

УДК 656.7.071:658.386
ББК 74.570.22
DOI 10.51955/2312-1327_2021_1_44

МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ФИГУР ПИЛОТАЖА ПРИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНИКИ ПИЛОТИРОВАНИЯ САМОЛЕТА ЛЕТЧИКОМ

*Павел Сергеевич Назаров,
orcid.org 0000-0003-1375-9879,
Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации,
ул. Пилотов, д. 38
Санкт-Петербург, 196210, Россия
nazps@yandex*

*Сергей Алексеевич Кудряков,
orcid.org 0000-0002-1303-3528,
доктор технических наук, СИС
Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации,
ул. Пилотов, д. 38
Санкт-Петербург, 196210, Россия
Gray05.61@mail.ru*

*Владимир Валентинович Устинов,
orcid.org/0000-0002-3399-6671,
Московский государственный технический университет гражданской авиации
(Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, д. 3.
Иркутск, 664047, Россия
ustinov_1956@mail.ru*

Аннотация. В статье предложен алгоритм распознавания маневров и характерных точек на траекториях их выполнения для программной реализации алгоритмов оценки уровня натренированности летного состава по записям бортовых устройств регистрации полетной информации и обработкой записанной информации по параметрам полета на наземных устройствах обработки полетной информации типа Топаз-М.

Ключевые слова: программы летной подготовки, распознавание образов, программные реализации алгоритмов оценки техники пилотирования.

METHODOLOGY AND ALGORITHM OF IDENTIFYING AEROBATIC MANEUVERS IN SOFTWARE IMPLEMENTATION OF ASSESSMENT OF PILOTING TECHNIQUE QUALITY

Pavel S. Nazarov,
<https://orcid.org/0000-0003-1375-9879>,
Saint Petersburg State University of Civil Aviation,
38, street of Pilots,
Saint-Petersburg, 196210, Russia
nazps@yandex

Sergey A. Kudriakov
<https://orcid.org/0000-0002-1303-3528>,
Doctor of Technical Sciences
Saint Petersburg State University of Civil Aviation,
38, street of Pilots,
Saint-Petersburg, 196210, Russia
Gray05.61@mail.ru

Vladimir V. Ustinov
<https://orcid.org/0000-0002-3399-6671>,
Irkutsk Branch of Moscow State Technical University
of Civil Aviation,
3, Kommunarov
Irkutsk, 664047, Russia
ustinov_1956@mail.ru

Abstract. The authors propose an algorithm of identifying maneuvers and characteristic points on their flightpaths for software implementation of algorithms for assessing the flight crew's proficiency level according to information of flight data recorders and processing of the recorded information of flight parameters by ground-based devices for processing flight information such as Topaz-M.

Key words: programs of flight training, image recognition, software implementations of algorithms for assessing piloting technique.

В настоящее время все методики и алгоритмы по оценке качества техники пилотирования предусматривают уже распознанные точки на траекториях выполнения отдельных элементов полета и замер значений параметров оценивания в них [Шишкин и др., 2007].

Однако при подготовке курсантов летных училищ на маневренных самолетах оцениваются маневры и фигуры пилотажа, которые не предусмотрены к распознаванию при обработке записей полетной информации бортовыми регистраторами на наземных комплексах типа Топаз-М с программным обеспечением «СКАТ», Монстр-2012, СДК-8 и др.

При оценке уровня натренированности курсантов летных училищ задача программной реализации является одной из значимых [Полуэктов и др., 2008].

В настоящее время решены задачи следующих этапов полета: взлет ВС и его посадка, с выбором характерных точек на траекториях их выполнения по

заданным «портретам полета», изложенным в соответствующих инструкциях по обработке полетной информации.

Например, для оценки посадки ВС можно выделить 5 точек, программно-определенных на сигналограмме и 5 аналоговых параметров.

Данные точки характеризуются следующими показателями:

- выпуск передней стойки шасси;
- выпуск закрылков;
- пролет ДПРМ;
- пролет БПРМ;
- обжатие стойки шасси при посадке.

Пример распознавания этих точек показан на рис. 1.

Аналогично производится выбор характерных точек и замер параметров в них и для этапа взлета. Пример сигналограммы показан на рис. 2.

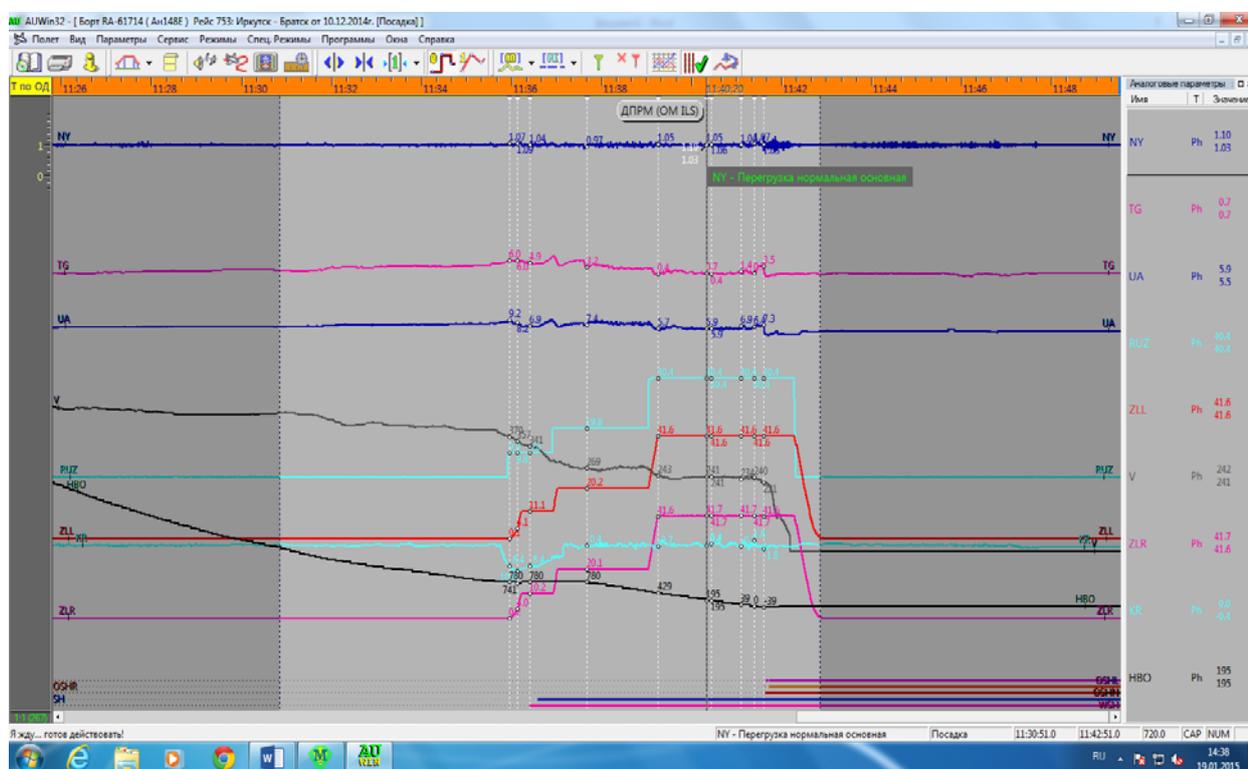


Рисунок 1 – Сигналограмма с выводом характерных точек

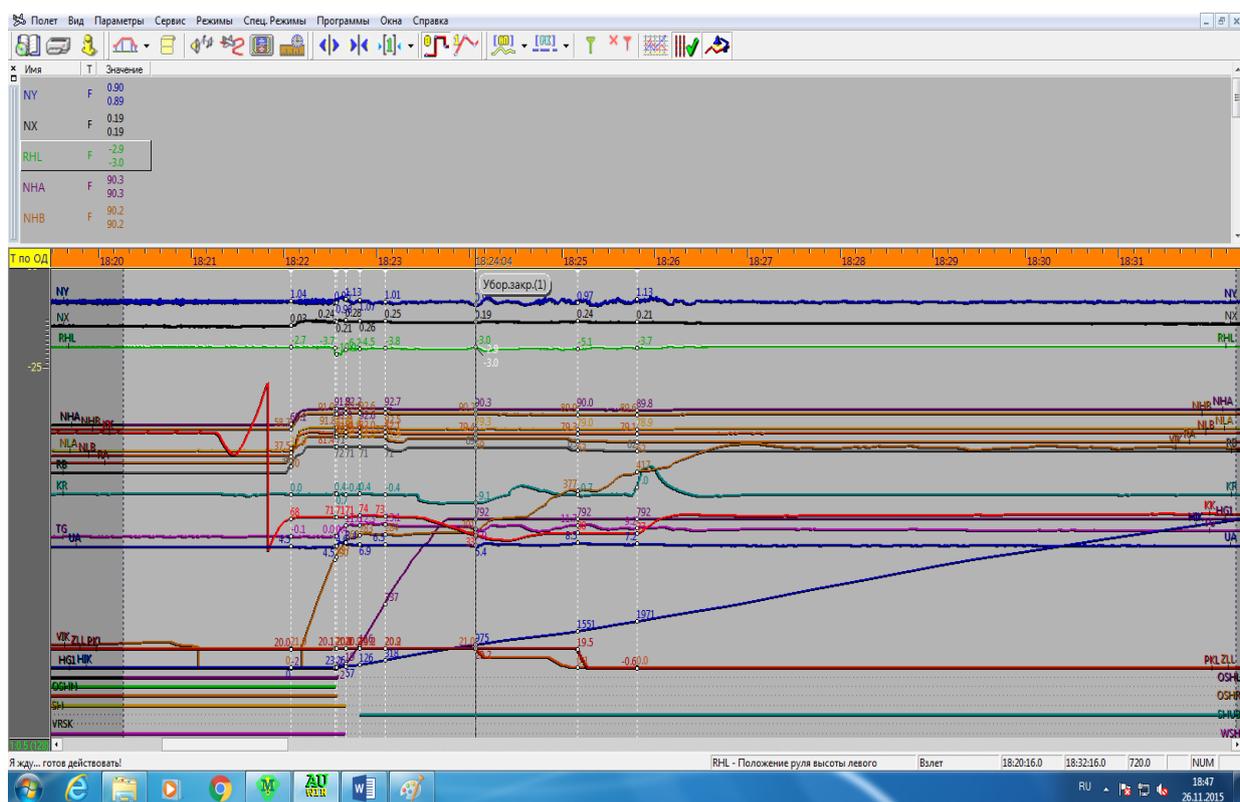


Рисунок 2 – Сигналлограмма с выводом характерных точек и значений выбранных параметров в них

Однако, в настоящее время является проблематичной задача распознавания элементов пилотажа в процессе обучения курсантов летных училищ на маневренных самолетах.

Прежде чем будет решена задача балльного оценивания качества техники пилотирования лётчиком летательного аппарата, необходимо решить задачу распознавания манёвров и фигур пилотажа.

На данный момент существует несколько подходов к решению задачи распознавания манёвров и фигур пилотажа.

Метод характерных точек

Основными операциями, которые применяются при экспресс-обработке полётных данных, являются операции сравнения замеряемых текущих значений параметров с их заданными допусками.

Данная методика распознавания маневров фигур пилотажа основана на выявлении элементов пилотажа и дальнейшем их «склеивании» [Кибардин и др., 1991]. На основании этого принципа, каждому маневру ставится в однозначное соответствие выражение типа логической функции, которое характеризует отдельные элементы данного маневра, условие и ограничение при их выполнении [Горелик и др., 1989].

Метод разделяющей гиперплоскости

Случайные векторы X_i , чьи реализации принадлежат классу S_e , распределены по p -мерному нормальному закону [Алгоритмы..., 1984]. Зная

эти законы распределения, мы можем определить к какому классу Se относится то или иное пространственное движение ЛА, определяемое его векторами – состояниями X_i . Иными словами, мы можем распознать фигуру пилотажа или маневр, выполненный летчиком. Но основная трудность использования описанного выше метода заключается в том, что законы распределения векторов X_i , описывающих разные классы Se , имеют области пересечения, которые обуславливают в процессе распознавания возникновение ошибок первого и второго рода, что может привести к ошибке в распознаваемом образе [Кибардин и др., 1987].

Использование предложенных алгоритмов для решения конкретной задачи анализа качества техники пилотирования вызывают ряд трудностей:

1) алгоритм на основе метода характерных точек частично использует аппарат алгебры логики. При его использовании приходится решать две задачи: задачу распознавания элементов полета и отдельно задачу распознавания характерных точек на траектории, так как распознавание фигур основано на использовании эталонов отдельных элементов их выполнения;

2) алгоритм на основе метода разделяющей гиперплоскости основан на использовании статистической информации о выполненных элементах полета. Для его реализации трудно построить эталонные портреты выполненных фигур.

Кроме того, трудность согласования известных алгоритмов распознавания с алгоритмом поэлементного балльного оценивания техники пилотирования приводит к необходимости разработки дополнительных алгоритмов и программ, что ведет к увеличению вычислительных операций и памяти ЭВМ.

Одним из приемлемых и простых для целей распознавания на малых ЭВМ методов является метод, основанный на использовании аппарата алгебры логики [Сень и др., 1991].

Для выбора параметров оценки техники пилотирования и безопасности полётов использованы требования «Руководства по летной эксплуатации», результаты ряда работ, а также проведённый экспертный опрос лётчиков.

Для распознавания фигур пилотажа самым простым с точки зрения машинного метода обработки записей бортовых регистраторов является выбор характерных точек с наличием экстремумов (максимальное значение перегрузки или угла атаки, минимальное значение скорости на этапе выполнения фигуры). Простейший пример выбора точек на траектории выполнения фигуры «Боевой разворот» или «Разворот с набором высоты» показан на рис. 3 и таблицы 1.

Таблица 1 – Пример распознавания характерных точек

| № точки | Условное наименование | Характерные признаки |
|---------|-----------------------|-------------------------------|
| 1 | $n_y > 1$ | Начало возрастания перегрузки |
| 2 | $n_y = n_{ymax}$ | Мах значение перегрузки |
| 3 | $v = v_{max}$ | Мах значение тангажа |

| № точки | Условное наименование | Характерные признаки |
|---------|-------------------------|------------------------|
| 4 | $\gamma = \gamma_{max}$ | Мах значение крена |
| 5 | $\gamma = 0$ | Нулевое значение крена |

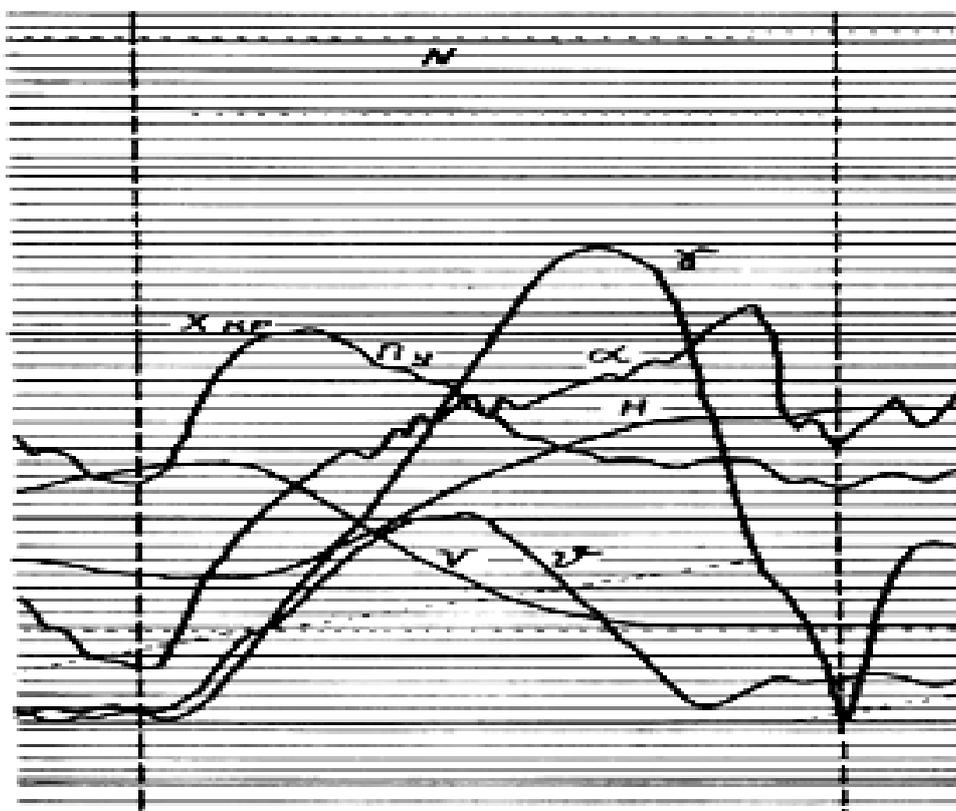


Рисунок 3 – Пример сигналограммы выполнения фигуры

После выбора и оптимизации параметров распознавания необходимо получить сигналограмму значений этих параметров. Для большей наглядности изменения этих параметров во времени построим их тренды. Для этой цели воспользуемся методом наименьших квадратов.

Тренд описывает усреднённую тенденцию развития во времени и применяется только в случаях, если наблюдаются скачкообразные изменения параметров, что может привести к ошибкам при распознавании. Примеры построения тренда приведены на рис. 4.

Как было сказано ранее, наиболее простым и приемлемым для целей распознавания на малых ЭВМ методов является метод, основанный на использовании аппарата алгебры – логики.

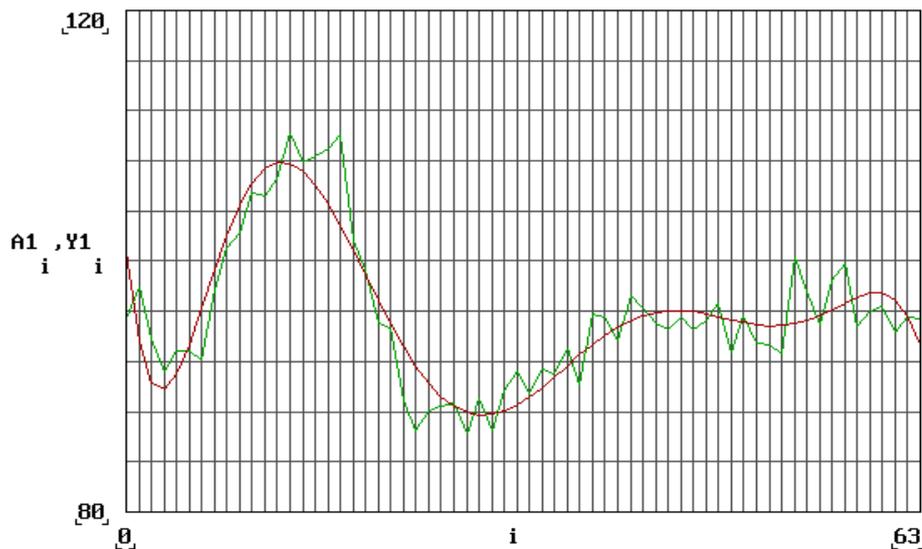


Рисунок 4 – Пример построения тренда параметра

В качестве априорных показателей признакового пространства выбираются относительные значения параметров по трем последовательным кадрам записи системы объективного контроля:

$$b_i^1 = A_{ij} - A_{ij-1}$$

$$b_i^2 = A_{ij+1} - A_{ij}$$

где A_{ij} – значение i -го параметра ($i=1,n$) в кадре записи ($j=1,m-1$).

Таким образом, получаем две матрицы исходных данных, которые имеют значение логических переменных "0" или "1". Общая размерность векторов B_i^1 и B_i^2 составляет $3n$, так как при:

$B_i^1 < 0, i=1,n$ – значение «1» ставится в i -ую позицию вектора параметров;

$B_i^1 = 0, i=1,n$ – значение «1» ставится в $i+n$ позицию, где n – период – общее число параметров распознавания;

$B_i^1 > 0, i=1,n$ – значение «1» ставится в $i+2n$ позицию.

Аналогичным образом формируется вектор B_i^2 . Значения этих векторов сравниваются со значениями эталонов, представленными в виде матриц.

T_{ik1} и T_{ik2} , где $i=1,n$ – определяет тип параметра СОК.

$k=1, K$ – определяет номер характерной точки на траектории соответствующего маневра или фигуры пилотажа;

$l=1, L$ – определяет вид фигуры или маневра.

При выполнении отношения

$$X_{kl} = \{B_i^1 \wedge T_{ik1}\} \wedge \{B_i^2 \wedge T_{ik2}\} = 1 ;$$

запоминается значение параметров $i = 1, n$, определённых в j -ом кадре записи, соответствующих той или иной характерной точке. Таким образом будем иметь:

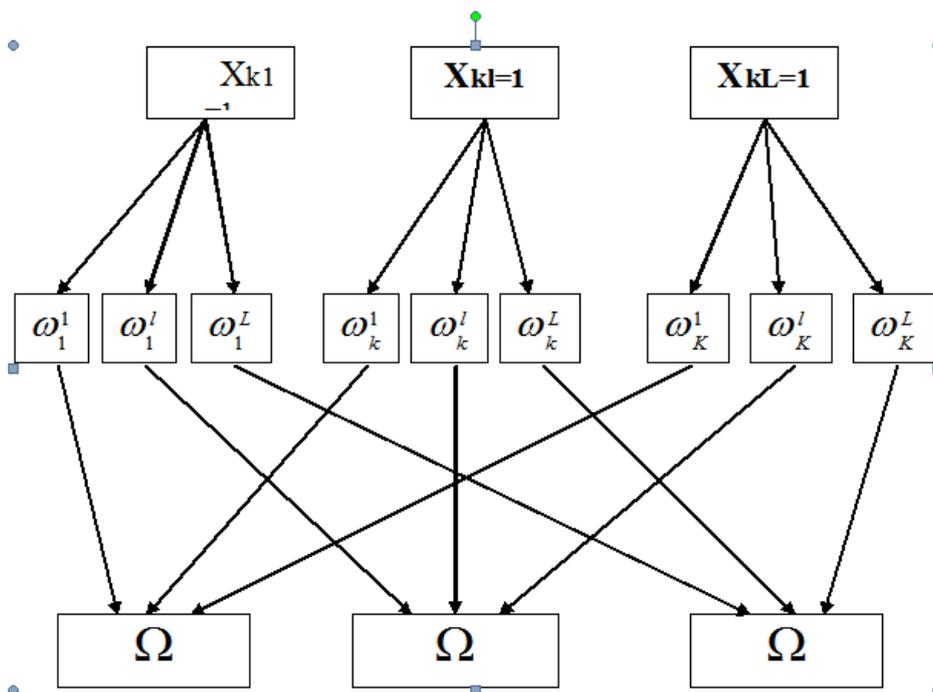


Рисунок 5 – Алгоритм распознавания

Предложенный алгоритм апробирован при распознавании двух фигур. Исходные данные СОК вводились в ЭВМ по кадрам записи через интервал времени $t=2с$.

Разработка эталонных таблиц производилась по множеству сигналограмм реализации полетных заданий (по трендам изменения параметров, входящих в критерий распознавания). По характеру изменения текущих значений параметров в данных точках (по закону приращения, получаемого в этих точках относительно соседних точек, кадров записи) были составлены эталонные логические таблицы, две из которых для фигур «горка» и «разворот с набором высоты» приведены в табл. 2 и 3.

Построение таких таблиц упрощается тем, что курсанты летных училищ проходят обучение по строго определенным программам при заданной последовательности выполняемых упражнений, причем каждое упражнение содержит наперед заданную последовательность выполнения элементов полета, маневров или фигур пилотажа.

Первая часть таблицы показывает эталонные для распознавания признаки между первым и вторым кадрами записи бортового регистратора с условиями соответствия значений больше или меньше (да или нет, 0 или 1).

Вторая часть таблицы сравнивает показания между 3 и вторым кадрами записи. Таким образом, вся последовательность работы алгоритма сводится к последовательному сравнению 3-х кадров записи, следующих один за другим за время регистрации, определенное в упражнении элемента полета.

Таблица 2 – Эталонные таблицы для фигуры пилотажа «Разворот с набором высоты»

| № точки | Δt_i^1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|----------------|---------|---------|------------|---------|--------------|-----------|---------|---------|------------|---------|--------------|-----------|---------|---------|------------|---------|--------------|
| | $n_y > 0$ | $V > 0$ | $H > 0$ | $\psi > 0$ | $g > 0$ | $\gamma > 0$ | $n_y = 0$ | $V = 0$ | $H = 0$ | $\psi = 0$ | $g = 0$ | $\gamma = 0$ | $n_y < 0$ | $V < 0$ | $H < 0$ | $\psi < 0$ | $g < 0$ | $\gamma < 0$ |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Δt_i^2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

Таким образом, при оценке качества техники пилотирования [Кашковский и др., 2013] и планирования программ подготовки курсантов летных училищ на маневренных самолетах [Назаров и др., 2016], выполняющих множество различных маневров и фигур пилотажа, применение программного метода распознавания образов полета является значительной задачей.

Таблица 3 – Эталонные таблицы для фигуры пилотажа «Горка»

| № точки | Δt_i^1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|----------------|---------|---------|------------|---------|--------------|-----------|---------|---------|------------|---------|--------------|-----------|---------|---------|------------|---------|--------------|
| | $n_y > 0$ | $V > 0$ | $H > 0$ | $\psi > 0$ | $g > 0$ | $\gamma > 0$ | $n_y = 0$ | $V = 0$ | $H = 0$ | $\psi = 0$ | $g = 0$ | $\gamma = 0$ | $n_y < 0$ | $V < 0$ | $H < 0$ | $\psi < 0$ | $g < 0$ | $\gamma < 0$ |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Δt_i^2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Библиографический список

Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / под ред. В. Н. Вапника. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. С. 108-160.

Горелик А. Л. Методика распознавания: учеб. пособие для ВУЗов / А. Л. Горелик, Б. А. Скрипкин. 3-е издание. М.: Высшая школа, 1989. 232 с.

Кашковский В. В. Методика объективной оценки профессиональной подготовленности летного состава маневренных самолетов / В. В. Кашковский, В. В. Устинов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2013. № 187. С. 161-163.

Кибардин Ю. А. Задачи распознавания событий в интересах повышения уровня безопасности полетов / Ю. А. Кибардин, Ю. И. Лукин, В. Д. Жмеренецкий; под ред. Ю. А. Кибардин. М.: ВВИА, 1987. С. 38-44.

Кибардин Ю. А. Методика и алгоритм распознавания маневров и фигур пилотажа по данным СОК / Ю. А. Кибардин, В. В. Устинов // Научно-методические материалы по проблемам обеспечения безопасности полетов. М.: ВВИА, 1991. С. 1–18.

Назаров С. П. Один из подходов к оцениванию уровня подготовки курсантов летных училищ с учетом качества выполнения полетного задания / С. П. Назаров, В. В. Устинов // Сборник трудов III Всероссийской научно-технической конференции преподавателей, научных работников и аспирантов с международным участием «Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации». ИФ МГТУ ГА, Иркутск, 2016. С. 84-91.

Полуэктов С. П. Методика и алгоритм объективного оценивания уровня натренированности летного состава (депонированная рукопись) / С. П. Полуэктов, В. В. Устинов, Ю. Н. Шишкин // Сборник рефератов деп. рукописей, вып. 82, серия Б, инф. Б, М.: ЦВНИ МО РФ, 2008.

Сень Л. В. Один из подходов к решению задачи распознавания этапов полета на АТ / Л. В. Сень, В. В. Устинов // Материалы IV Всесоюзной научно-технической конференции. Пенза: ППО «Эра», 1991. С. 38-44.

Шишкин Ю. Н. Методика объективного оценивания уровня обученности курсантов летных училищ и планирования их летной подготовки / Ю. Н. Шишкин, В. В. Устинов, А. С. Желтухин // Межвузовский сборник «Актуальные проблемы вузов ВВС», вып.23. М: МО РФ, ВВС, 2007. С. 15-18.

References

Algorithms and programs of dependence recovery (1984) / ed. by V. N. Vapnik. M.: Nauka, Chief editorial board of physic-mathematical literature, 1984. Pp. 108-160. (In Russian).

Gorelik A. L. (1989) Identification methodology: textbook for higher schools / A. L. Gorelik, B. A. Skripkin. 3rd edition. M.: Vysshaya shkola, 1989. 232 p. (In Russian).

Kashkovsky V. V. (2013) Method of objective assessment of the professional training of the flight crew of maneuverable aircraft / V. V. Kashkovsky, V. V. Ustinov // Scientific Bulletin of MSTUCA, 2013. No. 187 (1). Pp. 161-163. (In Russian).

Kibardin Y. A. (1987) Tasks of identifying events in the interests of increasing the flight safety level / Y. A. Kibardin, Y. I. Lukin, V. D. Zhmerenetskiy; ed. by Y. A. Kibardin. M.: AFEA, 1987. Pp. 38-44. (In Russian).

Kibardin Y. A. (1991) Method and algorithm for recognition maneuvers and maneuvers according to SDC / Y. A. Kibardin, V. V. Ustinov // Scientific and methodological materials on safety. M: VVIA, 1991. Pp. 1-18. (In Russian).

Nazarov S. P. (2016) One of the approaches to assessing the level of training of flight students taking into account the quality of flight tasks / S. P. Nazarov, V. V. Ustinov // Collected papers of the 3d all-Russian scientific and technical conference of teachers, researchers and postgraduates with international participation "Current problems and prospects of civil aviation development". MSTU CA, Irkutsk, 2016. Pp. 84-91. (In Russian).

Poluektov S. P. (2008) Methodology and algorithm of objective assessment of flight crew's proficiency level (deposited manuscript) / S. P. Poluektov, V. V. Ustinov, Y. N. Shishkin // Collected abstracts of dep. Manuscripts, issue 82, series B, inf. B, M.: SFLMRD of RMoD, 2008. (In Russian).

Sen' L. V. (1991) One of approaches to solving the problem of identifying flight stages on АТ / L. V. Sen', V. V. Ustinov // Materials of 4th All-Russian science and technical conference. Penza: «Era», 1991. Pp. 38-44. (In Russian).

Shishkin Y. N. (2007) Method of objective assessment of the level of training of flight students and planning their flight training / Y. N. Shishkin, V. V. Ustinov, A. S. Zheltukhin // Intercollegiate collection "Actual problems of air force universities", vol.23. M: MD RF, AF, 2007. Pp. 15-18. (In Russian).