

УДК 629.7

И.Р. Ермолаев, В.В. Кулешин

*Государственный научно-исследовательский институт авиации, Киев*

## ЭТАЛОННЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ФИГУР ПИЛОТАЖА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СРЕДСТВ ОБЪЕКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

*На основе анализа изменений параметров полета при маневрировании, получаемых при дешифрировании и обработке данных бортовых средств объективного контроля, разработаны компактные эталонные изображения фигур пилотажа.*

***фигуры пилотажа, оценка качества пилотирования, распознавание, эталонные изображения***

### Вступление

Анализ причин авиационных происшествий (АП) в военной авиации показывает, что большинство из них в последнее время произошло из-за ошибок летного состава в технике пилотирования и летной эксплуатации. В значительной степени это является следствием отсутствия систематического контроля и несовершенства средств объективного контроля (СОК).

Поэтому совершенствование СОК, создание современных средств автоматизации обработки и анализа полетной информации (ПИ), в том числе автоматизация оценки качества выполнения фигур пилотажа, является актуальной задачей.

Задача автоматизации оценки качества пилотирования состоит из двух этапов.

Этап распознавания и собственно оценка качества выполнения.

Традиционные подходы к распознаванию фигур пилотажа и оценке качества техники пилотирования основаны на использовании решения переборных задач [1, 2]. Это приводит к необходимости

применения более обобщенных критериев оценки, упрощению эталонов фигур пилотажа и не позволяет обеспечить полную автоматизацию операций обработки и анализа ПИ.

В работе представлены результаты исследований по разработке эталонных изображений фигур пилотажа для обеспечения автоматизации процесса их распознавания при оценке качества выполнения.

Применение предложенных эталонов обеспечит полную автоматизацию процесса оценки при упрощении алгоритма решения задачи. Объект исследования – параметры полета при выполнении фигур простого и сложного пилотажа. Анализ особенностей изменения параметров полета и их регистрации бортовыми средствами объективного контроля показывает необходимость решения следующих задач при создании моделей фигур пилотажа:

определить эталонные образы для каждой фигуры пилотажа;

сформировать пространство признаков распознавания и оценки, в пределах параметров, регистрируемых бортовыми СОК;

определить критерии отбора признаков и алгоритм их отбора.

Эталонные образы фигур пилотажа должны обладать следующими свойствами [3]:

- однозначность образа;
- устойчивость образа при возможном многообразии вариантов выполнения фигур пилотажа;
- компактность образа.

По степени информативности при распознавании фигур пилотажа параметры полета, регистрируемые СОК, можно условно разделить на две группы. К первой (основной) относятся значения угловых положений ЛА. Положительным качеством измерения угловых положений самолета является строго обусловленный диапазон их изменения, при достаточной точности регистрации бортовыми СОК [4,5].

Ко второй группе относятся высота, скорость, перегрузка и т.д. Характер изменения этих параметров при маневрировании не дает однозначного ответа по выполняемой фигуре пилотажа, и использование этих параметров возможно только в качестве дополнительных признаков при распознавании того или иного маневра.

Особенность непосредственного использования значений угловых положений ЛА связана с существованием разрыва функции при переходе измерения углов через предельные значения, например для угла крена  $\gamma$  при выполнении бочки последовательность изменения значений  $0 \dots 180^\circ, -180^\circ \dots 0$ .

Удобным способом устранения этого недостатка может стать использование тригонометрической функции – синус угла крена (тангажа). Преимущество использования этой функции:

$$\text{функция парная } y = \sin x \begin{cases} y < 0, \text{ при } x < 0 \\ y > 0, \text{ при } x > 0 \end{cases}, \text{ отрицательному значению угла соответствует отрицательное значение его синуса;}$$

синус нуля – ноль  $\sin 0 = 0$ ;

диапазон изменения синуса угла плюс-минус единица  $y = \sin x \{x | x \in D, -1 \leq y \leq 1\}$ .

На рис. 1 приведены зависимости изменения синусов углов крена и тангажа при выполнении некоторых фигур пилотажа на фазовой плоскости  $O \sin \gamma \sin \vartheta$ .

Построение зависимостей осуществлялось в следующей последовательности: с начала выполнения фигуры пилотажа, в фиксированные моменты времени, определялись значения углов крена и тангажа; определялись соответствующие значения синусов этих углов; в прямоугольной системе координат проставлялась точка с координатами  $A(\sin \gamma, \sin \vartheta)$ ; процесс повторялся до момента окончания маневра.

Полученные изображения отвечают требованиям, которым предъявлены к эталонным образам фигур пилотажа.

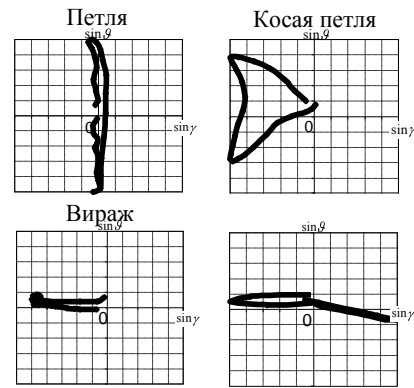


Рис. 1. Зависимости изменений углов крена и тангажа при выполнении фигур пилотажа

Они уникальны для каждой фигуры, компактны (диапазон возможной области существования изображения от минус единицы до единицы), строятся по данным, регистрируемому бортовыми СОК.

Эти изображения имеют устойчивый характерный вид для каждой фигуры пилотажа независимо от вариаций их выполнения в пределах заданной фигуры.

На рис. 2 приведен пример изображений различных реализаций выполнения косой петли.

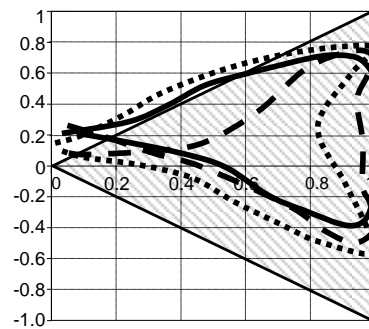


Рис. 2. Изображения различных реализаций выполнения косой петли

Расположение изображений в ограниченной области позволяет упростить назначение решающих правил при распознавании фигур пилотажа.

Такой подход к построению изображений даст возможность проводить нормализацию фигур пилотажа по времени. При этом вид изображения не зависит от времени выполнения самой фигуры. Также важным свойством изображений является простота определения времени начала и окончания выполнения распознаваемой фигуры. Анализ характерных изображений фигур пилотажа на плоскости  $O \sin \gamma \sin \vartheta$  показал возможность построения эталонных изображений. При этом для всех фигур пилотажа изображение будет состоять из следующих типовых структурных элементов (рис. 3), определяющих установившиеся режимы (рис. 3, а) – выдерживания углов крена или тангажа и переходные – процесс непрерывного изменения соответствующих параметров (рис. 3, б).

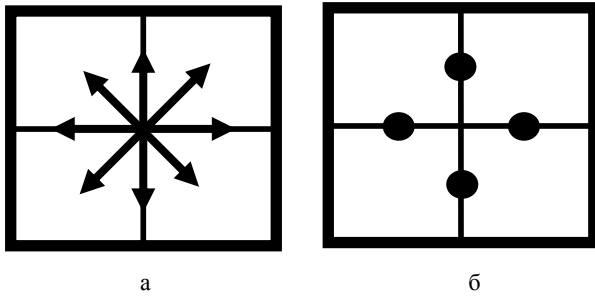


Рис. 3. Типовые структурные элементы построения эталонов фигур пилотажа

Эталонное изображение строится на плоскости, разделенной на две области –  $M_1$  и  $M_2$  (рис. 4).

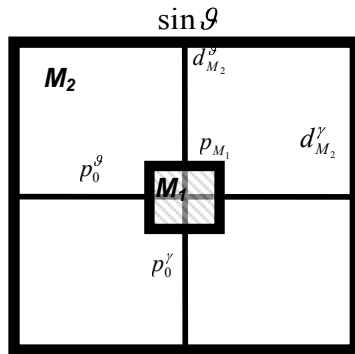


Рис. 4. Характерные области на плоскости построения эталонных изображений

Область  $M_1$  ограничивает зону прямолинейного горизонтального полета. Пересечение ее границ определяет начало выполнения маневра или его завершение. Область  $M_2$  – зона непосредственного выполнения маневра. Внешняя граница этой области определяет достижение значений углов крена (тангажа)  $\pm 90^\circ$ .

Эталонные изображения должны отвечать следующим правилам:

1. Количество пересечений границ области  $M_1$  должно быть четным:  $\sum p_{M_1}$  – четная.
2. Количество достижений внешней границы области  $M_2$  должно быть четным:  $\sum (d_{M_2}^\theta + d_{M_2}^\gamma)$  – четная. При этом эталонное изображение описывается в виде последовательности элементарных эталонов для  $j$ -ой фигуры пилотажа

$$E_i^j(e_1^j, e_2^j, \dots, e_i^j),$$

где  $E_i^j$  – эталон  $j$ -ой фигуры пилотажа;  $e_i^j$  – элемент эталона, определенный на множестве допустимых значений.

Пример построения эталонного изображения полупетли представлен на рис. 5. Эталонная последовательность примет следующий вид:

$$E_1^j(\sin \theta \approx 0, \sin \theta = 1, \sin \theta \approx 0, \sin \gamma = 0, \sin \gamma = 1, \sin \gamma = 0)$$

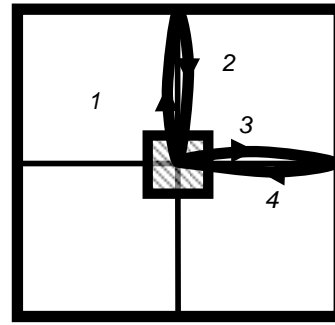


Рис. 5. Последовательность построения эталонного изображения полупетли

Правильность эталонного изображения определяется из условия выполнения правил построения:

1. Сумма пересечений области  $M_1$   $\sum p_{M_1} = 4$  – четная.
2. Сумма достижения границ области  $M_2$   $\sum (d_{M_2}^\theta + d_{M_2}^\gamma) = 2$  – четная.

### Выводы

1. Предложенный подход к построению эталонных изображений фигур пилотажа позволяет использовать регистрируемые бортовыми СОК параметры полета.

2. Представленные изображения обладают свойствами компактности, однозначности образа и его устойчивости.

Разработанные эталонные изображения фигур пилотажа позволяют использовать простые решающие правила при автоматизации процесса их распознавания.

### Список литературы

1. Устинов В.В., Старцева Л.П. Общие принципы построения автоматизированной системы контроля и анализа качества техники пилотирования самолета: Научно-методические материалы по обеспечению безопасности полетов, вып.1 / Под ред. В.А. Кондратенкова. – Х.: ХВВАИУ, 1989. – С. 28-33.
2. Хамракулов И.В., Зубков Б.В. Эффективность использования полетной информации. – М.: Транспорт, 1991. – 175 с.
3. Васильев В.И. Распознающие системы: справочник. – К.: Наукова думка, 1983. – 422 с.
4. Бортовые устройства регистрации полетных данных "Тестер – У3", Серия 3к. – К.: НПК "Электроприбор", 1981. – 14 с.
5. Справочник по перечням параметров, регистрируемых бортовыми устройствами регистрации типа "Тестер" и подлежащим анализу при межполетном контроле / ВВС. – Вып. № 5038, 1988. – 41 с.

Поступила в редколлегию 27.03.2006

Рецензент: д-р техн. наук старш. научн. сотр. О.Л. Лемко, Государственный научно-исследовательский институт авиации, Киев.