

# ІННОВАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У ГАЛУЗЯХ АВІАЦІЇ, АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ, РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, РАДІОТЕХНІКИ, ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ ТА АСУ, А ТАКОЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

DOI 10.33099/2786-7714-2023-1-4-63-66

УДК 621.03.9

<sup>1</sup>Климчук Володимир Павлович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-8940-8883>

<sup>2</sup>Бутенко Микола Пилипович

<https://orcid.org/0000-0001-7272-5826>

<sup>2</sup>Іванов Василь Іванович

<https://orcid.org/0000-0002-1963-1991>

<sup>2</sup>Косков Юрій Максимович

<https://orcid.org/0000-0003-4707-9898>

<sup>2</sup>Яблонський Петро Михайлович (кандидат технічних наук, доцент)

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

<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний університет оборони України, Київ, Україна

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДОРОБОК АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Авіаційна техніка за час життєвого циклу, який може тривати декілька десятиліть, постійно удосконалюється. При цьому виникає потреба оцінити ефективність її доопрацювання. В сучасній науково-технічній літературі цьому питанню приділяється недостатньо уваги. В зв'язку з цим у статті пропонується один з можливих підходів до вирішення такої задачі. У статті застосовується поняття теорії перевірки статистичних гіпотез, а також теорії толерантних оцінок. Отримані результати можуть бути основою для вирішення вказаної задачі для відомої функції розподілу часу до відмови. В подальшому планується здійснити перевірку гіпотези про ефективність доробок апаратури при вейбулівському, а також для логарифмічно нормального розподілу часу безвідмовної роботи.

**Ключові слова:** доробки, гіпотеза ,альтернатива, Вейбулівський розподіл, безвідмовність, критерій ефективності.

### Вступ

Методи визначення показників надійності та ефективності обладнання авіаційної техніки вибираються залежно: від цілей розрахунку та вимог до точності визначення показників надійності обладнання; наявності та/або можливості отримання вихідної інформації, необхідної для застосування певного методу розрахунку; рівня відпрацьованості конструкції та технології виготовлення зразка, системи його технічного обслуговування та ремонту, що дозволяє застосовувати відповідні розрахункові моделі надійності.

Метою статті є оцінка ефективності доопрацювання авіаційної техніки із застосуванням поняття теорії перевірки статистичних гіпотез, а також теорії толерантних оцінок.

### Матеріали та методи

У даному дослідженні застосовуються наукові методи аналізу та синтезу.

### Результати

У технічній літературі пропонується кілька методів визначення показників ефективності та надійності обладнання складних технічних систем:

методи прогнозування, структурні методи, фізичні методи, логіко-ймовірний метод, топологічний метод [1–5].

1. Методи прогнозування [1–5] засновані на використанні для оцінки очікуваного рівня ефективності та надійності обладнання зразків авіаційної техніки та даних про досягнуті значення та виявлені тенденції зміни показників надійності (ПН) об'єктів-аналогів (ідентичного або допрацьованого обладнання, принципів дії, схемно) -конструктивної побудови, технології виготовлення, елементної бази, конструкційних матеріалів, що застосовуються, умов і режимів експлуатації, принципів і методів управління), за допомогою яких складається прогноз або план. Методи прогнозування об'єднуються у такі великі групи: прогнозування з часових рядів (методи екстраполяції); прогнозування за допомогою економікоматематичних моделей та прогнозування на основі експертних оцінок.

2. Структурні методи [1–5] оцінки ефективності та надійності є основними методами розрахунку показників ефективності та надійності в процесі проектування технічних систем, що піддаються

розукрупненню на елементи (окреме обладнання), техніко-економічні та надійні характеристики, які в момент проведення розрахунків відомі або можуть бути визначено іншими методами.

3. Фізичні методи оцінки ефективності та надійності ґрунтуються на застосуванні математичних моделей, що описують фізичні, хімічні та інші процеси, що призводять до відмови обладнання у зразках авіаційної техніки (до досягнення ними граничного стану), та обчисленні показників ефективності та надійності за відомими параметрами [1–5].

4. Топологічний метод оцінки ефективності та надійності (метод ненаправлених графів) заснований на використанні математичного апарату Марківських процесів (імовірність знаходження системи в будь-якому стані та в майбутньому, яка не залежить від минулих станів технічної системи за А. Марковим). Застосовується до розрахунку ймовірностей станів складних технічних систем [1–5].

5. Логіко-імовірнісний метод [5] полягає в описі блоксхеми технічної системи за допомогою апарату математичної логіки з подальшим використанням теорії ймовірностей щодо характеристик надійності.

Виявлено основні переваги та недоліки методів оцінки ефективності та надійності авіаційної техніки.

Основними перевагами методів прогнозування є: простота застосування, наочність результатів, оскільки прогноз видається як чисельних значень параметра, легко реалізується з допомогою ЕОМ (Microsoft Excel); комплексний підхід до аналізованої ситуації; маючи моделлю системи, можна прогнозувати не тільки одно, найбільш ймовірне розвиток ситуації, а й програвати різні сценарії і цим вибирати найрезультативніші варіанти поведінки; системний підхід (враховується взаємодія всіх факторів та ступінь їх впливу на кінцевий результат); дозволяють використовувати під час розробки прогнозу практично всю доступну інформацію, зокрема і неформалізовану, невизначену чи неповну.

До недоліків методів прогнозування відносяться: обмежена сфера застосування (прогнозування підлягають лише кількісні показники, при цьому необхідно, щоб їх значення мали за досить тривалий минулий період); обмежений обрій прогнозування (методи точні в короткостроковий період); прогноз не може передбачати якісь значні якісні зміни прогнозованого показника (обсяг виробництва певного виду продукції, заміну технологічної схеми, яка дозволить значно розширити виробництво, появу нових видів продукції, які витіснять аналізований продукт із ринку тощо.); відповідні параметри повинні наводитися у порівнянних умовах; оскільки методи засновані на аналізі подій, що вже відбулися, то при виникненні невластивої ситуації не здатні забезпечити точний прогноз; в основному використовуються в економічній сфері (комерційна діяльність); практичне використання такого прогнозу утруднено, оскільки виробнича практика потребує точних даних, а приблизні оцінки неможливо знайти покладено основою рішення; висновки експертів можуть бути необ'єктивні та упереджені; вкрай висока вартість, що безпосередньо впливає з вимог

до високої кваліфікації експертів та використання досить складних організаційних процедур.

Перевагами структурних методів оцінки ефективності та надійності є: структурна схема ефективності та надійності технічної системи (технологічних ліній) створюється безпосередньо за функціональною діаграмою системи, що дозволяє скоротити кількість конструктивних помилок та/або систематичний опис функціональних шляхів технічної системи; методи придатні для різних видів технологічних систем, включаючи складні та комбіновані; придатні для повного аналізу варіантів за зміни параметрів ефективності технологічних ліній; дають компактні результати імовірнісних характеристик для системи загалом. До основних недоліків відносяться: не забезпечують повний аналіз несправностей (причинно-наслідковий зв'язок не визначається); вимагають наявності імовірнісної моделі ефективності кожного елемента діаграми; не дозволяють розрізнити навмисні та ненавмисні результати; спрямований, передусім, на аналіз працездатності системи та не поширюється на складні стратегії ремонту, технічного обслуговування чи загальний аналіз працездатності.

Основною перевагою фізичних методів є можливість прогнозування параметричних відмов обладнання у технологічних лініях на основі прискорених випробувань.

Недоліки фізичних методів: необхідність випробувань за умов багатонаменклатурного виробництва нових видів продукції; непередбачуваність катастрофічних відмов; відсутність моделей зв'язку показників якості та результатів аналізу відмов при доробках.

Перевагами топологічних методів є: - придатні для розрахунку ефективності та надійності технологічних ліній з великою кількістю станів (понад 100); простота обчислювальних алгоритмів; висока наочність графа; можливість наближених оцінок.

Недоліки: складності під час аналізу роботи складних технічних систем при обмеженій статистиці про відмови.

Перевагами логіко-можливих методів є: системний підхід; наочність одержаних результатів; компактні обчислення; докладний аналіз можливих параметрів та умов при експлуатації авіаційної техніки; недорогий метод.

Основними недоліками цього методу є: обмеження використання у разі потреби оперативної оцінки ефективності та надійності та при малій кількості відмов.

Проведений аналіз переваг та недоліків відомих методик комплексної оцінки ефективності та надійності зразків авіаційної техніки дозволив запропонувати методику оцінки ефективності доробок зразків авіаційної техніки в умовах малої кількості відмов, яка основана на використанні теорії толерантних оцінок. При оцінці ефективності доробок авіаційної техніки (АТ) одним з найбільш потужних методів є метод, заснований на статистичному експерименті. Основна ідея такого методу полягає у наступному:

- висувається гіпотеза про очікувані критерії

безвідмовності;

- проводяться випробування і узагальнюються їх результати;
- отримані дані порівнюються за обраним критерієм залежності;
- за результатами перевірки уточнюється запроваджена гіпотеза;
- приймається рішення про якість проведеного доопрацювання.

Суттєвою особливістю статистичного експерименту про ефективність доробки є те, що при випробуванні є можливість змінювати чинні фактори.

Існуючі методи випробувань, що засновані на зміні тільки одного чинника при незмінних інших, не відповідають реальним умовам експлуатації. Ця обставина є однією з причин недостатньої ефективності проведених доробок. При статистичному аналізі важливо правильно обрати критерій. При обранні критерію, зазвичай, враховуються наступні міркування:

- до надійності виробів висуваються кількісні вимоги;
- ефективність застосування апаратури значною мірою залежить від надійності;
- реалізація такого заходу вимагає певних матеріальних витрат.

При побудові критерію ефективності доробок будемо в основному орієнтуватися на інформацію, що отримана під час випробувань.

Будемо вважати, що початковою інформацією є сукупність двох виборок спостережень напрацювань до відмови виробів АТ до і після проведення доробок. Виборки спостережень є цензуруваними з цензуруванням другого роду, тобто має вигляд:

$$\begin{matrix} X_1, X_2, \dots, X_r, \dots, X_n \\ Y_1, Y_2, \dots, Y_s, \dots, Y_n \end{matrix} \quad (1)$$

де  $r$  і  $s$  – номери зареєстрованих відмов, при появі яких спостереження припиняються.

Загальне число виробів, що випробовуються до і після проведення доробок дорівнює  $n$  і  $m$  відповідно. Важливою характеристикою показника ефективності проведених доробок є середнє напрацювання на відмову (до відмови). В подальшому будемо оцінювати ефективність доробок шляхом аналізу цього показника, або величину, що однозначно з нею зв'язану. Вважається, що розподіл напрацювань виробів АТ до відмови має функцію розподілу з параметрами зсуву і масштабу. Будемо вважати, що доробка залишає без зміни параметр масштабу  $\theta_1$ , але змінює параметр зсуву  $\theta_0$  – величину, що тісно зв'язана з математичним очікуванням випадкової величини. Якщо розглядати випадкову величину  $\dot{X}$ , що може бути записана як [6, 8, 9]

$$X = \theta_{ox} + \dot{X}, \quad (2)$$

де  $\dot{X}$  – нормована випадкова величина.

При незмінному  $\theta_1$  збільшення  $\theta_0$  – еквівалентно збільшенню математичного очікування  $\mu(X)$  випадкової величини через залежність:

$$\mu(X) = \theta_{ox} + \theta_1 \cdot \mu(\dot{X}), \quad (3)$$

Якщо довести, що доробка була ефективною, то це означає збільшення параметру зсуву. Щоб довести ефективність доробки, потрібно довести значення розбіжності в параметрах зсуву двох виборок [10]

$$\begin{matrix} X_1, X_2, \dots, X_r, \dots, X_n \\ Y_1, Y_2, \dots, Y_s, \dots, Y_n \end{matrix}$$

Тобто потрібно довести розбіжність в параметрах зсуву спостережень, отриманих до і після проведення доробок. Потрібно здійснити перевірку гіпотези про ефективність доробок, що проводяться на výroбах авіаційної техніки, визначаючи гіпотезу  $H: \theta_{ox} = \theta_{oy}$ , а альтернативою є твердження про збільшення  $\theta_{oy}$ , тобто  $K: \theta_{oy} > \theta_{ox}$ .

Якщо доробка була ефективною, то значення оцінок  $\theta_{ox}$  і  $\theta_{oy}$  повинні суттєво відрізнитися.

Тобто, якщо по спостереженням

$$\begin{matrix} X_1, X_2, \dots, X_r, \dots, X_n \\ Y_1, Y_2, \dots, Y_s, \dots, Y_n \end{matrix}$$

визначити значення, то можна запропонувати процедуру, метою якої є доведення факту розбіжності  $\theta_{ox}$  і  $\theta_{oy}$ , яка дозволяє стверджувати, що виборки  $X$  і  $Y$  не належать до однієї сукупності і відрізняються параметрами зсуву. Використання еквіваріантних оцінок дає можливість запровадити критерій для рішення поставленої задачі [7]:

$$V = \frac{\theta_{oy}^{\hat{}} - \theta_{ox}^{\hat{}}}{\theta_1^{\hat{}}} \quad (4)$$

де  $\theta_{ox}^{\hat{}}$ ,  $\theta_{oy}^{\hat{}}$ ,  $\theta_1^{\hat{}}$  – оцінки параметрів зсуву і масштабу, що отримані у відповідних виборках.

В термінах теорії толерантних  $P$  – меж вираз

$$\tau(x) = \theta_{ox}^{\hat{}} + \theta_1^{\hat{}} v(p), \quad (5)$$

є толерантною  $p$ - межею для випадкових величин  $\theta_{oy}^{\hat{}}$ , яка не буде перебільшена з ймовірністю  $p$ .

Для вказаної межі справедливим буде запис

$$P(\theta_{oy}^{\hat{}} < \theta_{ox}^{\hat{}} + \theta_1^{\hat{}} v(p)) = p, \quad (6)$$

Формула (3) є межею критичної області розміром  $1-p$ . Дійсно, якщо обрати рівень значень критерію  $V$  рівним  $\alpha = 1 - p$ , то перебільшення спостережень  $\theta_{oy}^{\hat{}}$  величини  $\theta_{ox}^{\hat{}} + \theta_1^{\hat{}} v(p)$  означає про розбіжність значень параметрів  $\theta_{ox}^{\hat{}}$  і  $\theta_{oy}^{\hat{}}$ . За гіпотезу обираємо ствердження про відсутність збільшення середнього напрацювання на відмову у виробів, що мали доробку.

Задача про перевірку гіпотез має вигляд: гіпотеза  $H: \theta_{oy}^{\hat{}} = \theta_{ox}^{\hat{}}$  – доробка не призвела до збільшення параметру зсуву, а значить і до середнього напрацювання на відмову доопрацьованого зразка техніки;

альтернатива  $K: \theta_{oy}^{\hat{}} > \theta_{ox}^{\hat{}}$  – доробка була успішною. Якщо справедлива альтернатива, то це повинно призвести до зростання альтернативи  $V$ , а це дозволяє обрати критичну область, в якій гіпотеза бракується, якщо  $V > C$ , де  $C$  знаходиться з умови обмеження помилок першого роду.

## Висновки

У роботі запропонована методика оцінки ефективності доробок АТ із застосуванням теорії толерантних границь. Основою для прийняття рішення про ефективність доробок є інформація двох виборок спостережень напрацювань до відмови виробів АТ до і після проведення доробок. Вважається, що розподіл напрацювань виробів АТ до відмови має функцію розподілу з параметрами зсуву і масштабу. Для оцінки ефективності доробок АТ потрібно довести значення розбіжності в параметрах зсуву двох виборок. Запропонована методика може застосовуватися для багатьох технічних систем з функцією розподілу Вейбула, яка рекомендована ДСТУ2869-94.

## Список використаних джерел

1. Рябінін, І.А. Надійність та безпека структурно-складних систем. - СПб: СПУ, 2007. - 276 с.
2. Конесев С.Г., Хазієва Р.Т. Методи оцінки показників надійності складних компонентів і систем // Сучасні проблеми

науки та освіти. - 2015. - № 1-1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17558>;

3. Грибов В.М. Оцінювання та прогнозування надійності бортового аерокосмічного обладнання. -М.: 2013.-508 с.
4. Труханов В.М., Матвєєнко А.М. Надійність складних систем всіх етапах життєвого циклу. Москва: ТОВ Видавничий дім«Спектр» 2012; 663.
5. Надійність та ефективність у техніці: Довідник: У 10 т. / Ред. Порада: В.С. Авдудєвський (поперед.) та ін. - М.:Машинобудування, 1989. - Т. 6. - 376 с.
6. Закс Ш. Теория статистических выводов.-М.: Мир,1975-776 с.
7. Боровков А.А. Математическая статистика. Оценка параметров. Проверка гипотез. М.: Наука, 1984-472 с.
8. Капур Д. и др. Надежность и проектирование систем. М.: Мир,1980-476 с.
9. Диптан В.П. /Диптан В. П.,Тюрін В.В., Яблонський П.М., Бутенко М.П., Климчук В.П.
10. Оцінка надійності засобів наземного забезпечення польотів із застосуванням теорії толерантних границь Повітряна міць України 1(2) 2022 с.56-60.

## ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF AVIATION TECHNIQUE PRODUCTS

<sup>1</sup>Volodymyr Klimchuk (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-8940-8883>

<sup>2</sup>Mykola Butenko

<https://orcid.org/0000-0001-7272-5826>

<sup>2</sup>Vasyl Ivanov

<https://orcid.org/0000-0002-1963-1991>

<sup>2</sup>Yuriy Koskov

<https://orcid.org/0000-0003-4707-9898>

<sup>2</sup>Petro Yablonskyi (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

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

<sup>1</sup>The National Aviation University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*During the life cycle, which can take several decades, aviation technology is constantly being improved. In this case, there is a need to evaluate the effectiveness of its refinement. In modern scientific and technical literature, this issue is given insufficient attention. In this regard, the article proposes one of the possible approaches to solving this problem. The article uses the concept of the theory of testing statistical hypotheses, as well as the theory of tolerant estimates. The results obtained can serve as a basis for solving the indicated problem for the known time-to-failure distribution function. In the future, it is planned to test the hypothesis about the efficiency of equipment operating time under the Weibull, as well as for the logarithmically normal distribution of uptime.*

**Keywords:** *improvements, hypothesis, alternative, Weibull distribution, reliability, efficiency criterion.*

## References

1. Ryabiniin, I.A. Reliability and safety of structurally complex systems. - St. Petersburg: SPU, 2007. - 276 p.
2. Konesev S.G., Khaziyeva R.T. Methods of assessing reliability indicators of complex components and systems // Modern problems of science and education. - 2015. - No. 1-1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17558>;
3. Hrybov V.M. Evaluation and forecasting of the reliability of on-board aerospace equipment. - M.: 2013.-508 p.
4. Trukhanov V.M., Matveenko A.M. Reliability of complex systems at all stages of the life cycle. Moscow: Spektr Publishing House LLC, 2012; 663.
5. Reliability and efficiency in technology: Handbook: In 10

volumes / Ed. Advice: V.S. Avduduyevskiy (in advance) and others. - M.: Mashinobudovaniya, 1989. - Vol. 6. - 376 p.

6. Zaks Sh. Theory of statistical inferences.-M.: Mir, 1975-776 p.
7. Borovkov A.A. Mathematical statistics. Evaluation of parameters. Hypothesis testing. M.: Nauka, 1984-472 p.
8. Kapur D. and others Reliability and design of systems. M.: Mir, 1980-476 p.
9. Diptan V.P. /Deputy V.P., Tyurin V.V., Yablonskyi P.M., Butenko M.P., Klimchuk V.P.
10. Reliability assessment of ground support means of flights using the theory of tolerance limits Air Force of Ukraine 1(2) 2022 p.56-60.