

УДК 681.518.3

І.М. Ратніков<sup>1</sup>, Р.М. Петров<sup>2</sup><sup>1</sup> Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ<sup>2</sup> Науково-виробниче об'єднання "АВІА", Кременчук

## АНАЛІЗ ПОХИБОК СПРЯЖЕННЯ БОРТОВОГО ПРИСТРОЮ РЕЄСТРАЦІЇ ПОЛЬОТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ З ТРЕНАЖЕРОМ ВЕРТОЛЬОТА ТИПУ МИ-8

У статті наведено результати аналізу джерел похибок та їх максимальних значень при спряженні бортового пристрою реєстрації типу БУР-4Т з серійним тренажером КТВ-8МТВ.

**Ключові слова:** тренажер, спряження, бортовий пристрій реєстрації, похибки реєстрації.

### Вступ

В умовах обмежених ресурсів держави найбільш прийнятним підходом щодо забезпечення якісної підготовки пілотів вертольотів Збройних Сил України є суміщення реальних польотів безпосередньо на літальних апаратах із тренажерною підготовкою.

У 2007 році на постачання Міністерства Оборони України прийнято сучасний комплексний тренажер КТВ-8МТВ вертольота типу Ми-8 виробництва НВО "АВІА", (м Кременчук) [1]. В математичній моделі зазначеного тренажера використовується двохетапна процедура визначення складових вектора  $\bar{K}$  аеродинамічних коефіцієнтів сил і моментів, що діють на несучий гвинт. На першому етапі визначаються початкові значення  $\bar{K}$  з використанням експериментальних та теоретичних оцінок. На другому етапі проводиться корекція коефіцієнтів  $\bar{K}$  методами експертної оцінки із залученням досвідчених пілотів [2].

Існуюча процедура визначення значень коефіцієнтів  $\bar{K}$  має ряд істотних недоліків, властивих як початковому етапу, так і етапу експертної оцінки. Спроби суттєвого підвищення точності оцінки аеродинамічних коефіцієнтів на основі удосконалення такої процедури пов'язані зі значними труднощами.

Небезпека полягає у тому, що недостатня адекватність імітації динаміки руху реального вертольота в процесі тренажерної підготовки може сприяти формуванню у членів екіпажу стійких помилкових навичок щодо особливостей пілотування вертольота.

У той же час, підвищення точності визначення коефіцієнтів  $\bar{K}$  може бути досягнуте на основі застосування теоретико-експериментального підходу [3], у якому результати математичного моделювання динаміки просторового руху вертольота уточнюються з використанням реальних польотних даних шляхом інформаційного спряження бортового пристрою реєстрації типу БУР-4Т зі складу обладнання вертольота типу Ми-8 з тренажером.

Необхідність забезпечення максимальної точності відтворення на тренажері КТВ-8МТВ динамі-

ки просторового руху вертольота типу Ми-8 обумовлює актуальність урахування похибок спряження бортового пристрою БУР-4Т з тренажером.

**Метою статті** є аналіз джерел похибок та їх максимальних значень при спряженні бортового пристрою реєстрації типу БУР-4Т з серійним тренажером КТВ-8МТВ.

### Основний розділ

Для вирішення завдання щодо спряження БУР-4Т з тренажером, модель вертольота типу Ми-8 може бути представлена у вигляді сукупності параметрів польоту, що характеризують функціонування ергатичної системи "екіпаж-вертоліт".

З цієї сукупності доступних для спостереження параметрів можна відокремити вектор параметрів  $\bar{x} = |x_v, x_k, x_n, \phi_{\text{ош}}|^T$ , які містять інформацію щодо дій екіпажу по управлінню вертольотом (табл. 1), і вектор параметрів  $\bar{\lambda} = |V, H, \gamma, \vartheta, \omega_x, \omega_z|^T$ , що характеризують зміну просторового положення вертольота в результаті керуючих дій екіпажу та впливу навколишнього середовища (табл. 2).

З метою практичної реалізації спряження БУР-4Т з тренажером вертольота кодові значення параметрів, зареєстрованих в накопичувачі БУР-4Т, переводяться у фізичні значення за допомогою складених заздалегідь тарифувальних (масштабних) графіків. Фізичні значення вектора параметрів  $\bar{x}$  в дискретні моменти часу  $t_v$ , що визначаються частотою реєстрації польотної інформації в БУР-4Т, разом з параметрами навколишнього середовища (температурою, тиском, швидкістю та напрямком вітру) подаються на вхід тренажера в якості керуючих сигналів.

Адекватність тренажера оцінюється шляхом порівняння в моменти часу  $t_v$  значень вектора параметрів  $\bar{\lambda}^* = |V^*, H^*, \gamma^*, \vartheta^*, \omega_x^*, \omega_z^*|^T$  тренажера, які відображають вплив поданих на нього керуючих сигналів, з аналогічними параметрами  $\bar{\lambda}$  вертольота, які зареєстровані БУР-4Т у реальному польоті.

Таблиця 1  
Інформація щодо дій екіпажу по управлінню вертольотом

Найменування параметра, одиниця виміру	Позначення	Діапазон вимірювань	Тип датчика	Частота опитування, Гц
Повздовжній хід ручки циклічного шагу, мм	$x_v$	- 165 .. + 140	МУ-615А	2
Поперечний хід ручки циклічного шагу, мм	$x_k$	- 175 .. + 130	МУ-615А	2
Хід педалей шляхового управління, мм	$x_n$	- 105 .. + 95	МУ-615А	2
Хід важеля загального шагу, градус	$\phi_{ош}$	1...14	МУ-615А	4

Таблиця 2  
Параметри зміни просторового положення вертольота

Найменування параметра, одиниця виміру	Позначення	Діапазон вимірювань	Тип датчика	Частота опитування, Гц
Приладова швидкість, км/год	V	50...350	ДПС М-1	2
Барометрична висота, м	H	0...4500	ДВ-15М	2
Кут крену, градус	$\gamma$	$\pm 45$	АГБ-3К	4
Кут тангажу, градус	$\theta$	$\pm 40$	АГБ-3К	4
Кутова швидкість крену, градус/с	$\omega_x$	$\pm 18$	ДУ-СУ-18АС	2
Кутова швидкість тангажу, градус/с	$\omega_z$	$\pm 18$	ДУ-СУ-18АС	2

Значення параметрів з сукупності  $\{\bar{x}, \bar{\lambda}\}$ , що зареєстровані у моменти часу  $t_v$ , мають випадковий характер через наявність похибок реєстрації.

Основними складовими зазначених похибок реєстрації польотної інформації є:

похибки первинних джерел інформації (датчиків);

похибки проведення в БУР-4Т дискретизації за часом і квантування за рівнем реальних параметрів, що змінюються безперервно;

похибки переведення кодових значень параметрів, що вимірюються, в їх фізичні величини.

Максимальні середньоквадратичні значення  $2\sigma_0$  похибок датчиків визначаються їх виробниками і для датчиків, що застосовуються на вертольотах типу Ми-8 та наведені у табл. 1, 2, знаходяться в інтервалах  $\pm 1,5 \dots \pm 2,0 \%$  від верхньої межі вимірювання.

З метою оцінювання значення похибки дискретизації за часом і квантування за рівнем представимо БУР-4Т у вигляді послідовності блоків (рис. 1), що містить дискримінатор (блок БСИ-4), на виході якого спостерігаються часові вибірки  $\xi_v = \xi(t_v)$  вхідного безперервного процесу  $\xi(t)$ , і пристрій для квантування (блок БР-4Т) з перехідною характеристикою  $\eta_v(\xi_v)$ , який перетворює вибірку  $\xi_v$  у вибірку  $q_v$  зі скінченною множиною станів.

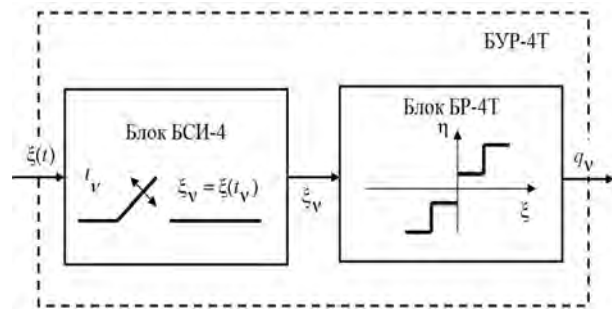


Рис. 1. Еквівалентне представлення бортового пристрою БУР-4Т

При такому представленні бортовий пристрій реєстрації характеризується двома параметрами: періодом дискретизації за часом  $\Delta = t_{v+1} - t_v$  і характеристикою пристрою для квантування  $\eta_v(\xi_v)$ .

Основними параметрами пристрою для квантування (рис. 2) є пороги квантування. Якщо цифровий сигнал має  $M$  значень (що відповідає порогам  $h_1, h_2, \dots, h_{M-1}$ ), то  $i$ -те значення цифрового сигналу  $q_v$  реалізується у випадку, коли аналогова вибірка  $\xi_v$  знаходяться між  $h_{i-1}$ -м та  $h_i$ -м порогам.

Якщо скористуватися класичним представленням цифрового сигналу у вигляді суми неквантованого сигналу і шуму квантування, то збільшення дисперсії вхідного шуму за рахунок квантування можна трактувати як дію незалежного шуму з дисперсією [4]

$$D_k = D_0(1/\varepsilon^2 - 1),$$

де  $D_0$  – дисперсія шуму спостереження при відсутності квантування;

$$\varepsilon^2 = \sum_{q_v=1}^M (\Delta\Phi'(0, \eta_v))^2 / \Delta\Phi(0, \eta_v),$$

$\Delta\Phi(\cdot)$  – різниця табульованих інтегралів імовірності [4].

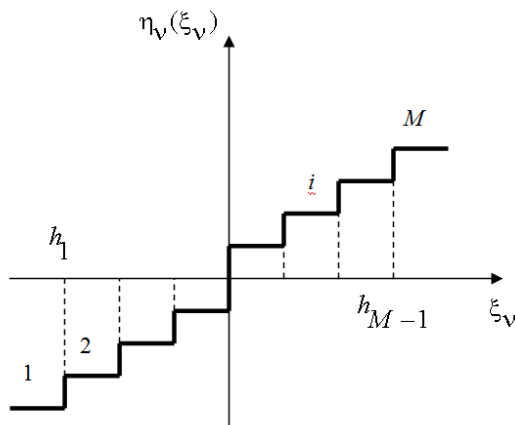


Рис.2 Характеристика пристрою для квантування

При достатньо великій кількості рівнів  $M$  пристрою для квантування з рівномірною шкалою порогів  $h_i = h_{i-1} + h$  ( $M \rightarrow \infty$ ,  $hD_0^{-1/2} \rightarrow 0$ ) дисперсія шуму квантування прямує до  $h^2/12$  (наближеним значенням  $D_k = h^2/12$  можна користуватися вже при  $M \geq 50$  [4]).

Переведення кодових значень параметрів, що вимірюються, в їх фізичні величини здійснюється за допомогою тарировальних залежностей, які складаються для кожного датчика індивідуально і періодично оновлюються. При цьому похибка  $\sigma_T$  визначення фізичного значення параметра не перевершує половини розміру, що відповідає молодшому розряду кодового слова.

Усі розглянуті похибки є взаємно незалежними, тому середньоквадратичне значення сумарної похибки  $\sigma_{jR}$  реєстрації для кожного  $j$ -го параметра польоту має вигляд

$$\sigma_{jR} = (\sigma_{j\partial}^2 + D_{jk} + \sigma_{jT}^2)^{1/2}.$$

Наявність зазначених похибок призводить до перекручування як керуючих впливів на вході тренажера, так і результатів порівняння вихідних параметрів тренажера з аналогічними параметрами реального вертольоту, що суттєво знижує можливість забезпечення високої адекватності відтворення на

тренажері КТВ-8МТВ динаміки просторового руху вертольоту типу Ми-8.

Зменшення впливу похибок датчиків, похибок дискретизації за часом і квантування за рівнем реальних параметрів, що змінюються безперервно, та похибок переведення кодових значень параметрів в їх фізичні величини на точність визначення вектора  $\bar{K}$  аеродинамічних коефіцієнтів сил і моментів у математичній моделі тренажера КТВ-8МТВ може бути досягнуто на основі використання добре відомих і апробованих алгоритмів оптимальної марківської фільтрації [4].

## Висновок

Проведений аналіз похибок, що виникають при спряженні бортового пристрою реєстрації типу БУР-4Т з серійним тренажером КТВ-8МТВ, дозволив визначити джерела і максимальні значення зазначених похибок та запропонувати дієві практичні підходи щодо мінімізації їх впливу на точність імітації реальних польотів вертольотів типу Ми-8 на тренажері.

## Список літератури

1. Зинченко В.П. Украинский вертолетный учебно-тренировочный комплекс / В.П. Зинченко // *Авиация общего назначения*. – Х.: ХГАПП, 2007 – №7 – С. 4 – 8.
2. Моцарь А.И. Особенности конструкции комплексного тренажера КТВ-8МТВ вертолета Ми-8МТВ / А.И. Моцарь, В.П. Зинченко, О.А. Добров // *Збірник наукових праць ХУПС*. – Харків: ХУПС, 2006. – Вип. 2(8). – С. 17 – 20.
3. Ратников І.М. Методика корекції математичної моделі динаміки руху вертольоту типу Ми-8 / І.М. Ратников, П.І. Моцарь, Р.М. Петров // *Збірник наукових праць ДНДІА*. – К.: ДНДІА, 2011. – Вип. 7(14). – С. 115 – 119.
4. Тихонов В.И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем / В.И. Тихонов, В.Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 2004. – 608 с.

Надійшла до редколегії 29.11.2012

Рецензент: д-р техн. наук, доцент О.А. Кононов, Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ.

## АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ СОПРЯЖЕНИЯ БОРТОВОГО УСТРОЙСТВА РЕГИСТРАЦИИ ПОЛЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ТРЕНАЖЕРОМ ВЕРТОЛЕТА ТИПА МИ-8

И.Н. Ратников, Р.Н. Петров

В статье приведены результаты анализа источников погрешностей и их максимальных значений при сопряжении бортового устройства регистрации типа БУР-4Т с серийным тренажером КТВ-8МТВ.

**Ключевые слова:** тренажер, сопряжение, устройство регистрации, погрешности регистрации.

## ANALYSIS OF CORRELATION ERRORS BETWEEN THE ONBOARD FLIGHT DATA RECORDER AND HELICOPTER Mi-8 SIMULATOR

I.M. Ratnikov, R.M. Petrov

The sources of the correlation errors between the onboard flight data recorder and helicopter Mi-8 simulator is considered in this article

**Keywords:** simulator, correlation, onboard flight data recorder, coordination errors.