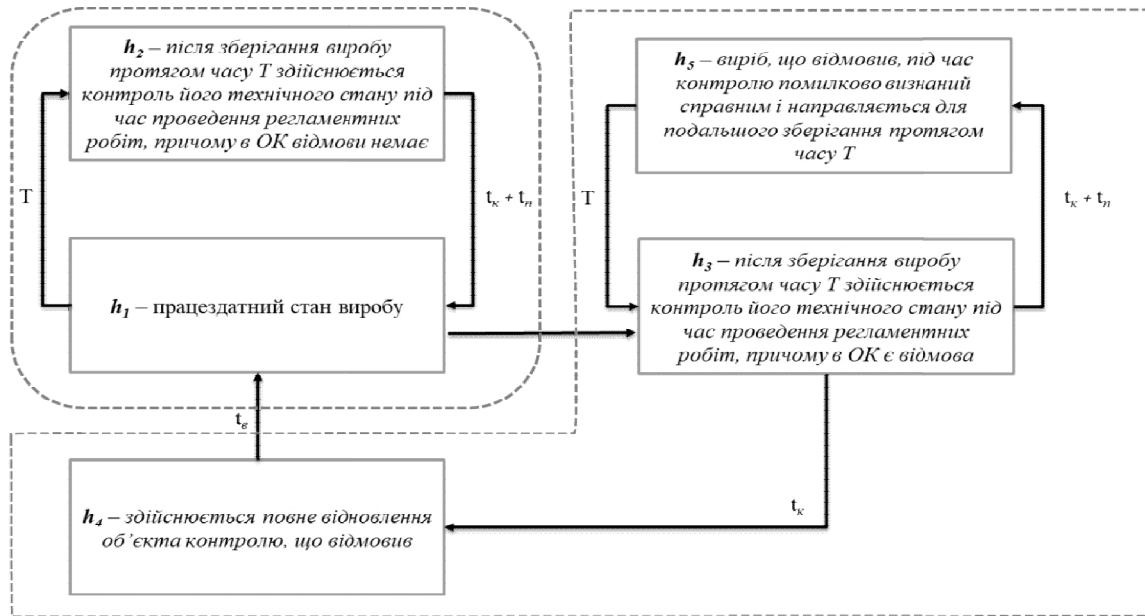


Рисунок 1 – Схематичне зображення моделі експлуатації АЗУ, що зберігаються

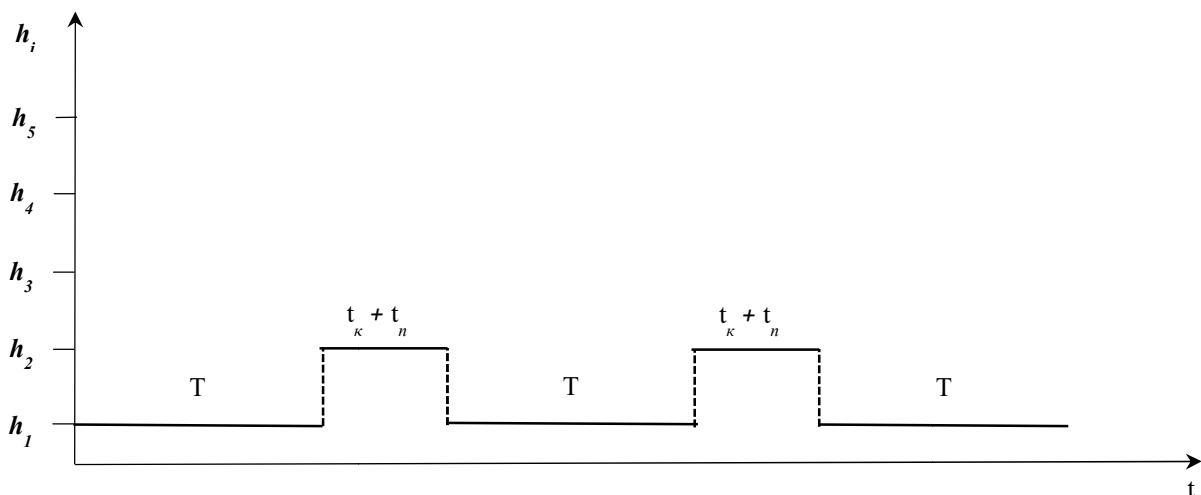


Рисунок 2 – Граф переходів для ідеальної системи експлуатації

Після зберігання впродовж часу  $T$  у виробі здійснюється контроль його технічного стану протягом часу  $t_k$  і виконуються профілактичні заходи тривалістю  $t_n$ , а далі процес багатократно повторюється.

Граф можливих переходів, що притаманний для реальної системи експлуатації, зображено на рис. 3.

Для реальної системи експлуатації необхідно враховувати можливі відмови механічних виробів. Випадковість процесу експлуатації полягає у тому, що під час зберігання може статися відмова (зміна механічних властивостей матеріалів), яка не буде встановлена під час контролю технічного стану (такий час  $T$  на рис. 3 позначений подвійним пунктиром). Наприклад, після терміну зберігання, який триває  $T$  годин, проводиться перевірка

технічного стану протягом  $t_k$ . Під час перевірки може бути прийнято правильне рішення, і виріб буде відправлено на відновлення, яке триває  $t_n$  годин. У моделі прийнято припущення про повне відновлення несправного виробу. Такий процес пропонується описувати за допомогою напівмарковського випадкового процесу. Особливістю такого процесу є те, що функція розподілу тривалості переходу  $F_{ij}(t)$  зі стану  $i$ , де  $i = \overline{1,5}$ , до стану  $j$ , де  $j = \overline{1,5}$ , може бути довільною. Це означає, що перехід зі стану, наприклад,  $h_1$  до стану  $h_2$ , або до стану  $h_3$  може відбуватися через невідповідний інтервал часу  $T$ . Така особливість у межах марковського процесу принципово неможлива, тому що функція розподілу тривалості переходу зі стану  $h_i$  до стану  $h_j$  повинна бути експоненціальною.

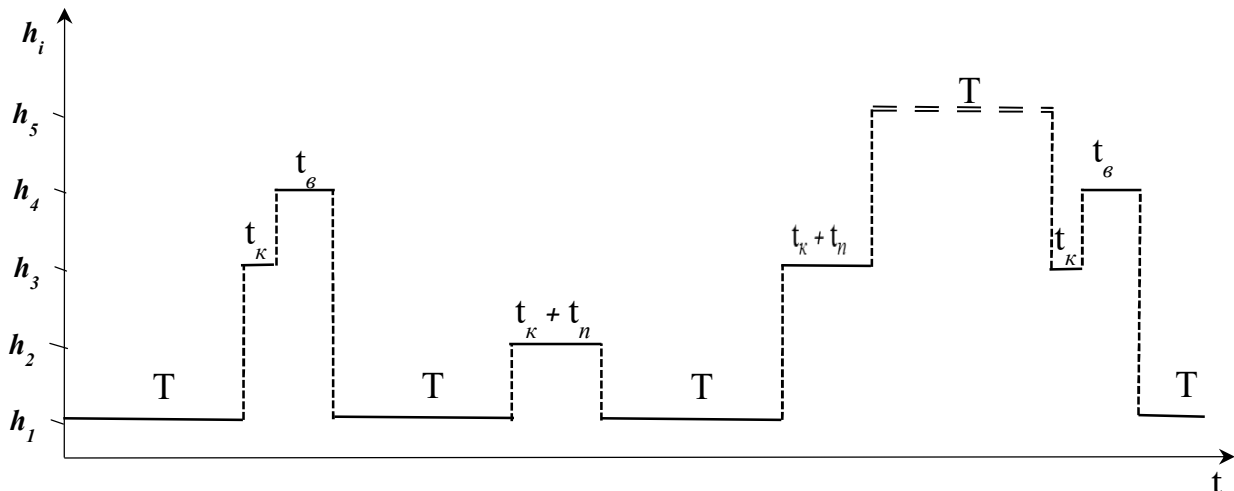


Рисунок 3 – Граф можливих переходів, що притаманний для реальної системи експлуатації

Процес експлуатації (зберігання) можна подати випадковим процесом, що відбувається у моделі, як показано на рис. 1. Доцільним є припущення, що у початковий момент часу  $t_0$  виріб перебуває у справному стані  $h_1$ . Далі починається реалізація випадкової траєкторії його поведінки. Причому під випадковістю будемо розуміти момент його відмови. Перехід із стану  $h_i$  до стану  $h_j$  відбувається відповідно до значень матриці переходів  $P(T)$ :

$$P(T) = \begin{pmatrix} 0 & 1-F(T) & F(T) & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{не} & 1-d_{не} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де  $F(T)$  – функція розподілу часу безвідмовної роботи виробу;

$d_{не}$  – імовірність правильного визначення несправного стану виробу.

Із матриці (1) випливає, що сума ймовірностей по будь-якому її рядку дорівнює одиниці. Крім того, на рис. 1 можна побачити, що всі стани моделі між собою мають сполучення, тобто поглинаючих станів або станів джерела бракує. Відсутність нетранзитивних станів є необхідною умовою ергодичності моделі процесу експлуатації виробів. При цьому достатньою умовою ергодичності є скінченність часу перебування у кожному із станів поданої моделі, що забезпечується відповідними чисельними значеннями параметрів законів розподілу перебування у станах моделі та перевіряється під час розрахунків.

Для ДН-розподілу функція розподілу часу безвідмовної роботи має вигляд

$$F(t) = DN(t, \mu, \nu) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\nu\sqrt{\mu t}}\right) + \exp[2\nu^{-2}] \Phi\left(-\frac{t+\mu}{\nu\sqrt{\mu t}}\right), \quad (2)$$

де  $\mu$  – параметр масштабу;

$\nu$  – параметр форми;

$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$  – функція Лапласа.

Для стаціонарного випадкового процесу можна визначити коефіцієнт технічного використання  $K_{ТВ}$  у вигляді [1]:

$$K_{ТВ} = \frac{\sum_{i=1}^5 \omega_i(T) \cdot \pi_i(T)}{\sum_{i=1}^5 \xi_i(T) \cdot \pi_i(T)}, \quad (3)$$

де  $\omega_i(T)$  – середній час перебування ОК у справних станах;

$\xi_i(T)$  – середній час перебування ОК у будь-яких станах моделі;

$\pi_i(T)$  – частота потрапляння вкладеного марковського ланцюга до стану  $h_i$ , де  $i = \overline{1,5}$ .

Частота  $\pi_i(T)$  визначається з рівняння

$$\begin{cases} \bar{\pi}(T) = \bar{\pi}(T) \cdot P(T), \\ \sum_{i=1}^5 \pi_i(T) = 1. \end{cases} \quad (4)$$

У рівнянні (3) через  $\bar{\pi}(T)$  позначено вектор, що для поданої моделі містить п'ять компонент, тобто:

$$\bar{\pi}(T) = (\pi_1(T), \pi_2(T), \pi_3(T), \pi_4(T), \pi_5(T)).$$

Після підстановки матриці (1) у рівняння (4) отримаємо таку систему рівнянь:

$$\begin{cases} \pi_1(T) = \pi_2(T) + \pi_4(T), \\ \pi_2(T) = (1 - F(T)) \cdot \pi_1(T), \\ \pi_3(T) = F(T) \cdot \pi_1(T) + \pi_5(T), \\ \pi_4(T) = d_{не} \cdot \pi_3(T), \\ \pi_5(T) = (1 - d_{не}) \cdot \pi_3(T), \\ \sum_{i=1}^5 \pi_i(T) = 1. \end{cases} \quad (5)$$

Розв'язком системи (5) буде:

$$\begin{cases} \pi_1(T) = C \cdot d_{не}, \\ \pi_2(T) = C \cdot d_{не} \cdot (1 - F(T)), \\ \pi_3(T) = C \cdot F(T), \\ \pi_4(T) = C \cdot F(T) \cdot d_{не}, \\ \pi_5(T) = C \cdot (1 - d_{не}) \cdot F(T), \end{cases} \quad (6)$$

де  $C = [2 \cdot d_{не} - d_{не} \cdot F(T) + 2 \cdot F(T)]^{-1}$ .

Середній час перебування ОК у справному стані моделі із фізичних міркувань дорівнює:

$$\omega_1(T) = \int_0^T t \cdot dF(t) + T \cdot (1 - F(T)) = \int_0^T [1 - F(t)] dt. \quad (7)$$

Решта  $\omega_i(T)$  для  $i = 2, 3, 4, 5$  дорівнюють нулю, тому що в цих станах ОК не працює або перебуває у несправному стані. Середній час перебування ОК у різних станах із фізичних міркувань дорівнює:

$$\begin{aligned} \xi_1(T) &= T, \quad \xi_2(T) = t_k + t_n; \\ \xi_3(T) &= d_{не} \cdot t_k + (1 - d_{не}) \cdot (t_k + t_n); \quad \xi_4(T) = t_e; \\ \xi_5(T) &= T. \end{aligned} \quad (8)$$

Після підстановки величин  $\omega_i(T)$  із формули (7),  $\pi_i(T)$  із (6) та  $\xi_i(T)$  із (8) у рівняння (3) отримуємо формулу для коефіцієнта технічного використання:

$$K_{ме} = \frac{d_{не} \cdot \int_0^T (1 - F(t)) dt}{d_{не} T + (1 - F(T)) \cdot d_{не} (t_k + t_n) + F(T) \cdot (t_n - d_{не} \cdot t_n + t_k) + d_{не} \cdot F(T) \cdot t_e + (1 - d_{не}) \cdot F(T) \cdot T} \quad (9)$$

Після підстановки у формулу (9) виразу для функції ДН-розподілу (2) одержимо кінцевий вираз для коефіцієнта технічного використання:

$$K_{ме} = \frac{A}{B}, \quad (10)$$

$$\text{де } A = d_{не} \cdot \int_0^T \left( \Phi \left( \frac{\mu - t}{v \cdot \sqrt{\mu \cdot T}} \right) - e^{2v^{-2}} \cdot \Phi \left( -\frac{\mu + t}{v \sqrt{\mu \cdot T}} \right) \right) \cdot dt;$$

$$\begin{aligned} B &= d_{не} T + \left( \Phi \left( \frac{\mu - T}{v \cdot \sqrt{\mu \cdot T}} \right) - e^{2v^{-2}} \cdot \Phi \left( -\frac{\mu + T}{v \sqrt{\mu \cdot T}} \right) \right) \cdot d_{не} (t_k + t_n) + \\ &+ \left( \Phi \left( \frac{T - \mu}{v \cdot \sqrt{\mu \cdot T}} \right) + e^{2v^{-2}} \cdot \Phi \left( -\frac{\mu + t}{v \sqrt{\mu \cdot T}} \right) \right) \cdot (t_n - d_{не} \cdot t_n + t_k) + \\ &+ d_{не} \cdot \left( \Phi \left( \frac{T - \mu}{v \cdot \sqrt{\mu \cdot T}} \right) + e^{2v^{-2}} \cdot \Phi \left( -\frac{\mu + t}{v \sqrt{\mu \cdot T}} \right) \right) \cdot t_e + \\ &+ (1 - d_{не}) \cdot \left( \Phi \left( \frac{T - \mu}{v \cdot \sqrt{\mu \cdot T}} \right) + e^{2v^{-2}} \cdot \Phi \left( -\frac{\mu + t}{v \sqrt{\mu \cdot T}} \right) \right) \cdot T. \end{aligned}$$

Наступним етапом за формулою (10) будуть проведені розрахунки залежності коефіцієнта технічного використання від періодичності проведення ТО при різних значеннях достовірності контролю, параметра форми  $v$  та параметра масштабу  $\mu$ . Для визначення оптимальної періодичності проведення ТО буде взято похідну від виразу (9) по  $T$  чисельним методом, що дасть можливість графічно відобразити залежність коефіцієнта технічного використання і похідної від нього.

## Висновки

Таким чином, за результатами аналізу існуючого науково-методичного апарату, що використовується для оцінювання і контролю показників надійності авіаційних засобів ураження, проведеного підготовчого етапу дослідження було побудовано математичну модель експлуатації (зберігання) АЗУ, що містять електромеханічну основу та зберігаються встановленим порядком, із застосуванням ДН-розподілу на стадіях життєвого циклу «використання» та «підтримка».

При цьому для опису процесів, що відбуваються у математичній моделі, застосовується напівмарковський випадковий процес, за критерій ефективності технічної експлуатації АЗУ вибрано коефіцієнт технічного використання.

Побудована математична модель призначена для використання організаторами розробки, виробництва та персоналом, який безпосередньо займається експлуатацією і застосуванням АЗУ під час стадій «використання», «підтримка» для встановлення ефективності зберігання АЗУ у визначених місцях за відсутності інформації про їхній технічний стан.

Напрямами подальших наукових розвідок є дослідження можливостей проведення модернізації, подовження термінів експлуатації

тощо за результатами сумісної роботи виробників (розробників) щодо виявлення недоліків, відхилень, дефектів та відмов зазначених виробів військового призначення.

#### Перелік джерел посилання

1. ДСТУ В-П 15.004:2020. Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Стадії життєвого циклу озброєння та військової техніки. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2020. 43 с.
2. Герцбах И. Б. Модели профилактики. Москва : Сов. радио, 1969. 214 с.
3. ДСТУ 3942-2000 (ГОСТ 27.506-2000). Надійність техніки. Плани випробувань для контролю середнього наробітку до відмови (на відмову). Ч. 2. Дифузійний розподіл. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2001. 30 с.
4. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 1995. 129 с.
5. ДСТУ 3433-96. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 1996. 42 с.
6. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 1994. 90 с.
7. Стрельников В. П., Антипенко К. А. О методических погрешностях прогнозирования ресурса высоконадежных изделий электронной техники. *Математичні системи і машини*. 2004. № 3. С. 164–167.
8. Кіткік С. В., Громенко В. Ю., Авраменко О. В. Сучасний стан та умови експлуатації зенітного ракетного озброєння Повітряних Сил Збройних Сил України. *Труди університету*. Київ : НУОУ, 2019. № 4 (154). С. 45–52.
9. Каштанов В. А. Математические методы анализа экстремальных задач эффективности и надежности : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Москва : МИЭМ, 1976. 21 с.
10. Яблонский П. М., Мирненко В. И., Пустовой С. А., Бутенко Н. П. Зависимость показателей надежности электронных изделий от времени для диффузионно-немонотонного распределения отказов. *Оралдың ғылым жаршысы*. 2014. № 41 (120). (г. Уральск, Республика Казахстан). С. 29–36.
11. Dhillon B. S. Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance. Ottawa : Elsevier Science & Technology Books, 1999. 253 p.
12. Dhillon B. S. Engineering Design: A Modern Approach. Chicago : Richard D. Irwin, Inc., 1996. 284 p.
13. Dhillon B. S. Engineering maintenance: a modern approach. CRC Press., 2002. 224 p.
14. Bloch H. P., Geitner F. K. Major Process Equipment Maintenance and Repair. Houston, Texas : Gulf Publishing Company, 1996. 718 p.
15. Wallace R. Blischke, D. N. Prabhakar Murthy. Case studies in reliability and maintenance. A JOHN WILEY & SONS PUBLICATION, 2003. 691 p.
16. Lindley Higgins, Keith Mobley. Maintenance Engineering Handbook. McGraw-Hill Companies, 2002. 1297 p.
17. Keith Mobley, Lindley Higgins, Darrin J. Wikoff. Maintenance Engineering Handbook. Seven Edition. McGraw-Hill Companies, 2008. 1244 p.
18. Максименко А. Н. Исследование влияния условий эксплуатации и наработки на эффективность использования самоходных скреперов : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04. Омск, 1978. 175 с.
19. Макацария Д. Ю. Совершенствование методики оценки эффективности использования машин дорожной отрасли на основе критериев, учитывающих влияние их наработки и условия эксплуатации : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04. Могилев, 2009. 121 с.
20. Гринчар Н. Г. Методы и средства повышения эксплуатационной надежности гидроприводов машин : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.04. Новочеркасск, 2007. 35 с.
21. Шейнин А. М., Кривин А. П., Филиппов Б. И. Эксплуатация дорожных машин. Москва : Машиностроение, 1980. 334 с.
22. Эксплуатация дорожных машин : учеб. для вузов / А. М. Шейнин и др. ; под общ. ред. А. М. Шейнина. Москва : Транспорт, 1992. 382 с.
23. Степаненко В. О. Периодичности проведения ТО-1 и ТО-2. *Машиностроение*. 1977. № 2. С. 26.
24. Барзилович Е. Ю., Воскобоев В. Ф. Эксплуатация авиационных систем по состоянию. Москва : Транспорт, 1981. 198 с.
25. Пустовой С. О., Яблонский П. М., Опенько П. В. Экономико-математическая модель технического обслуживания образцов вооружения и военной техники по состоянию для диффузионно-немонотонного распределения



отказов. *Економика и предпринимательство*. 2013. № 8. С. 436–449.

26. Диптан В., Опенько П., Яблонський П., П'явчук О. Обґрунтування продовження термінів служби (зберігання) авіаційних засобів ураження без зниження рівня безпеки експлуатації та показників якості. *Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи* : матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф., м. Одеса, 22 жовт. 2021 р. Одеса : Військова академія, 2021. С. 31–32.

27. Диптан В., Авраменко О., Поліщук В., П'явчук О. Визначення впливу основних факторів, які впливають на експлуатацію військової техніки Повітряних Сил та пошук напрямів, що використовуються для підвищення ефективності її експлуатації. *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє* : матеріали XVI Міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 27 листоп. 2020 р. Київ : ВІКНУ ім. Тараса Шевченка, 2020. Т. 1. С. 24, 25.

28. Фактори, які впливають на надійність авіаційних засобів ураження під час експлуатації та зберігання / В. Мірненко та ін. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я* : матеріали XXXIV Міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 18-20 трав. 2021 р. Харків : НТУ «ХПШ», 2021. С. 139.

29. П'явчук О., Диптан В., Авраменко О., Опенько П. Вибір показника ефективності технічного обслуговування авіаційних засобів ураження. *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє* : матеріали XVII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 26 листоп. 2021 р. Київ : ВІКНУ ім. Тараса Шевченка, 2021. Т. 1. С. 81.

30. Актуальні питання математичного моделювання процесів експлуатації зразків складних технічних систем військового призначення за технічним станом з урахуванням ступеня їх старіння / П. Опенько та ін. *Актуальні проблеми підготовки, застосування Збройних Сил України, управління ними, їх логістичного забезпечення та підтримки* : матеріали наук.-практ. конф., м. Київ, 18 верес. 2021 р. Київ : ЦНДІ ЗСУ, 2021. С. 421–424.

31. Диптан В., Опенько П., Яблонський П., П'явчук А. Выбор закона распределения отказов для авиационных средств поражения. *The second Karabakh war as a new generation warfare : The proceedings of the international scientific-practical conference, October 21-22, 2021, Baku, Azerbaijan*. P. 65–68.

32. Обґрунтування застосування дифузійно-немонотонного розподілу у якості моделі відмов авіаційних засобів ураження / В. Диптан та ін. *Повітряна міць України*. 2021. Вип. 1 (1). С. 70–72.

*Стаття надійшла до редакції 25.08.2022 р.*

UDC 519.2-623.1/7

**O. Piavchuk, P. Yablonskyi, P. Openko, V. Dyptan**

### **MATHEMATICAL MODEL OF STORAGE OF AVIATION WEAPONS USING DIFFUSION-NONMONOTONIC DISTRIBUTION OF THEIR FAILURES**

*The modern stage of the functioning of the Armed Forces of Ukraine, like many other countries of the world, is characterized by the presence of a significant number of aviation means of attack in their armament and military equipment, the resource indicators of which have been exhausted or are at the stage of completion. At the same time, the vast majority of them were developed and manufactured in the Soviet Union, after the collapse of which their developers and manufacturers were abroad, mainly in the Russian Federation. As a result, copyright supervision on the territory of Ukraine ceased to be carried out at the end of 1991, and the system of ensuring serviceability actually ceased to exist. This led to the fact that aviation means of destruction gradually exhausted not only the warranty, but also the designated resource indicators (service terms, storage terms), as a result of which their further operation should be stopped, first of all, for safety reasons.*



*At the same time, after the large-scale aggression of the Russian Federation, Ukraine received military and technical assistance from foreign partner countries, including aviation weapons, which must be stored, maintained and restored in case of malfunction.*

*Thus, the current situation requires a well-founded decision to provide the Armed Forces of Ukraine with serviceable aviation means of attack. At the same time, the issue of maintaining the serviceability of aviation means of destruction and their restoration comes to the fore.*

*The article describes a mathematical model of the process of operation (storage) of aviation weapons containing an electromechanical basis, with the application of the diffusion-nonmonotonic law of distribution at the "use" and "maintenance" stages of the life cycle.*

*At the same time, to describe the processes taking place in the mathematical model, a semi-Markov random process is used, and the coefficient of technical use is chosen as a criterion for the efficiency of the technical operation of aviation weapons.*

*The dependence of the coefficient of technical use on the scale and form of the diffusion-nonmonotonic distribution law, the periodicity of technical maintenance, the reliability of control, and the duration of the restoration of the failed product was established.*

**Keywords:** *aviation means of defeat, failure, coefficient of technical use, diffusion-nonmonotonic distribution, reliability of control, maintenance.*

**П'явчук Олександр Олександрович** – ад'юнкт кафедри логістики Повітряних Сил інституту авіації та протиповітряної оборони Національного університету оборони України імені Івана Черняховського

<https://orcid.org/0000-0002-5623-1866>

**Яблонський Петро Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри логістики Повітряних Сил інституту авіації та протиповітряної оборони Національного університету оборони України імені Івана Черняховського

<https://orcid.org/0000-0003-2651-4299>

**Опенько Павло Вікторович** – кандидат технічних наук, старший дослідник, начальник науково-дослідного відділу інституту авіації та протиповітряної оборони Національного університету оборони України імені Івана Черняховського

<https://orcid.org/0000-0001-7777-5101>

**Диптан Валентин Петрович** – кандидат військових наук, начальник кафедри логістики Повітряних Сил інституту авіації та протиповітряної оборони Національного університету оборони України імені Івана Черняховського

<https://orcid.org/0000-0003-0286-7460>