

УДК 621.518.3

ПАЩЕНКО С.В., заступник начальника інституту з наукової роботи, кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник

ВОЗНЮК М.М., начальник науково-дослідної лабораторії, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

ЛЕЩЕНКО Ю.М., начальник науково-дослідного відділу – заступник начальника науково-дослідного управління

АГАМОВ Л.Г., провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

У статті запропоновано методичку формалізованого визначення обсягу вимірюваних параметрів для оцінки технічного стану авіаційного обладнання з заданою вірогідністю

На сучасному етапі розвитку Збройних Сил України один із пріоритетних напрямків підвищення боєздатності Повітряних Сил полягає у вирішенні завдання впровадження стратегії експлуатації авіаційної техніки (АТ) за станом. Фундаментальною основою реалізації цієї стратегії є процедура оцінки технічного стану авіаційного обладнання (АО). Формально завдання оцінки технічного стану АО може трактуватися як класичне завдання теорії розпізнавання образів: на підставі результатів спостереження m -мірного вектора $x(t)$ обраних параметрів потрібно віднести виріб до одного з двох несумісних класів – відповідних (гіпотеза H_0) або не відповідних (альтернатива H_1) заздалегідь заданим вимогам (вектору технічних умов α)

$$\begin{cases} H_0 : x(t) \leq a, \\ H_1 : x(t) > a. \end{cases} \quad (1)$$

В термінах теорії розпізнавання образів нерівності (1) задають правило розбивки реалізацій вектора вимірювань $x(t)$ на два взаємовиключних класи.

Сукупність параметрів, що вимірюються в процесі експлуатації АО ЛА, об'єктивно визначає вірогідність оцінки стану виробу АО та формує вигляд (значення основних проектних змінних) авіаційних систем контролю і діагностування. Тому обґрунтування обсягу параметрів (розмірності m вектора $x(t)$), які потрібно контролювати в процесі експлуатації виробів АО, – один з найважливіших етапів досліджень щодо експлуатації АТ за станом в цілому.

Досягнутий до теперішнього часу рівень розв'язання дослідницьких завдань принципово не забезпечує повну формалізацію процедури цього обґрунтування.

Вимога зменшення імовірності помилок евристичного характеру, що призводять до зростання витрат матеріальних і трудових ресурсів на експлуатацію, зумовлюють актуальність досліджень щодо формалізованого визначення обсягу вимірюваних параметрів для оцінки стану виробів АО.

Технічний стан виробів АО ЛА визначається шляхом оцінки їх характеристик, яку засновано на вимірюванні окремих параметрів. Вагомість вимірювальної інформації про параметри виробів АО характеризується множиною різноманітних показників [1]. На сучасному етапі досліджень щодо проблем оптимізації оцінки стану технічних систем у різноманітних постановках, виходячи із призначення об'єкта досліджень і області його застосування, переважна більшість авторів [1,2] віддає перевагу показникам якості вимірювань. Основним інформаційним показником, що відображає якість вимірювальної інформації, є вірогідність оцінки параметра. Їх m -мірна сукупність визначає вірогідність оцінки характеристик виробів АО, яка залежить від точності вимірювання параметрів і від їхнього обсягу. При повному обсязі, коли оцінюються усі параметри виробів АО ЛА, вірогідність оцінки характеристик визначається точністю вимірювань. При абсолютно точних вимірюваннях вірогідність оцінки характеристик визначається обсягом вимірюваних параметрів.

При обранні кількісної міри вірогідності, що може бути виражена різними способами, будемо виходити з наступних основних вимог: міра вірогідності повинна відображати функціональну залежність від точності вимірювань параметра, легко обчислюватися та дозволяти достатньо просто вирішувати зворотне завдання – визначати необхідну точність вимірювань параметра за заданою вірогідністю.

Перерахованим вимогам задовольняє ряд числових характеристик. Оскільки результат вимірювань має випадковий характер і якість прийняття рішень оцінюється ймовірностями можливих помилок, визначимо вірогідність оцінки параметра виробу АО як імовірність ухвалення правильного рішення

$$d = 1 - p_n^* , \quad (2)$$

де p_n^* – апостеріорна імовірність помилкових рішень за результатами оцінки параметра, яка дорівнює сумі апостеріорних ризиків розробника та замовника

$$p_n^* = \alpha^* + \beta^* .$$

До проведення вимірювань імовірність помилки дорівнює апріорному ризику замовника $p_n = \beta$, тому апріорі вірогідність оцінки параметра дорівнює імовірності його влучення у своє поле допуску

$$d = 1 - \beta = p .$$

Отже, ефект від проведення оцінки параметра виробу АО полягає в тому, що величина вірогідності збільшується від p до $1 - p_n^*$.

З метою практичного використання (2) доцільно змінити шкалу відліку вірогідності, поклавши, що до проведення вимірювань вірогідність оцінки параметра дорівнює нулю, а при абсолютно точних вимірюваннях вірогідність дорівнює одиниці. Тоді будемо мати

$$d = 1 - \frac{P_n^*}{P_n} \quad (3)$$

Для введення в розгляд широко розповсюджені показники точності вимірювань, що задаються у технічних завданнях (технічних умовах) на виробі АО, замість в (3) апіорну і апостеріорну імовірності помилкових рішень відповідними середньоквадратичними відхиленнями

$$d = 1 - \frac{\sigma_\lambda^*}{\sigma_\lambda}, \quad (4)$$

де σ_λ^* , σ_λ – відповідно апостеріорне і апіорне середньоквадратичне відхилення вимірюваного параметра λ .

Правомірність представлення вірогідності оцінки параметрів виробів АО ЛА у вигляді (4) підтверджується тим фактом, що цей вираз може бути отримано із загальних позицій теорії інформації [3]. З цією метою визначимо вірогідність оцінки параметра у вигляді:

$$d = \frac{I}{H} = \frac{H - H^*}{H} = 1 - \frac{H^*}{H}, \quad (5)$$

де I – кількість інформації, що одержувана при проведенні вимірювань; H – апіорна (до початку вимірювань) ентропія вимірюваного параметра; H^* – апостеріорна (після завершення вимірювань) ентропія параметра.

Апіорна ентропія параметра λ визначається відомим [4] виразом

$$H = -M[\log P(\lambda) \Delta\lambda], \quad (6)$$

де $P(\lambda)$ – апіорна щільність імовірності вимірюваного параметра; $\Delta\lambda$ – інтервал невизначеності в значенні параметра; M – оператор математичного сподівання.

Вираз для апостеріорної ентропії H^* відрізняється від наведеного виразу (6) тільки заміною апіорної щільності імовірності вимірюваного параметра відповідною апостеріорною щільністю імовірності.

Аналіз чисельних експериментальних даних, наведених у різних джерелах [1,2], показує, що закон розподілу імовірності значень параметрів, які вимірюються

при експлуатації технічних систем, практично завжди може бути апроксимований нормальним законом (або до нього зводиться). При нормальному законі розподілу параметра λ та відомому значенні середньоквадратичного відхилення σ_λ ентропія максимальна і дорівнює [4]

$$H = \log \left(\frac{\sigma_\lambda}{\Delta\lambda} \sqrt{2\pi e} \right). \quad (7)$$

В умовах максимальної невизначеності вираз для вірогідності оцінки параметра (5) приймає вигляд

$$d = 1 - \frac{\log \left(\frac{\sigma_\lambda^*}{\Delta\lambda} \sqrt{2\pi e} \right)}{\log \left(\frac{\sigma_\lambda}{\Delta\lambda} \sqrt{2\pi e} \right)}. \quad (8)$$

З огляду на властивість монотонності логарифмічної залежності, остаточно можна записати

$$d = 1 - \frac{\sigma_\lambda^*}{\sigma_\lambda}, \quad (9)$$

що цілком збігається з (4).

Вірогідність, що обумовлюється виразом (4), нормована і змінюється від нуля до одиниці, оскільки апостеріорна дисперсія змінюється від апріорної (вимірювання параметра виробу АО у процесі експлуатації не застосовується) до нуля (абсолютно точна оцінка параметра).

Вірогідність d_l оцінки l -ої характеристики виробу АО ЛА, $l = \overline{1, L}$, є монотонно зростаючою функцією числа m вимірюваних параметрів – усяке збільшення обсягу вимірюваних параметрів приводить до підвищення вірогідності оцінки характеристики виробу АО, яка асимптотично наближається до одиниці. Асимптотичний характер поведінки вірогідності d_l при великих значеннях m є причиною відповідного характеру збільшення вартості експлуатації АТ: щоб незначно підвищити вірогідність, потрібно різко збільшувати кількість m вимірюваних параметрів. Ця обставина відображає основне протиріччя процесу експлуатації АТ: з однієї сторони необхідно підвищувати вірогідність оцінки параметрів, з іншої – зменшувати витрати на експлуатацію.

У теперішній час процедура визначення числа m виконується розробником (експлуатантом) обладнання та літака в цілому суб'єктивно на підставі наявного досвіду і евристичних поглядів. Використання існуючого підходу, яке пояснюється,

в основному, складністю вирішення завдання визначення числа m в загальному вигляді, призводить до необґрунтованих витрат на оцінку того або іншого параметра виробу АО, а також всієї їхньої сукупності в цілому. Необхідність розв'язання виявленого протиріччя в умовах економії витрат на впровадження експлуатації АТ за станом обумовлює важливість максимальної формалізації процедури визначення кількості вимірюваних параметрів, достатньої для оцінки технічного стану виробів АО з вірогідністю, не нижче заданої.

Формалізацію процесу призначення переліку вимірюваних параметрів пропонується забезпечити на основі введення поняття значимості (суттєвості) кожного параметра. Під значимістю параметра будемо розуміти ступінь впливу зміни значення параметра на зміну значення характеристики виробу АО.

Кількісну оцінку значимості параметрів може бути зроблено за допомогою введення коефіцієнтів значимості. Для забезпечення наочності визначення числа m коефіцієнт значимості зручно виразити нормованою величиною в діапазоні $[0,1]$. Обчисливши для кожного параметра, потенційно придатного для оцінки заданої характеристики виробу АО, коефіцієнт значимості, можна скласти впорядковану послідовність параметрів, яка характеризується рядом коефіцієнтів значимості, що розташовані у порядку убування своїх величин.

Визначимо коефіцієнт значимості j -ого параметра як вірогідність оцінки характеристики виробу АО при вимірюванні тільки одного цього параметра

$$k_j = 1 - \frac{\sigma_{u_j}^*}{\sigma_u}, \quad (10)$$

де $\sigma_{u_j}^*$ – апостеріорне середньоквадратичне відхилення оцінюваної характеристики u при вимірюванні тільки одного j -ого параметра.

За обчисленими значеннями коефіцієнтів значимості параметрів (10) будується впорядкована монотонна убуваюча послідовність параметрів (рис.1), що відображає принцип: чим більше коефіцієнт значимості параметра, тим більше зростання вірогідності оцінки характеристики дає оцінка цього параметра.

Вираз (10) носить універсальний характер. При необхідності, поряд з визначенням значимості одного параметра, можна запровадити коефіцієнти значимості сукупності параметрів у будь-якій їх комбінації.

Коефіцієнт значимості групи, що складається з k параметрів, визначається виразом (10), у якому апостеріорне середньоквадратичне відхилення оцінюваної характеристики обчислюється за умови вимірювання тільки цих k параметрів.

За впорядкованою послідовністю параметрів (груп параметрів) визначається залежність вірогідності d_l оцінки l -ої характеристики виробу АО як функція кількості вимірюваних параметрів (рис.2) або їх груп. У наведеної послідовності кожен наступний параметр (група) вносить все менший внесок у підвищення вірогідності. Необхідна кількість вимірюваних параметрів m_l для оцінки l -ої

характеристики виробу АО обумовлюється заданою величиною вірогідності $d_l^{зад}$ (див. рис.2).



Рис.1. Впорядкована послідовність параметрів.

Абсолютно аналогічні міркування можуть бути наведені для визначення кількості m_u характеристик виробу АО, якої достатньо для оцінки його технічного стану з вірогідністю, не нижче заданої ($d_{AT}^{зад}$).

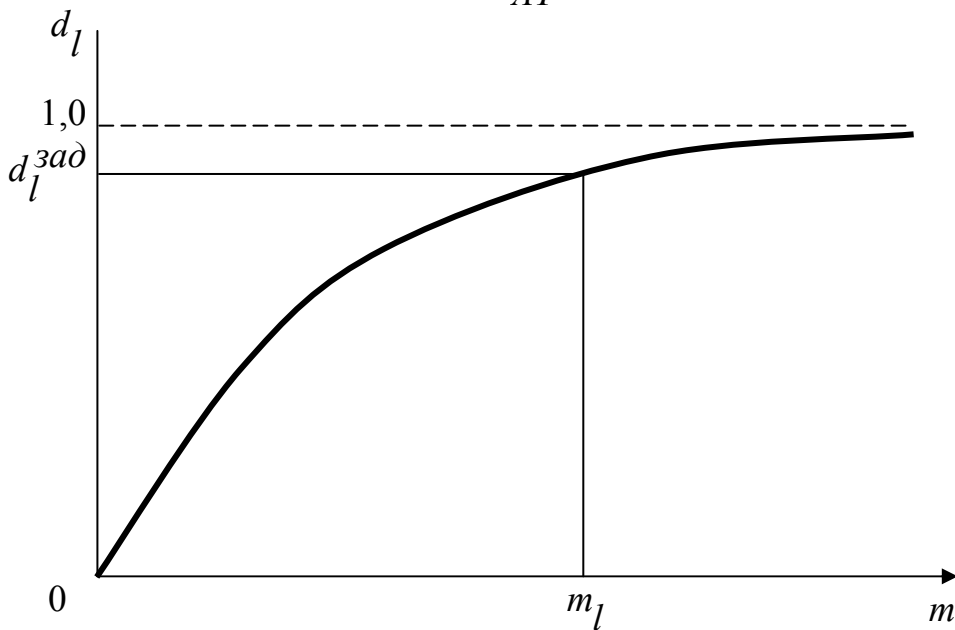


Рис.2. Визначення кількості параметрів для оцінки l -ої характеристики.

Таким чином, введення коефіцієнтів значимості окремих параметрів дозволяє запропонувати практичну методику визначення кількості вимірюваних параметрів виробів АО для оцінки їхнього технічного стану з вірогідністю, не нижче заданої.

Розроблена методика дозволяє вирішити як завдання аналізу (визначити величину вірогідності d_{AT} оцінки технічного стану виробу АО за кількістю m_l параметрів, що вимірюються в процесі експлуатації), так і завдання синтезу (визначити величину m_l за заданим значенням $d_{AT}^{зад}$) авіаційних систем контролю і діагностування.

Методика не містить евристичних елементів, що виключає можливість суб'єктивних помилок при визначенні обсягу вимірюваних параметрів виробів АО з метою оцінки їхнього технічного стану.

ЛІТЕРАТУРА

1. Краус М., Вошин Э. Измерительные информационные системы. Пер. с нем. / Под. Ред. Я.В.Малкова. – М.: Мир, 1975. – 312с.
2. Цапенко М.П. Измерительно-информационные системы. – М.: Энергия, 1974. – 319с.
3. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. Пер. с англ. /Под ред. Р.Л. Добрушина. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 829с.
4. Конторов Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С. Введение в радиолокационную системотехнику. – М.: Сов. радио, 1971. – 366с.

Надійшла до редакції 29.10.2010