

УДК 620.179.18:519.816

В.М. Чернявський

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АГРЕГАТІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ МЕТОДУ СТАТИСТИЧНИХ РІШЕНЬ

У статті наведено статистичну модель визначення діагностичних ознак технічного стану агрегатів авіаційної техніки на основі результатів застосування методу статистичних рішень.

Ключові слова: технічний стан, метод емісійного спектрального аналізу, метод статистичних рішень.

Вступ

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними програмами. Стан бойової авіаційної техніки (БАТ), яка стоїть на озброєнні авіації Повітряних Сил Збройних Сил України характеризується в більшості своїй моральним та фізичним старінням, що надзвичайно гостро ставить проблему забезпечення заданого рівня справності та безпеки польотів, через показник безвідмовного їх функціонування на протязі усього терміну експлуатації [1].

Забезпечення безвідмовності БАТ представляє собою важливу задачу, що потребує глибокого вивчення та використання методології системного підходу. При цьому головними принципами, що покладені в основу даного підходу повинні бути: комплексність вивчення проблеми; своєчасність проведення заходів з аналізу надійності парку БАТ, діагностування технічного стану агрегатів; оперативність розробки рекомендацій і корегування програм технічного обслуговування; забезпечення адаптивності комплексу заходів в залежності від зміни технічного стану та умов експлуатації.

Ефективність системи вказаних заходів залежить від повноти та об'єму інформації про технічний стан агрегатів БАТ, а відповідно і від можливостей методів контролю, що використовують при діагностуванні їх технічного стану. Однак методи, що застосовують в теперішній час при контролі технічного стану АТ характеризуються недостатньою інформативністю та, доволі часто, низькою достовірністю результатів, що потребує їх комплексного використання сумісно з іншими методами. А це, відповідно, впливає на вартість технічного обслуговування, збільшення трудовитрат та часу проведення контролю технічного стану. У зв'язку з цим задача розробки підходів, щодо застосування сучасних високоефективних неруйнівних методів контролю технічного стану для діагностики агрегатів БАТ є актуальною, а її рішення представляє важливу наукову задачу.

Проведений аналіз конструкції агрегатів трансмісії вертольотів різних типів та наукової літератури щодо практичного застосування методів неруйнівного контролю дозволив встановити, що одним з найбільш прийнятних для діагностування технічного стану агрегатів вказаної системи вертольоту є метод емісійного спектрального аналізу масла [2 – 6]. Раніше вказаний метод вже знайшов широке застосування для вирішення задач оцінки технічного стану таких складних технічних систем, як авіаційні двигуни та тяговий рухомий склад залізничного транспорту. Однак для оцінки стану інших технічних систем він практично не використовується, хоча, як свідчать результати досліджень, метод дозволяє виявити до 94% несправностей, при точності діагностування 85% [3]. Також на основі проведених досліджень встановлено, що концентрація включень хімічних елементів в маслі агрегатів залежить від приросту параметру вібрації, що в свою чергу сигналізує появу та розвиток дефектів у вузлах агрегату [6].

У зв'язку з цим основною метою даної статті є розробка методики прийняття рішення про технічний стан агрегатів трансмісії БАТ з використанням статистичної інформації, яка отримана при застосуванні методу емісійного спектрального аналізу (ЕСА) масла.

Виклад основних положень матеріалу статті

Основні положення матеріалу статті. Сьогодні, за твердженням провідних фахівців в галузі діагностування стану складаних технічних систем, метод ЕСА масла є одним з перспективних методів діагностування технічного стану, результати якого можуть бути реалізовані при проведенні прогнозування залишкового ресурсу [4 – 6]. Застосування методу в процесі виконання робіт з технічного обслуговування дозволяє оперативно приймати рішення про стан об'єктів експлуатації на протязі 7 – 8 хвилин, в основі якого є тільки інформація про наявність в маслі включень конкретних хімічних еле-

ментів [6].

Склад включень може бути різним, однак в першу чергу він залежить від складу конструкційних матеріалів з яких виконані ті чи інші деталі та вузли агрегатів трансмісії.

Однак, якщо конкретизувати задачу і розглядати окремі агрегати то номенклатуру включень хімічних елементів можна суттєво зменшити. Так, якщо розглядати агрегати трансмісії то найбільш часто зустрічаються елементи: Cu, Fe, Cr, Ni, C. Враховуючи те, що військові вертольоти можуть проводити зльоти та посадки не тільки з аеродрому базування, а й майданчиків то необхідно не відкидати імовірність появи в мастил пілу (Si). Якщо Si може бути, як причиною зносу так і індикатором зносу, наприклад, ущільнень, то присутність в маслі решти елементів та їх концентрація свідчать про наявність та динаміку протікання процесів зносу і деградації у вузлах тертя агрегатів БАТ [4 – 6]. В цьому плані представляє інтерес виявлення залежностей між відповідними характеристиками включень та технічними станами агрегатів БАТ, номенклатура яких встановлюється ГОСТ 27.002-89 і ДСТУ 2860-94 та може бути визначена як справний стан, працездатний, непрацездатний та граничний стан [7, 8].

Дані залежності можуть бути отримані шляхом співвідношення складу і концентрації хімічних елементів включень на різних стадіях експлуатації агрегатів БАТ з результатами їх дефектації. При цьому повинна бути відома діагностична ознака переходу між станами, яка не може бути отримана із аналізу всієї номенклатури хімічних елементів, що входять до складу включень, з причини дуже великої кількості припустимих рішень.

Для рішення поставленої задачі та зменшення об'єму припустимих рішень запропоновано застосувати відомі підходи і методи теорії статистичних рішень [9 – 11]. Очікується, що їх застосування дозволить звузити існуючу множину рішень за рахунок виключення із аналізу частини хімічних елементів включень (стратегія дослідника) і сформувати діагностичну ознаку переходу агрегатів БАТ із одного технічного стану в інше.

Виконаємо постановку задачі та представимо сказане вище відповідною статистичною моделлю прийняття рішення.

Нехай є обмежена кількість хімічних елементів, що досліджується, при цьому їх концентрація змінюється в залежності від технічного стану агрегату БАТ. Позначимо через S_i відповідні стани агрегату. При цьому $i = 1...m$ відповідає номеру конкретного стану, який може бути ідентифікований при дефектації агрегату. Відповідне включення, що може бути виявлене при ЕСА масла, позначимо символом E_j , де $j = 1...n$. Таким чином, в самому простому випад-

ку статистичну модель прийняття рішення можна представити у вигляді матриці розмірності m, n , елементами якої, висловлюючись мовою теорії статистичних рішень, повинні виступати «значення втрат». Позначимо їх, як q_{ij} . Визначення відповідних втрат дозволяє діагносту проводити дії (вибирати у якості індикатора технічного стану агрегату одне або декілька включень), які є найкращими за конкретних умов.

Такий підхід є справедливим у випадку наявності повної інформації про можливі стани агрегатів БАТ у кожному конкретному випадку. Із досвіду експлуатації, а також ґрунтуючись на результатах обробки статистичної інформації, яка отримана при дефектації N -ї достатньо великої кількості агрегатів, може бути отримана додаткова інформація про розподіл імовірностей знаходження однотипних агрегатів в тому чи іншому технічному стані. Позначимо їх P_i^s .

Визначення даних імовірностей може бути виконане за формулою:

$$P_i^s = n_i/N; \quad \sum_{i=1}^m P_i^s = 1, \quad (1)$$

де n_i – кількість агрегатів, що знаходяться в i -му стані.

Вище було показано, що одним із основних показників, які характеризують перехід агрегатів з одного технічного стану в інший, є зміна концентрації відповідних включень у маслі k_j . Однак реалізація даних значень концентрації носить випадковий характер. Виходячи з цього, логічним буде прийняти у якості елементів відповідної матриці значення математичних очікувань концентрації хімічних елементів, які складають множину рішень діагностика.

Однак розрахунок математичних очікувань концентрацій за кожним технічним станом виконується на основі різного числа вимірів, для різних елементів, що у відповідності з [12] дає підстави для сумніву в їх рівноточності. У цьому випадку дані значень математичних очікувань повинні входити в матрицю з урахуванням вагових коефіцієнтів, які можуть бути визначені, як:

$$P_{ij} = \sigma_{ij}^2^{-1}, \quad (2)$$

де σ_{ij}^2 – значення дисперсії концентрації j -го включення за i -м технічним станом.

В той же час значення концентрації включень, які відповідають кожному з виділених вище технічних станів, є також випадковою величиною, яка залежить від умов експлуатації останніх, характеристик методів аналізу і кількості даних, що використовуються для прийняття рішення, що додає додатко-

вої невизначеності процесу прийняття рішення. Таким чином, необхідна додаткова інформація, яка може бути отримана в процесі аналізу результатів ЕСА масел для агрегатів, що знаходяться в різних станах.

В якості даної інформації запропоновано використовувати частоти виявлення приростів концентрацій відповідних хімічних елементів при переході об'єктів в різні технічні стани.

При цьому формула для отримання значень частостей буде мати вигляд:

$$v_{ij}^e = \begin{cases} I_{ij}^e / N_i^s, & \Delta k_i > 0 \\ 0, & \Delta k_i = 0 \end{cases}; \quad \sum_{i=1}^m v_{ij}^e = 1, \quad (3)$$

де I_{ij}^e – кількість проявів j -го елемента при i -му технічному стані агрегату; N_i^s – кількість агрегатів, що віднесені до i -го технічного стану; Δk_i – приріст концентрації i -го хімічного елемента.

З урахуванням доповнення матриці гри значеннями величин, що представлені виразами (1) – (3), отримуємо модель прийняття рішення щодо вибору конкретних включень у якості діагностичних ознак технічного стану агрегатів БАТ (табл. 1).

У моделі q_{ij} визначається, як:

$$q_{ij} = k_{ij} \times \sigma_{ij}^2^{-1}. \quad (4)$$

Таблиця 1

Простір вибірок при рішенні задачі визначення технічного стану агрегатів БАТ

Основні технічні стани (ТС)	Імовірність знаходження у ТС	Стратегії діагноста				Результати експерименту, $p_{S_i}(z_j)$			
		q_1	q_2	....	q_j	v_1^e	v_2^e	....	v_j^e
Стан S_1	P_1^s	q_{11}	q_{12}	....	q_{1j}	v_{11}^e	v_{12}^e	....	v_{1j}^e
Стан S_2	P_2^s	q_{21}	q_{22}	....	q_{2j}	v_{21}^e	v_{22}^e	....	v_{2j}^e
⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Граничний стан S_i	P_i^s	q_{i1}	q_{i2}	....	q_{ij}	v_{i1}^e	v_{i2}^e	....	v_{ij}^e

Величини k_{ij} , що взяті за всіма технічними станами S_i , характеризують зміни наявності включень в маслі, а відповідно, при погіршенні технічного стану БАТ їх величина априорі повинна зростати. В той же час друга складова в (4) $1/\sigma_{ij}^2$ характеризує достовірність отриманих результатів. Відповідно, в залежності від значення величини σ_{ij} , її порядку, q_{ij} може або зростати, або зменшуватися. У випадку коли q_{ij} має позитивний тренд, приведення статистичної моделі до класичного виду може бути виконано шляхом постановки знаку "-" перед кожним елементом матриці гри [11].

В такій постановці задача прийняття рішення про вибір відповідного включення у якості діагностичної ознаки може бути приведена до прийняття рішення в статистичній грі з одним експериментом. Однак слід відмітити, що безпосереднє її вирішення потребує аналізу великої кількості стратегій діагноста і буде дорівнювати $.h = m^n$. Для спрощення рішення задачі при знаходженні оптимальних стратегій діагноста може бути використаний підхід, який детально викладений в роботі [11] і базується використанні апостеріорного розподілу імовірностей. Даний підхід дозволяє організувати процедуру прийняття рішення таким чином, що число стратегій діагноста залишається попереднім та рівним $.h = m \times n$.

Залишається відкритим питання про вибір правила пошуку рішень. В роботах [9 – 11] розглядається декілька підходів: вибір мінімаксної стратегії, використання метода максимальної правдо-

подібності, мінімального ризику та інші. Однак на нашу думку найбільш перспективними в даному випадку є застосування Байєсівського принципу для прийняття найкращого рішення, а також критерію Гурвіца [9, 11]. В першому випадку може бути забезпечене прийняття рішення відносно одного хімічного елемента, зміна концентрації якого при переходах в різні стани буде максимальною. У другому випадку є можливість розширити діапазон елементів, відносно яких буде прийнято позитивне рішення, за рахунок варіації коефіцієнтом довіри.

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. У статті запропонована статистична модель прийняття рішення про вибір діагностичної ознаки технічного стану бойової авіаційної техніки на основі інформації, що може бути отримана в експлуатації, та результатів застосування методу статистичних рішень.

2. Розроблена математична модель може стати основою більш глобальної методики прийняття рішення щодо технічного стану бойової авіаційної техніки, оскільки дозволяє додатково встановлювати зв'язок між технічним станом об'єкта та зміною кількості включень в маслі.

3. Використання запропонованої статистичної моделі в складі методики прийняття рішення про технічний стан агрегатів дозволить створити систему планування проведення оперативного контролю технічного стану окремих агрегатів бойової авіацій-

ної техніки, а також отримувати вихідні дані для прогнозування їх залишкового ресурсу.

Список літератури

1. Самулєєв В.В. Аналіз проблем та формування пріоритетних напрямків досліджень щодо забезпечення справності, боєздатності та бойового потенціалу авіації ПС України / В.В. Самулєєв // Новітні технології – для захисту повітряного простору: VII наук. конф., квітень 2011. – Х.: ХУПС, 2011. – С. 42.
2. Рекомендации по внедрению диагностической системы управления состоянием дизелей тепловозов и дизель-тепловозов по результатам анализа масла. Введены 23.10.2009г. – 32с.
3. Сиротин Н.Н. Техническая диагностика авиационных газотурбинных двигателей / Н.Н. Сиротин, Ю.М. Коровкин. – М.: Машиностроение, 1979. – 279 с.
4. Терёк Т. Эмиссионный спектральный анализ: в 2 т. / Т. Терёк, Й. Мика, Э. Гегуш. – М.: Мир, 1982. – Т.1. – 423 с.
5. Биргер И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
6. Кеба И.В. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей / И.В. Кеба. – М.: Транспорт, 1980. – 248 с.

7. ГОСТ – 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. [введ. 1989-11.15]. – М.: Гос. комитет по стандартам, 1989. – 40 с.

8. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. [чинний від 1996-01.01] К.: Держспоживстандарт України, 1996. – 53 с.

9. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 552 с.

10. Бажин И.И. Информационные системы менеджмента / И.И. Бажин. – М.: ГУ-ВШЭ, 2000. – 688 с.

11. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики / Ю.М. Коршунов. – М.: Энергия, 1980. – 424 с.

12. Щигольев Б.М. Математическая обработка наблюдений / Б.М. Щигольев. – М.: ГИ ФМЛ, 1962. – 343 с.

Надійшла до редколегії 7.02.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Фоменко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

В.Н. Чернявский

В статье приведена статистическая модель определения диагностических признаков технического состояния агрегатов авиационной техники на основе результатов применения метода статистических решений

Ключевые слова: техническое состояние, метод эмиссионного спектрального анализа, метод статистических решений.

DETERMINATION OF DIAGNOSTIC SIGNS OF THE TECHNICAL STATE OF AGGREGATES OF AVIATION TECHNIQUE ON BASIS OF METHOD OF STATISTICAL DECISIONS

V.M. Chernyavskiy

In the article the statistical model of determination of diagnostic signs of the technical state of aggregates of aviation technique is resulted on the basis of results of application of method of statistical decisions

Keywords: technical state, method of emission spectral analysis, method of statistical decisions.