

УДК 629.7.083

С.В. Пащенко<sup>1</sup>, В.О. Харченко<sup>2</sup>, Ю.А. Черних<sup>3</sup><sup>1</sup>Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ<sup>2</sup>Національний авіаційний університет, Київ<sup>3</sup>Міністерство оборони України, Київ

## МЕТОДИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АДЕКВАТНОСТІ ВІДТВОРЕННЯ НА ТРЕНАЖЕРІ РЕАЛЬНИХ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТОЛЬОТА

У статті обґрунтовано підхід щодо використання тренажера з метою відтворення параметрів руху вертольота за реальними керуючими впливами екіпажу, що зареєстровані бортовими засобами об'єктивного контролю. Показано, що можливість моделювання поведінки вертольота, яка адекватна реальним керуючим впливам, дозволить підвищити достовірність висновків щодо віднесення причин льотної події до «людського фактору» або до відмов авіаційної техніки. Доступність для аналізу практично усіх параметрів вертольота, які характеризують його динамічний рух у просторі, дозволить підвищити ймовірність визначення часу відмови й локалізації системи вертольота, що відмовила.

**Ключові слова:** тренажер, кореляція, параметри польоту вертольота, динамічні характеристики, моделювання, адекватність.

### Вступ

Тренажер при розслідуванні авіаційних подій може бути використаний для оцінки працездатності систем вертольота й контролю за діями льотних екіпажів. За інформацією, отриманої від тренажера, є можливість визначення:

- загального часу польоту й часу виконання окремих маневрів;
- характеру й послідовності використання льотним екіпажем режимів двигунів у польоті;
- відповідності заданого профілю польоту фактичному;
- витримування льотним екіпажем обмежень, що накладаються на вертоліт відповідно до норм міцності, стійкості й безпеки польоту;
- працездатності систем керування й системи несучого гвинта від зльоту до посадки;
- дій льотних екіпажів щодо керування вертольотом і силовою установкою в нормальному польоті й при аварійній обстановці;
- правильності й послідовності перевірки систем і випробування двигуна на відповідність вимогам інструкцій з експлуатації;
- справності каналів бортового реєстратора і впливу реальних умов експлуатації на стабільність реєстрації польотних даних.

Якісний аналіз зміни зареєстрованих параметрів, показує, що в більшості випадків можна визначити характер режиму в тій його частині, що пов'язана з маневром в одній площині (зліт і посадка вертольота, набір висоти й зниження, горизонтальна площадка, розгін, гальмування тощо). У тих випадках, коли режим польоту пов'язаний з маневром у просторі, найбільш ймовірно визначити характер зміни параметрів можна з використанням тренажера.

Теоретичний апарат, яєий можна застосовувати при розслідуванні авіаційних подій наведений у [1, 2]. Методичні та теоретичні підходи до підвищення ефективності розслідування авіаційних подій Мі-8МТ (МТВ) розглянуті у [3], але при цьому не приділено достатньої уваги використанню при цьому тренажерів.

**Метою статті** є аналіз можливості підвищення ефективності розслідування авіаційних подій вертольотів типу Мі-8МТ (МТВ) на основі використання авіаційних тренажерів.

### Основний розділ

При розслідуванні авіаційних подій для об'єктивного аналізу польотної інформації необхідно отримати наступних параметрів:

- приладової швидкості  $v_p$ ;
- барометричної висоти  $h$ ;
- кута крену  $\varphi_k$ ;
- кута тангажу  $\varphi_t$ ;
- перевантаження  $p$ ;
- кутової швидкості крену  $v_k$ ;
- кутової швидкості ристання  $v_r$ ;
- кутової швидкості тангажу  $v_t$ .

Після оптимальної обробки наведених параметрів, в результаті якої буде отриманий динамічний вектор оптимальних параметрів

$$W(t) = (v_p(t); h(t); \varphi_k(t); \varphi_t(t); p(t); v_k(t); v_r(t); v_t(t)),$$

вони можуть бути використані для забезпечення адекватності відтворення на тренажері реальних динамічних характеристик досліджуваного вертольота.

Зазначена процедура виконується методом порівняння параметрів динаміки руху реального вертольота, зареєстрованих бортовим реєстратором, з

однойменними параметрами, відтвореними тренажером при тих самих керуючих впливах і зовнішніх умовах польоту, тобто виконується така процедура:

$$\mathfrak{Z}(W(t)) - \mathfrak{Z}(W^*(t)) = P(t),$$

де лінійний оператор  $\mathfrak{Z}$  формує відповідний одномірний випадковий процес для змін векторів  $W(t)$  та  $W^*(t)$ , а вектор параметрів, відтворених тренажером

$$W^*(t) = (v_p^*(t); h^*(t); \varphi_k^*(t); \varphi_i^*(t); p^*(t); v_k^*(t); v_r^*(t); v_i^*(t)),$$

можна формувати у реальному часі.

Відфільтровані від шумів вимірів керуючі сигнали, що формують вектор  $W(t)$ , з виходу бортового пристрою реєстрації подаються на вхід тренажера. У результаті на виході відтворюються параметри руху вертольота –  $W^*(t)$ , які порівнюються з оптимально обробленими однойменними параметрами, записаними реєстратором.

Виникає наукове завдання визначення показників, за якими можливо оцінити якість такого відтворення польотної інформації тренажером.

Розв'язання цього завдання можливо шляхом використання двох критеріїв, один з яких характеризує відповідність характеру зміни параметрів, відтворених тренажером, реальним змінам параметрів, а другий – точність цього відтворення.

В якості першого критерію доцільно використати значення коефіцієнта парної кореляції Пірсона двох дискретних випадкових процесів  $X$  і  $Y$ , яке обчислюється за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (1)$$

де  $N$  – кількість спостережень, за якими розраховується коефіцієнт кореляції, а випадкові процеси  $X$  і  $Y$  отримуються з векторів  $W(t)$  і  $W^*(t)$  за допомогою лінійного оператора  $\mathfrak{Z}$ :

$$\begin{aligned} X &\sim \mathfrak{Z}(W(t)); \\ Y &\sim \mathfrak{Z}(W^*(t)). \end{aligned}$$

Перевірка статистичної значущості при цьому може бути виконана за допомогою критерію Стюдента.

$$t_p = r_{xy} \sqrt{\frac{N-2}{1-r_{xy}^2}}. \quad (2)$$

Якщо розрахункове значення  $t_p$  більше табличного, взятого з  $(N-2)$  степенями свободи, то коефіцієнт кореляції є значимим з вибраним рівнем значущості.

У разі незадовільного відтворення реальної зміни параметрів руху вертольота, потрібно у математичній моделі тренажера змінювати («підстроювати») відповідні коефіцієнти, що забезпечують таку динаміку зміни параметрів, доки відтворення усіх параметрів руху не стане задовільним.

При цьому однієї тільки «схожості», тобто відповідності характеру змін параметрів, недостатньо. Необхідно оцінювати точність відтворення польотної інформації.

Для оцінки точності може бути використано критерій Тейла, який розраховується за формулою

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}}. \quad (3)$$

Значення критерію Тейла змінюється від нуля до одиниці. Нуль відповідає точному відтворенню, тобто тренажерні значення параметрів співпадають з зареєстрованими. Одиниця означає повне неспівпадіння. Інші значення відображають відносну точність.

Підстроювання коефіцієнтів у математичній моделі тренажера повинно виконуватися до тих пір, доки одночасно не буде досягнута достатня точність для усіх параметрів руху вертольота.

## Висновок

Таким чином, можливість моделювання поведінки вертольота, адекватної реальним керуючим впливам, дозволить підвищити достовірність висновків щодо віднесення причин льотної події до «людського фактору» або до відмов авіаційної техніки. Доступність для аналізу практично усіх параметрів руху вертольота, які характеризують його динамічний рух у просторі, дозволить підвищити ймовірність визначення часу відмови й локалізації системи вертольота, що відмовила.

## Список літератури

1. Теория прогнозирования и принятия решений / под ред. С.А. Саркисяна. – М.: Высшая школа, 1977. – 351 с.
2. Тейл Г. Экономические прогнозы и принятие решений / Г. Тейл. – М.: Статистика, 1971. – 488 с.
3. Браверман А.С. Динамика вертолета. Предельные режимы / А.С. Браверман, А.П. Вайнтруб. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.

Надійшла до редколегії 13.07.2010

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук. співробітник І.М. Ратніков, Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ.

**МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ АДЕКВАТНОСТИ ВОССОЗДАНИЯ НА ТРЕНАЖЕРЕ  
РЕАЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТОЛЕТА**

С.В. Пащенко, В.А. Харченко, Ю.А. Черныш

*В статье обоснован подход относительно использования тренажера с целью воссоздания параметров движения вертолета по реальным управляющими воздействиям экипажа, которые зарегистрированы бортовыми средствами объективного контроля. Показано, что возможность моделирования поведения вертолета, которая адекватна реальным управляющим воздействиям, позволит повысить достоверность выводов относительно отнесения причин летного события к «человеческому фактору» или к отказам авиационной техники. Доступность для анализа практически всех параметров вертолета, которые характеризуют его динамическое движение в пространстве, позволит повысить вероятность определения времени отказа и локализации отказавшей системы вертолета.*

**Ключевые слова:** тренажер, корреляция, параметры полета вертолета, динамические характеристики, моделирования, адекватность.

**METHOD OF ADEQUATE RECREATION ON SIMULATOR THE REAL DYNAMIC CHARACTERISTICS OF HELICOPTER**

S.V. Pashchenko V.A. Kharchenko, Yu.A. Chernysh

*In the article using simulator as the tool to recreation the real dynamic characteristics of helicopter on the information from flight recorder is grounded. It is rotined that possibility of design of conduct of helicopter, which is adequate the real managing influences, will allow to promote authenticity of conclusions in relation to attributing of reasons of flying event to the «human factor» or to the refuses of aerotechics. Availability for the analysis of practically all of parameters of helicopter, which characterize his dynamic motion in space, will allow to promote probability of determination of time of refuse and localization of the saying no system of helicopter.*

**Keywords:** simulator, correlation, flight parameters of helicopter, dynamic descriptions, designs, adequacy.