

УДК 621.016

В.М. Чернявський

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ЗАСТОСУВАННЯ НЕПАРАМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ОЦІНКИ РІВНЯ НАДІЙНОСТІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ З НИЗЬКОЮ ІНТЕНСИВНІСТЮ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В статті представлено аналіз проблеми оцінки та контролю стану надійності авіаційної техніки, як складової частини системи управління надійністю авіаційної системи, розглянуті перспективи застосування сучасного науково-методичного апарату теорії надійності для її вирішення, сформульовані основні рекомендації його застосування стосовно парку бойової авіаційної техніки Збройних Сил України.

Ключові слова: авіаційна техніка, оцінка надійності, непараметричні методи.

Вступ

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними програмами. В умовах обмеженого фінансування при реалізації задач бойової підготовки, продовження термінів експлуатації авіаційної техніки (АТ) та її модернізації, на передній план завжди виступає проблема забезпечення надійності. Ця проблема не є новою, однак для авіації Збройних Сил України вона є, напевне, найбільш актуальною з усіх нагальних проблем.

Звичайно будь-яка АТ характеризується певним набором характеристик та показників, які мають граничні значення, що визначають досягнутий рівень таких інтегральних властивостей як, наприклад, маневреність, надійність та інші. Покращення більшості із них відбувається в процесі зміни поколінь літальних апаратів (ЛА), застосування нових технологій та підходів при їх створенні. Однак це практично не стосується рівня надійності. Його покращення відбувається набагато повільніше і пов'язане це із так званим «бар'єром надійності».

Термін «бар'єр надійності» виник на початку 70-х років ХХ століття й визначає неможливість реалізації різкого (скачкоподібного) підвищення рівня надійності існуючих складних технічних систем та систем, що створюються, в межах певного етапу розвитку науки й техніки.

Проблемою подолання «бар'єру надійності» займалися й займаються сьогодні багато дослідників, як у нашій країні, так і за кордоном. Маються й певні успіхи. Але всі вони більшою мірою носять частковий характер й лише підтверджують висновок сформульований вище. Справа в тому, що сама проблема отримання потрібних характеристик надійності на стадії створення АТ є надзвичайно складною та об'ємною. Не менш складною є й задача підтримання забезпеченого заводом-виробником рівня безвідмовності роботи техніки в процесі її експлуатації, а саме задача обґрунтування, призначення та виконання за наявний чи зада-

ний час необхідного комплексу організаційних і технічних профілактичних заходів. Успіх тут в значній мірі визначається досконалістю методів і систем управління надійністю.

Постановка задачі. Весь комплекс заходів, що реалізується в авіації Повітряних Сил, та спрямований на підвищення (забезпечення) відповідних значень показників надійності АТ, умовно можна представити схемою (рис. 1). Згідно із нею, основним елементом управління надійністю АТ є система збору та аналізу експлуатаційних даних (інформації), яка передбачає використання існуючого науково-методичного апарату для формування та прийняття рішення про відповідність досягнутого рівня заданому.

Однак в експлуатації ми все частіше стикаємося із неможливістю забезпечення потрібного об'єму інформації, яка б дозволила робити відповідні вірні висновки про стан надійності АТ. Проблема інформаційного забезпечення все більше поглиблюється із зміною кількісного складу авіаційного парку, його структури, а також зниженням інтенсивності використання АТ. Методи ж оцінки надійності, що використовувалися у військовій авіації СРСР, сьогодні в більшості своїй не можуть бути використані для отримання незміщених та ефективних оцінок показників надійності за даними про результати експлуатації за відповідний, як правило, річний період. Саме тому, задача розробки підходів, які б дозволили виконати оцінку основних показників із використанням так званої неповної вибірки – цензурованих даних, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проведений аналіз особливостей реалізації класичних методів оцінки показників надійності АТ дає підґрунття стверджувати, що їх ефективність прямопропорційна кількості інформації, на основі якої приймаються відповідні рішення. При певних же умовах вони стають не ефективними, а оцінки показників (точкові та інтервальні), що отримують з їх застосуванням, містять значні похибки (зміщення) та не можуть застосовуватися за призначенням [1].

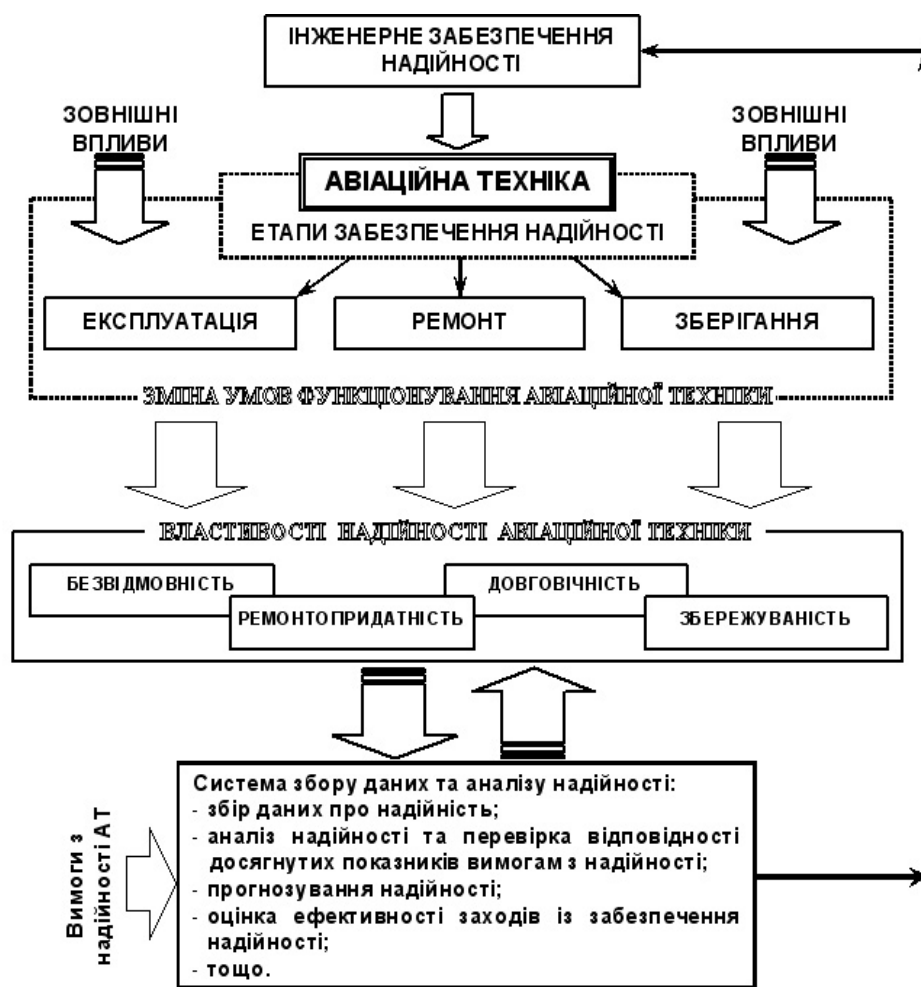


Рис. 1. Управління надійністю авіаційної техніки

Подібна ж ситуація виникає й у випадку, коли має місце інтенсивне старіння АТ, що призводить до зміни виду закону розподілу напрацювання на відмову. В цьому випадку знижується достовірність результатів, отриманих при використанні експоненціального розподілу для оцінки моментів відмов об'єктів АТ, що спонукає дослідників, при певних умовах, використовувати розподіл Вейбула, який за даними [2] є більш прийнятним для систем, у яких протікають процеси механічного старіння, стоми, корозії, раптових змін їх властивостей.

В ряді робіт з теорії надійності, наприклад, в роботах [3, 4] розглядаються питання підвищення ефективності використання експлуатаційної інформації для виконання контролю стану надійності технічних систем.

Однак, фактично усі вони зводяться до використання тих чи інших методів обробки цензурованих вибірок. Автор також схильний вважати, що такий підхід є більш перспективним в даний час, оскільки є менш вимогливим до об'ємів статистики та дозволяє здійснювати розрахунки та визначати параметри надійності АТ, які надалі можуть використовуватися в алгоритмах контролю її стану, із задовільною достовірністю.

Дослідження робіт [3, 5] свідчать, що існують різні варіанти цензурування вихідних даних та методів їх аналізу, впровадження яких на практиці дозволяє дослідникам отримувати об'єктивні оцінки показників надійності АТ та її елементів.

При цьому вибір методу залежить від багатьох факторів, основними з яких є: особливості отримання експлуатаційних даних (інформації), тип задач, що вирішуються, об'єм масивів вихідних даних, інформація про статистичні параметри отримуваних даних.

Метою даної статті є огляд альтернативних підходів виконання оцінки надійності АТ та визначення їх перспективності при проведенні досліджень стану авіаційного парку Збройних Сил України.

Виклад основних положень матеріалу статті

Методи оцінювання показників надійності за цензурованими даними згідно із [3, 5] можуть бути розділені на дві групи: непараметричні та параметричні методи оцінювання. До найбільш відомих непараметричних методів відносяться: непараметричний метод Каплана-Майєра; метод послідовного

переходу до нової системи координат; метод Індикта і Кривенко; метод непараметричного байєсівського оцінювання; метод «складного ножа» та «бутстреп-метод». Найвідомішими параметричними методами оцінювання показників надійності АТ є: метод максимальної правдоподібності; метод отримання лінійних оцінок із мінімальною дисперсією; метод квантилів; метод моментів; метод Менона; метод найменших квадратів; графічні методи (Нельсона або Джонсона) та інші.

Відмінність параметричних і непараметричних методів оцінки показників надійності полягає у наявності чи відсутності відомостей про параметри законів розподілу величин, що визначаються.

Одним із перспективних підходів щодо аналізу надійності АТ на основі неповної інформації є «Аналіз спроможності виживання». За допомогою технології «аналізу виживання» обчислюється «Таблиця часів життя», ідея якої полягає в наступному. Спочатку запроваджується єдина часова вісь, у точку нуля якої переноситься початок експлуатації усіх виробів. Далі часова вісь розбивається на визначене число інтервалів. Для кожного інтервалу обчислюється число виробів, які на початку інтервалу, що аналізується були працездатні, а також число виробів, що відмовили на даному інтервалі. В наступному, використовуючи відповідні вихідні дані обчислюються: імовірність безвідмовної роботи $P(t)$; інтенсивність відмов $\lambda(t)$; стандартні похибки їх обчислення. Розрахунки виконуються із використанням технологій аналізу цензурованих вибірок, що викладені, наприклад, в роботах [2, 3, 5].

Складною задачею особливо при малій виборці, є з'ясування, як деякі експлуатаційні фактори (регресори) впливають на надійність техніки. Кла-

сичні методи регресії для цензурованих даних не можуть бути використані, оскільки характер залежності $P(t)$ від регресорів невідомий. В модулях «Аналіз спроможності виживання», які вже сьогодні активно впроваджуються в стандартних статистичних програмних пакетах (наприклад, Statistica 6.0), ця проблема вирішується за допомогою регресійної моделі Кокса, де передбачається, що

$$\lambda(t) = \lambda_0(t) \times \beta(z_1, \dots, z_m), \quad (1)$$

де $\lambda_0(t)$ – являє собою інтенсивність відмов при рівності нулю всіх коваріат z_m ;

$\beta(z_1, \dots, z_m)$ – залежить від коваріат, що характеризують експлуатаційний фактор.

Оцінювання параметрів моделі Кокса може бути виконане за допомогою метода Ньютона-Рафсона, а вірогідність одержуваних оцінок – за критерієм χ^2 і Вальда.

В даний час у цивільних авіаційних підприємствах (компаніях) впроваджуються технології індивідуального контролю надійності систем та елементів АТ за певний період часу (квартал, півріччя, рік). Такий підхід, є прийнятним для умов різномірності типу та невеликої кількості зразків АТ в парку, а подекуди й єдино можливим й повністю узгоджений із вимогами ICAO (ДОК. 9859 AN/460 від 2006р., ДОК. 9859 AN/474 від 2009р.)

Для контролю стану надійності АТ військового призначення, як у нас так і в Російській Федерації використовується, як правило, комплекс показників, що встановлений галузевими стандартами ОСТ 1 00497-84 та більш пізній ОСТ 1 00497-97 [6, 7]. Їх неповний перелік наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Показники для оцінки надійності авіаційної техніки військового призначення в польоті на бойове застосування

№ з/п	Найменування показника надійності авіаційної техніки (позначення)	Використання показника	
		ОСТ 1 00497-84	ОСТ 1 00497-97
1.	Імовірність безвідмовної роботи при виконанні бойового завдання ($P_{б.з.}$)		+
2.	Середній наліт на відмову, що приводить до невиконання бойового завдання ($T_{б.з.}$)		+
3.	Середній наліт на відмову і пошкодження в умовах бойового застосування літального апарату ($T_{с(б)}$)		+
4.	Напрацювання на відмову, що приводить до невиконання бойового польотного завдання ($T_{пб}$)	+	
5.	Напрацювання на несправність, що проявилася в польоті при виконанні бойового польотного завдання ($T_{п(б)}$)	+	
6.	Напрацювання на несправність, що виявлена в польоті і на землі, при виконанні бойових польотних завдань ($T_{с(б)}$)	+	

Частково ці показники можуть бути знайдені із використанням вище вказаного, чи інших методів оцінки, після чого їх значення можуть бути

використані при реалізації алгоритмів контролю невиходу їх поточних значень за попередньо встановлені контрольні рівні.

Згідно із [8] можуть встановлюватися два види контрольних рівнів (меж):

1. Контрольні межі, які задаються виробником авіаційної техніки або відповідними органами управління окремо для кожної функціональної системи та агрегату, базуючись на досвіді експлуатації парку ЛА конкретного типу.

Для нових агрегатів, що не впливають на безпеку польотів, на час перших 6 місяців експлуатації верхня контрольна межа (ВКМ) розраховується за формулою:

$$ВКМ_{нов} = \frac{0,5 \times 1000}{n \times N_n}, \quad (2)$$

де n – кількість відмов за період;

N_n – наробіток (наліт) парку за період;

0,5 – коефіцієнт, що визначає тривалість періоду спостереження;

1000 – коефіцієнт, до якого приводиться показник (1000 годин напрацювання).

2. Контрольна межа, яка встановлюється експлуатантом для функціональних систем і агрегатів ЛА, які він обслуговує.

Значення ВКМ розраховується на основі даних про відмови за попередній період експлуатації.

Для більш ефективної і оптимальної експлуатації авіаційної техніки в цивільних авіаційних підприємствах пропонується використовувати наступні стандарти:

– у перші 6 місяців експлуатації авіаційної техніки використовувати значення $ВКМ_{нов}$ для контролю стану надійності агрегатів;

– з 6 по 12 місяць експлуатації використовувати контрольний рівень, значення якого базується на відмовах і несправностях, що були зареєстровані протягом перших 6 місяців експлуатації.

Тимчасова верхня контрольна межа:

$$ТВКМ = m_6 + k \times \sigma_6, \quad (3)$$

$$\text{де } m_6 = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 n_i;$$

$$\sigma_6 = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (n_i - m)^2};$$

n_i – кількість відмов за місяць;

k – коефіцієнт, що зазвичай приймається в діапазоні 2...3, та визначає ширину довірчого інтервалу;

– після 12 місяців експлуатації розраховується верхня контрольна межа на основі даних за попередній рік:

$$ВКМ = m + 2,5 \times \sigma, \quad (4)$$

$$\text{де } m = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} n_i;$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (n_i - m)^2}.$$

Для проведення контролю стану надійності літальних апаратів встановлюються контрольні межі для літака (вертольота) в цілому, його функціональних систем і агрегатів.

Умови експлуатації військової АТ суттєво відрізняються від умов експлуатації цивільних повітряних суден, що потребує відпрацювання певних рекомендацій щодо використання наведеної методики розрахунку ВКМ та контролю стану надійності АТ. В першу чергу необхідно врахувати вплив наступних факторів:

– у Повітряних Силах Збройних Сил України 100% авіаційної техніки мають напрацювання від 20 років й більше;

– процес експлуатації авіаційної техніки Повітряних Сил Збройних Сил України в цілому характеризується суттєвою нерівномірністю;

– частота використання конкретних зразків авіаційної техніки Повітряних Сил Збройних Сил України характеризується суттєвою аперіодичністю.

Ці фактори вносять суттєві труднощі в процес розрахунку ВКМ. Для їх спрощення рекомендується:

1. Оскільки перший рік експлуатації АТ згідно із вище викладеним є періодом накопичення інформації про надійність авіаційної техніки, то правила визначення ВКМ тут пропонується залишити без змін, вважаючи що техніка тільки почала експлуатуватися. Крім того, для більшості об'єктів АТ вже має достатньо повна інформація щодо відмов та несправностей, що мали місце в експлуатації (передісторія).

2. Верхні контрольні межі повинні розраховуватися із урахуванням дійсних умов експлуатації зразків АТ. Однак в цьому випадку є ризик отримати значну нестабільність з року в рік відповідних значень ВКМ та показників надійності в цілому. Тому, важливим етапом реалізації методики встановлення контрольних меж повинне стати приведення значень показників надійності до умов застосування, що задані в ТТЗ за методикою наприклад, що викладена в ОСТ 1 00497-97.

3. Для отримання стабільних ВКМ при значних переривах у польотах конкретних об'єктів АТ пропонується використовувати результати спостере-

жень за останній період, коли вони активно експлуатувалися.

4. При перервах у польотах більш ніж 12 місяців необхідно виконувати додаткові дослідження з метою накопичення додаткових даних для корекції ВКМ.

5. Враховуючи невелику кількість літаючих зразків АТ та тенденцію до їх подальшого зменшення реалізацію методики контролю стану надійності проводити на рівні Командування Повітряних Сил Збройних Сил України.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Таким чином, в роботі проаналізовані альтернативні класичним методи оцінки надійності АТ. Їх особливістю є отримання оцінок показників надійності за цензурованими даними про експлуатацію АТ. Відмічена перспективність їх застосування для аналізу надійності військових ЛА та їх систем на теперішньому етапі функціонування авіації Збройних Сил України. Надані рекомендації щодо реалізації системи контролю надійності, яка включає наступні етапи:

1. Розрахунок фактичних значень показників надійності АТ за даними експлуатації.

2. Побудова контрольних меж допустимої зміни показників надійності.

3. Контроль невиходу фактичних значень показників надійності за контрольні межі.

В роботі також сформовані пропозиції щодо її адаптації до використання в умовах експлуатації АТ, що мають місце в авіації Збройних Сил України.

Список літератури

1. Diccio T.J., Efron B. *Bootstrap Confidence Intervals* // *Statistical Science*. – 1996. – Vol. 11. – № 3. P. 189-228.

2. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними : ДСТУ 3004-95. – [Чинний від 1995-01-25]. – К.: Держспроживстандарт України, 1995. – 51 с.

3. Буртаев Ю.Ф. *Статистический анализ надежности объектов по ограниченной информации*. / Ю.Ф. Буртаев, В.А. Острейковский. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 240 с.

4. Топольский М.В. *Методы максимального использования эксплуатационной информации о надежности* / М.В. Топольский // *Вопросы экспериментальной оценки показателей надежности*. – М.: Знание, 1979. – С. 56-88.

5. Скрипник В.М. *Анализ надежности технических систем по цензурированным выборкам* / В.М. Скрипник, А.Е. Назин, Ю.Г. Приходько, Ю.Н. Благовещенский. – М.: Радио и связь, 1988. – 184 с.

6. Надежность изделий авиационной техники. *Методы оценки и анализа показателей надежности самолетов и вертолетов при эксплуатации: ОСТ 100497 – 84*. [Введен 1985-01-01]. – М.: ЛИИ им. М. Громова, 1985. – 46 с.

7. Надежность изделий авиационной техники. *Методы оценки и анализа показателей надежности самолетов (вертолетов) при эксплуатации: ОСТ 100497 – 97*. [Введен 1998-07-01]. М.: ЛИИ им. М. Громова, 1998. – 52 с.

8. Кучер О.Г. *Контроль та аналіз стану надійності систем і агрегатів повітряних суден в експлуатації* / О.Г. Кучер, П.О. Власенко // *Наукоємні технології – К.: НАУ*, 2010. – №1(15). – С. 15-26.

Надійшла до редколегії 12.04.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Войтов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ С НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.Н. Чернявский

В статье представлен анализ проблемы оценки и контроля состояния надежности авиационной техники, как составной части системы управления надежностью авиационной системы, рассмотрены перспективы применения современного научно-методического аппарата теории надежности для ее решения, сформулированы основные рекомендации его приложения относительно парка боевой авиационной техники Вооруженных Сил Украины.

Ключевые слова: авиационная техника, оценка надежности, непараметрические методы.

APPLICATION OF НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ METHODS FOR ESTIMATION OF LEVEL OF RELIABILITY OF AVIATION TECHNIQUE WITH LOW INTENSITY OF EXPLOITATION

V.M. Chernyavskiy

The analysis of problem of estimation and control of the state of reliability of aviation technique is presented in the article, as to component part of control the system by reliability of the aviation system, the prospects of application of modern scientifically-methodical vehicle of theory of reliability are considered for its decision, basic recommendations of his appendix relatively of park of military aviation equipment of Military Powers of Ukraine are formulated.

Keywords: aviation technique, estimation of reliability, non-parametric methods.