

*Анатолій Григорович Павленко (канд. техн. наук, доцент кафедри)*

*Володимир Валерійович Ряшин (ад'юнк)*

*Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ*

## **ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗА ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ**

*Статтю присвячено удосконаленню засобів контролю технічного стану військової авіаційної техніки для забезпечення експлуатації авіаційної техніки поза межами встановлених розробником термінів служби. У статті викладено підхід до формування інформаційної моделі об'єкта контролю шляхом вирішення задачі ідентифікації об'єкта за його імпульсною перехідною функцією.*

*В якості діагностичних ознак для виявлення передвідмовних станів обладнання, характерних для перехідних режимів функціонування, обрано коефіцієнти розкладу ІПФ об'єкту. Зазначені діагностичні ознаки є альтернативними з точки зору інформаційної цінності. Використання обраних діагностичних ознак дозволить підвищити достовірність контролю технічного стану військової АТ в умовах експлуатації поза межами встановлених розробником термінів служби.*

***Ключові слова:** літальний апарат, об'єкт контролю, інформаційна модель, імпульсна перехідна функція.*

### **Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими завданнями**

Одним з важливих факторів, що визначають ефективність функціонування військової авіаційної техніки (АТ), як відомо, є технічний стан складових частин конструкції літальних апаратів (ЛА).

Необхідність визначення технічного стану військової АТ в процесі експлуатації з метою підтримання справності та готовності до застосування значно зросла за останні двадцять років у зв'язку з вичерпанням календарних термінів експлуатації АТ радянського виробництва та жорстким обмеженням фінансових можливостей виконання капітальних ремонтів.

Одним з перспективних шляхів розвитку системи технічної експлуатації військової АТ у сучасних умовах є перехід на експлуатацію за технічним станом. Це, у свою чергу, передбачає вирішення широкого кола наукових та практичних завдань, серед яких є удосконалення засобів контролю технічного стану та засобів діагностики військової авіаційної техніки АТ [1].

Основним напрямком удосконалення засобів контролю технічного стану АТ Повітряних Сил Збройних Сил України є розвиток засобів об'єктивного контролю на основі використання інформаційних технологій, а саме, програмної реалізації на ЕОМ відповідних алгоритмів контролю [2].

Як свідчать результати аналізу характеристик сучасних (модернізованих) засобів контролю технічного стану, розвиток інформаційних моделей об'єктів контролю відбувається в основному шляхом збільшення числа контрольованих параметрів та супроводжується встановленням відповідних додаткових датчиків

(вимірювачів). Але, необхідність забезпечення безпечної експлуатації військової АТ поза межами встановлених розробником термінів служби обумовлює актуальність завдання удосконалення інформаційних моделей об'єктів контролю в напрямку відображення властивостей, що є характерними ознаками технічного стану його об'єктів саме для цього періоду експлуатації.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Різним аспектам завдання розробки та удосконалення інформаційних моделей технічних систем (у т. ч. військового призначення) для реалізації параметричних методів контролю присвячено низку робіт закордонних і вітчизняних авторів [3-5,6,7,8,9,10].

Вся різноманітність інформаційних моделей об'єктів діагностування, умовно об'єднується у класи моделей статистичних та динамічних об'єктів (систем). Досвід експлуатації військової АТ свідчить про те, що працездатність значної частини функціональних систем, блоків та агрегатів обладнання визначається їх динамічними властивостями.

Модернізація існуючих засобів контролю технічного стану військової АТ Збройних Сил України передбачає алгоритмічну та програмну реалізацію класичних методів оцінки якості перехідних режимів функціонування об'єктів контролю, тобто оцінки запасу стійкості, швидкодії, ступеню коливальності. Але, з досвіду експлуатації обладнання військових літальних апаратів (ЛА) в умовах "гнучкого ресурсу" відомо, що контроль зазначених параметрів не забезпечує виявлення багатьох передвідмовних станів, характерних для перехідних режимів функціонування об'єктів. Це обумовлює

необхідність обґрунтованого вибору інших діагностичних ознак, що мають більшу інформаційну цінність.

### Формулювання цілей статті

Метою даної роботи є викладення підходу до формування інформаційної моделі об'єкта контролю шляхом вирішення задачі ідентифікації об'єкта за його імпульсною перехідною функцією (ІПФ).

### Результат дослідження

Нагадаємо, що під технічним станом розуміється сукупність схильних до змін у процесі експлуатації властивостей об'єкта, що характеризує ступінь його функціональної придатності в заданих умовах цільового застосування, або місце дефекту в ньому у випадку невідповідності будь-якої з цих властивостей встановленим вимогам [11].

Задача ідентифікації технічного стану об'єкта контролю полягає у визначенні наявності або відсутності у об'єкта контролю набору необхідних властивостей, а у випадку відсутності встановлення причини, виявлення дефекту [12].

Вважаємо, що об'єкт контролю – це динамічна система, якій в силу причинності привласнюється оператор, що за певним законом кожному елементу  $y(t) \in Y$  (вхід) функціонального метричного простору ставить у відповідність елемент  $x(t) \in X$  (вихід) іншого функціонального метричного простору. Причому  $y(t)$  та  $x(t)$  у разі доступності для вимірювання можна визначити експериментально, тобто вхідні і вихідні сигнали є спостережуваними. В силу фізичного принципу причинності оператор динамічної системи має наступну властивість: для безперервної системи  $x(t)$  залежить лише від  $y(t')$ , де  $t' < t$ .

Математичний опис об'єкта в просторі станів за експериментальними даними складає зміст завдання ідентифікації, тобто за результатами вимірювань  $y(t)$  та  $x(t)$  необхідно визначити, хоча б наближено, значення оператора, який встановлює однозначну відповідність між вхідними та вихідними сигналами [3].

Якщо моделлю об'єкта контролю є залежний від часу оператор  $A(t)$ , такий, що

$$x(t) = A(t) \cdot y(t), \quad (1)$$

то завданням статистичної ідентифікації буде визначення оцінки такого оператора  $\hat{A}(t)$ , що дозволяє отримати оцінку

$$\hat{x}(t) = \hat{A}(t) \cdot y(t). \quad (2)$$

Відповідність між моделлю та оригіналом може бути досягнуто лише в разі близькості оцінки  $\hat{A}(t)$  до істинного значення  $A(t)$  [13].

При цьому буде дотримуватися вимога близькості  $\hat{x}(t)$  та  $x(t)$ . Для оцінки якості

ідентифікації вводять функцію втрат  $r[\hat{x}(t), x(t)]$ ,

на математичне сподівання якої накладають наступну вимогу

$$M\left\{r[\hat{x}(t), x(t)]\right\} = \min.$$

Вибором виду функцій втрат визначається критерій близькості вихідних сигналів моделі та оригіналу. Використавши квадратичну функцію втрат, переходимо до простих лінійних алгоритмів оцінювання, отримаємо основне рівняння статистичної ідентифікації, якому повинна

задовольняти оптимальна оцінка оператора  $\hat{A}(t)$

$$x(t) = \int_0^{\infty} h(\tau) y(t - \tau) d\tau + \eta(t), \quad (3)$$

де  $h(t)$  – імпульсна перехідна функція (ІПФ) об'єкта контролю.

Визначення шуканої ІПФ з рівняння (3) пов'язане зі значними помилками, зумовленими похибками вимірювання, а також складністю апроксимації сигналів аналітичними виразами. Для підвищення якості відновлення ІПФ необхідна попередня обробка сигналів. Аналітично ця умова означає наступне.

Нехай випадкові сигнали на вході та виході об'єкта ідентифікації центровані, тоді, перемноживши ліву і праву частини рівняння (3) на  $y(t - \theta)$  і усереднюючи результат, отримуємо

$$M[x(t)y(t - \theta)] = M\left[\int_0^{\infty} h(\tau) y(t - \theta) y(t - \tau) d\tau\right] + M[\eta(t)y(t - \theta)], \quad (4)$$

де  $M$  – оператор математичного сподівання;

$\eta(t)$  – некорельована з вхідним сигналом помилка.

Враховуючи комутативність операцій визначення математичного сподівання та інтегрування, отримуємо

$$M[x(t)y(t - \theta)] = \int_0^{\infty} h(\tau) M[y(t - \theta)y(t - \tau)] d\tau$$

або

$$R_{xy}(\theta) = \int_0^{\infty} h(\tau) R_{yy}(\theta - \tau) d\tau. \quad (5)$$

Рівняння (5) є записом відомого в літературі рівняння Вінера-Хопфа, що пов'язує шукану ІПФ з кореляційною функцією вхідного сигналу  $R_{yy}(t)$  та взаємною кореляційною функцією вхідного і вихідного сигналів  $R_{xy}(\theta)$  ідентифікованого об'єкта [3, 12, 13,]. ІПФ, що визначається з (5), є оптимальною за критерієм мінімуму середньоквадратичної помилки.

$$M\left\{\left[x(t) - \hat{x}(t)\right]^2\right\} = \min.$$

Оскільки реалізації випадкових сигналів реєструються на кінцевих інтервалах спостереження  $L$ , то нескінчену верхню межу в (5), виходячи з фізичних міркувань, замінимо на кінцеву  $L$ , таку, що для всіх  $t > L$ ,  $h(t) = 0$ .

З урахуванням вищезазначеного, основне рівняння ідентифікації для одного узагальненого параметра приймає вигляд

$$R_{xy}(\theta) = \int_0^L h(\tau) R_{yy}(\theta - \tau) d\tau. \quad (6)$$

Тоді для  $\eta$  вимірюваних узагальнених параметрів контрольованого об'єкта отримуємо  $\eta$  рівнянь ідентифікації в термінах “вхід-вихід”

[illegible]

Як відомо, єдине рішення рівняння (6) робить можливим його подання у вигляді системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\frac{1}{L}R_{xy}(\theta) = \sum_{n=0}^M h(nT)R_{yy}(\theta - nT) \quad (8)$$

де  $\theta = T, 2T, \dots, MT$ .

Рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь дає значення імпульсної функції для узагальненого параметра в точках  $0, T/M, 2T/M, \dots, 1$ .

Таким чином, із застосуванням процедури ідентифікації, формується інформаційна модель об'єкта контролю. На першому етапі, на основі відомостей про характер фізичних процесів у досліджуваній системі виявляється структура моделі; на другому етапі, на основі обробки вхідних та вихідних сигналів, доступних безпосередньому вимірюванню, уточнюється структура моделі, і визначаються її параметри, що є оптимальними з точки зору заданого критерію близькості.

За допомогою відомих принципів горизонтальної та вертикальної декомпозиції, задача ідентифікації складної системи може бути зведена до задачі децентралізованої ідентифікації виявленої сукупності узагальнених параметрів (кожен з яких представляється в термінах “вхід-вихід”) з використанням відповідного критерію з подальшою координацією інформаційної моделі об’єкта контролю.

Незважаючи на достатню розробленість методів рішення рівняння (8), результати ідентифікації реально функціонуючих об'єктів виявляються незадовільними для визначення виду їх технічного стану. Це обумовлено порушенням причинно-наслідкових зв'язків при постановці завдання ідентифікації, та його належністю до класу зворотних задач. Згідно класичного визначення задача статистичної ідентифікації,

тобто задача вирішення рівняння (6) є коректно поставленою за Адамаром [14], якщо: для будь-якого елемента  $R_{xy} \in R$  існує рішення  $h$  з простору  $H$ ; рішення є єдиним в  $H$ ; рішення є стійким у просторах  $R$  і  $H$ , тобто для будь-якого  $\varepsilon > 0$  можливо вказати таке  $\delta(\varepsilon) > 0$ , що з нерівності  $\rho_R(R_{xy1}, R_{xy2}) < \delta(\varepsilon)$  маємо  $\rho_H(h_1, h_2) < \varepsilon$ , причому  $Ah_1 = R_{xy1}$  і  $Ah_2 = R_{xy2}$ .

При невиконанні зазначених вимог задача є некоректно поставленою. У практичних задачах ідентифікації реальних об'єктів, існування рішень і належність до певних множин впливають з фізичного змісту постановки задач. Тоді перші дві вимоги коректності виконуються природним чином. Задача статистичної ідентифікації є некоректною внаслідок невиконання умови стійкості.

Доведемо причини нестійкості при знаходженні ІПФ ідентифікованого об'єкта традиційним способом.

Розглянемо два рівняння з однаковим ядром:

$$R_{xy1}(\theta) = \int_0^{\infty} h_1(\tau) R_{yy}(\theta - \tau) d\tau,$$

$$R_{xy2}(\theta) = \int_0^{\infty} h_2(\tau) R_{yy}(\theta - \tau) d\tau,$$

$$\text{де } h_1(\tau) = h_2(\tau) + C \sin \zeta t.$$

Величина  $C$  – характеризує відхилення  $h_2(\tau)$  від  $h_1(\tau)$ .

Відхилення  $R_{xy1}(\theta)$  від  $R_{xy2}(\theta)$  визначається величиною

$$\mathfrak{J} = \max_{\theta} \left| R_{xy1}(\theta) - R_{xy2}(\theta) \right|.$$

З наведених співвідношень випливає, що при як завгодно великій, наперед заданій величині  $C$ , можливо вибрати таке значення  $\zeta$ , що  $\mathfrak{I}$  буде як завгодно малою. Таким чином, внаслідок невиконання умови стійкості задача статистичної ідентифікації є некоректною.

## Висновки з даного дослідження

В якості діагностичних ознак для виявлення передвідмовних станів обладнання, характерних для перехідних режимів функціонування, обрано коефіцієнти розкладу ІПФ об'єкту.

Зазначені діагностичні ознаки є альтернативними з точки зору інформаційної цінності, а їх використання дозволить підвищити достовірність контролю технічного стану військової АТ ЗС України в умовах експлуатації поза межами встановлених розробником термінів служби.

## Перспективи подальших досліджень

Надалі планується розробити алгоритм ідентифікації коефіцієнтів розкладу ПФ об'єкта контролю з використанням обґрунтовано обраного базису ортогональних функцій.

**Література**

**1. Харченко О.В.** Безпечна експлуатація бойового складу авіації Повітряних Сил поза ресурсними обмеженнями: методологічні аспекти / О.В. Харченко, С.В. Пашенко, І.М. Ратніков // Наука і оборона, 2012. – № 4. – с.56 - 60. **2. Засоби** реєстрації та обробки польотної інформації, що застосовується в частинах авіації ЗСУ. Методичний посібник // під загальним керівництвом О.Б. Уманського. – НЦ ПС ЗС України, 2005. – 128 с. **3. Льюнг Л.** Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ. / Под ред. Я.З. Цыпкина – М.: Наука 1991. – 432 с. **4. Мита Ц.,** Хара С., Кондо Р. Введение в цифровое управление. – М.: Мир, 1994. – 250 с. **5. Филипп У.,** Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 615 с. **6. Панин В.В.** Метод и устройство распознавания предпомпажных явлений в компрессорах авиационных ГТД / В.В. Панин, И.Ф. Кинашук, В.И. Орланов // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. – 2001. – №4. – с. 63-69. **7. Панін В.В.** Аналіз методів побудови систем протипомпажного захисту авіаційних газотурбінних двигунів / В.В. Панін, С.В. Єнчев // Інтелектуальні системи прийняття рішень і

проблеми обчислювального інтелекту. ISDMCI'2010: міжнар. наук.- техн. конф.: тези доп.; М-во освіти і науки України, Херсонський нац. техн. ун-т. – Херсон, 2010. – Т.2 – с. 502-505. **8. Евланов Л.Г.** Контроль динамических систем. – М.: Наука, 1972. – 424 с. **9. Дмитриев А.К.** Основы теории построения и контроля сложных систем / А.К. Дмитриев, П.А. Мальцев – Л.: Энергоатомиздат Ленингр. отд-ние, 1988. – 192 с. **10. Пархоменко П.П.,** Согомоян Е.С. Основы технической диагностики: Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства. / Под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Энергия, 1981. – 320 с. **11. Барзилович Е.Ю.** Эксплуатация авиационных систем по состоянию / Е.Ю. Барзилович, В.Ф. Воскобоев – М.: Транспорт, 1981. – 197 с. **12. Современные** методы идентификации систем: Пер. с англ. / Под ред. П. Эйхоффа. – М.: Мир, 1983. – 400 с. **13. Бессонов А.А.** Методы и средства идентификации динамических объектов. – Л.: Энергоатомиздат Ленингр. отд-ние, 1989. – 280 с. **14. Тихонов А.Н.** Методы решения некорректных задач / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. – М.: Наука, 1979. – 254 с.

### **ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ВОЕННЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

*Анатолий Григорьевич Павленко (канд. техн. наук, доцент кафедры)*

*Владимир Валерьевич Ряшин (адъюнкт)*

*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев*

*Статья посвящена усовершенствованию средств контроля технического состояния военной авиационной техники для обеспечения эксплуатации авиационной техники за пределами установленных разработчиком сроков службы. В статье изложен подход к формированию информационной модели объекта контроля путем решения задачи идентификации объекта по его импульсной переходной функции.*

*В качестве диагностических признаков для выявления предотказных состояний оборудования, характерных для переходных режимов функционирования, выбраны коэффициенты разложения ИПФ объекта. Обозначенные диагностические признаки являются альтернативными с точки зрения информационной ценности. Использование выбранных диагностических признаков позволит повысить достоверность контроля технического состояния авиационной техники за пределами установленных разработчиком сроков службы.*

**Ключевые слова:** летательный аппарат, объект контроля, информационная модель, импульсная переходная функция.

### **THE INFORMATION MODEL FORMATION OF TECHNICAL CONDITION OF MILITARY AVIATION EQUIPMENT BY CHARACTERISTICS OF TRANSITIONAL MODES FUNCTIONING**

*Anatolii Pavlenko (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of a Department)*

*Volodymyr Riashyn (Postgraduate Military Student)*

*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv*

*The article is devoted to development of the checking means of the Ukrainian Air Force aviation equipment technical condition for providing the aviation equipment operating beyond the periods of service bounds determined by producer. The approach to information model forming of checked object by the object identification task solution by impulse transitional function is given in the article.*

*The impulse transitional function decomposition coefficients are chosen as diagnostic indications for exposure of the equipment pre-failure technical conditions typical for transitional modes of functioning. The given diagnostic indications are alternative by the information value criteria. The chosen diagnostic indications use will allow to increase the reliability of military aviation equipment technical condition checking when operating beyond the periods of service bounds determined by producer.*

**Key words:** aircraft, controlled object, information model, pulse-transition function.