

УДК 351.814.2

DOI 10.51955/23121327_2022_1_51

МЕТОДИКА, АЛГОРИТМ И КРИТЕРИЙ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ МАНЁВРА ЗАХОДА НА ПОСАДКУ И ПОСАДКИ СРЕДНЕМАГИСТРАЛЬНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА ПО ДАННЫМ СРЕДСТВ ОБЪЕКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

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

*Виктор Владимирович Кашковский,
orcid.org/0000-0002-2865-2129,
доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник
Иркутский государственный университет путей сообщения,
ул. Чернышевского, 15
Иркутск, 664074, Россия
viktor.kashkovskij@mail.ru*

*Лусине Геворговна Чобанян
orcid.org/0000-0001-8413-3668
Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3.
Иркутск, 664047, Россия
lusine.chobanyan@inbox.ru*

Аннотация. В работе предложены методики и алгоритмы оценивания техники пилотирования среднемагистрального воздушного судна на этапе захода на посадку и непосредственно посадки воздушного судна (ВС) с учётом весовых коэффициентов значимостей параметров полёта и этапов выполнения манёвра.

Целью работы является снижение трудозатрат на обработку полётной информации, исключение субъективизма и повышение достоверности результатов оценивания качества техники пилотирования воздушного судна лётчиком в рамках существующей системы объективного контроля гражданской авиации Российской Федерации.

Новизна работы заключается в разработке комплексного критерия оценки качества техники пилотирования самолёта лётчиком с учётом разработки алгоритмов и программ расчёта весовых коэффициентов значимостей каждого из параметров и этапов выполнения элемента полётного задания, коррелированности параметров, качественного или количественного оценивания выполняемых лётных задач.

Таким образом, определена целесообразность разработки и внедрения отдельного программного модуля для наземного комплекса обработки полётной информации типа «Топаз-М».

Ключевые слова: безопасность полётов, техника пилотирования, нормальный закон распределения случайных величин, весовые коэффициенты.

THE METHODOLOGY, ALGORITHM AND CRITERION OF QUANTITATIVE EVALUATION OF THE QUALITY OF THE LANDING APPROACH MANEUVER AND LANDING OF A MEDIUM-HAUL AIRCRAFT ACCORDING TO THE DATA OF OBJECTIVE CONTROL MEANS

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

*Viktor V. Kashkovsky,
orcid.org/0000-0002-2865-2129,
Doctor of Sciences (Technical), Professor
Irkutsk State Transport University,
Chernyshevskyst, 15
Irkutsk, 664074, Russia
viktor.kashkovskij@mail.ru*

*Lusine G. Chobanyan,
orcid.org/0000-0001-8413-3668,
Moscow State Technical University of Civil Aviation, Irkutsk branch,
3, Kommunarov
Irkutsk, 664047, Russia
lusine.chobanyan@inbox.ru*

Abstract. The paper proposes methods and algorithms for evaluating the piloting technique of a medium-haul aircraft at the stage of the landing approach maneuver and landing itself, considering the weighting coefficients of the significance of the flight parameters and the stages of the maneuver.

The paper aims to reduce labor costs for processing flight information, eliminate subjectivity and increase the reliability of the results of the evaluation of the quality of aircraft piloting techniques by the pilot within the existing system of objective control of civil aviation of the Russian Federation.

The novelty of the paper is in the development of a complex criterion for evaluating the quality of aircraft piloting techniques by the pilot. The development of algorithms and programs for calculating the weighting coefficients of the significance of each parameter and the stages of the flight task element, the correlation of parameters, qualitative or quantitative evaluation of the flight tasks performed are taken into account.

Thus, the expediency of developing and implementing a separate software module for a ground-based flight information processing complex of the «Topaz-M» type has been determined.

Key words: flight safety, piloting techniques, the normal law of distribution of random variables, weight coefficients.

Введение

Планы и программы подготовки лётного состава являются обязательными регламентирующими документами, определяющими объем, задачи и качество подготовки лётного состава, формирующими навыки и умения в управлении летательным аппаратом.

В настоящее время обязательным требованием Международной организации гражданской авиации ИКАО является установка на ВС всех типов бортовых устройств регистрации полётной информации и применение наземных систем контроля для её обработки. Цели и задачи обработки полётной информации определены в литературе [Руководство по организации..., 2020].

Среди прочих задач по обработке полётной информации существует актуальная задача оценивания качества профессиональной подготовленности лётного состава, полноты освоения ими учебной программы и уровня натренированности. В настоящее время она решается преимущественно ручными методами. Недостатком такого подхода является то, что получение результата требует высокой профессиональной подготовки оператора и значительных затрат времени для обработки полётной информации. Другим недостатком является то, что при ручной обработке не производится накопление информации по каждому лётчику и не анализируются тенденции в его качестве пилотирования. Из-за этого прогнозные модели натренированности лётчиков отсутствуют как таковые.

В настоящее время для наземной обработки полётной информации используются системы «Топаз-М», «Монстр-2012», СДК-8 и др. Используемые в их составе ЭВМ позволяют автоматизировать оценку качества профессиональной подготовленности лётного состава, полноты освоения ими учебной программы и уровня натренированности процесса. Практическое применение автоматических алгоритмов нахождения подобной оценки позволило бы не только повысить качество профессиональной подготовленности лётного состава, но и свести к минимуму субъективизм оценивания их уровня профессиональной подготовленности. Однако программное обеспечение для решения подобной задачи в этих комплексах до сих пор отсутствует и, по сути, нет эффективных практических методик по её реализации.

Discussion (Дискуссия)

В работе [Благинин, 2009] показан один из подходов к анализу надежности оператора в нестандартных ситуациях. Действия лётного состава можно предварительно отрабатывать на авиационных тренажерах. Недостатками работы является то, что на практике в процессе обучения и дальнейшей лётной подготовке целесообразно отслеживать качество техники пилотирования ВС лётчиком при выполнении каждого полёта и каждого его элемента при повседневных полетах в стандартных условиях.

В работах [Зиньковская, 2006, Ponomarenko, 2006] рассмотрены вопросы подготовки лётного состава и, в частности, оценка человеческого фактора в области обеспечения безопасности полётов. Недостатками работы является то, что методика направлена только на учет влияния человеческого фактора на безопасность полетов или качества пилотирования, но не позволяет отследить другие показатели.

Работа [Таран, 1996] посвящена одному из основных направлений повышения безопасности полётов, а именно оценке эргономики при

проектировании и изготовлении ВС. В работе рассмотрены факторы, учитывающие только эргономические аспекты, позволяющие летному составу улучшить пилотирование, но не позволяющие отследить ошибки пилотирования.

Наиболее близкими к тематике являются работы [Kuklevetal., Yakovlevetal., 2021], в которых описаны реакции лётчиков и методики управления ВС, однако также нет привязки к анализу каждого выполненного полёта и предотвращения выпуска в полёт неподготовленного лётчика. В данной работе рассмотрены только управляющие действия лётчика для оценки техники пилотирования. Однако помимо этих показателей качества пилотирования целесообразно использовать именно отклонения значений параметров от нормативов при выполнении манёвра захода на посадку, что является обязательным показателем особенно при обучении начинающих лётчиков (курсантов летных училищ).

Методики распознавания манёвров или фигур пилотажа, предложенные в работах [Румянцев и др., 1976, Устинов, 1991], могут быть использованы только для манёвренных воздушных судов. В нашем случае рассматриваются среднемагистральные ВС и только выполнение манёвра захода на посадку, методика распознавания которых уже заложена в программном обеспечении наземных устройств обработки полетной информации.

Таким образом, несмотря на относительно большое количество научных работ по данной тематике, необходимо признать, что решение поставленной задачи по-прежнему остаётся актуальным.

Materials and methods (Материалы и методы)

В данной работе использован статистический метод балльного оценивания качества техники пилотирования. Такой подход достаточно прост и обоснован целым рядом исследований.

За эталонные значения параметров принимаются их математические ожидания и среднеквадратические отклонения, вычисленные при достаточном числе реализаций заданного элемента полёта и соответствующие эталонным значениям, указанным в программах и инструкциях по лётной подготовке.

В большинстве случаев, параметры, характеризующие качество выполнения этого элемента, подчинены нормальному закону распределения, плотность вероятности которого определяется общими выражениями для многомерного и одномерного распределений [Вентцель, 2006; Устинов, 2014; Кашковский и др., 2013]:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \left(2\pi^{-\frac{n}{2}} \right) \exp \left\{ -\frac{1}{2} X_0^T M^{-1} X_0 \right\} \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

Из общего выражения вытекают все формы нормального закона для любого числа измерений и для любых видов зависимости между случайными величинами. Анализ этих законов позволяет определить критерий оценки качества техники пилотирования, который может быть выражен [Полуэктов и др., 2008; Назаров и др., 2020]:

$$X_0^T M^{-1} X_0 \leq R(t), \quad (3)$$

где: $X_0 = \frac{(\bar{X}-X)^2}{\sigma^2}$;

M – корреляционная матрица размерностью $n \times n$;

$X=(x_1, x_2, \dots x_n)$ – вектор текущих значений параметров;

$\bar{X} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots \bar{x}_n)$ – вектор математических ожиданий значений параметров;

$\sigma^2 = (\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots \sigma_n^2)$ – вектор среднеквадратических значений параметров;

$R(t)$ – эталонные значения критерия оценивания, выраженные в долях среднеквадратических отклонений.

Например, $R(t_5)$ – эталонное значение критерия оценивания для оценки «отлично» при $t=1$, т.е. попадания случайной величины (значения параметра) в интервал равный 1σ .

Расчет относительных значений параметров по этапам предпосадочного манёвра и значений отклонений текущих значений параметров, входящих в критерий оценивания, производится по формулам:

$$X = \{(H_{02} - H_{01}); (H_{03} - H_{02}); \dots (\alpha_{05} - \alpha_{04})\},$$

$$X_0 = \left\{ \frac{(H_1 - H_1)^2}{\sigma_{H_1}^2}; \frac{(H_2 - H_2)^2}{\sigma_{H_2}^2}; \dots \frac{(\alpha_5 - \alpha_5)^2}{\sigma_{\alpha_5}^2} \right\}. \quad (4)$$

Расчет текущих значений показателей качества для выбранных параметров производится по формуле:

$$G(t) = \left\{ \frac{(\bar{H}-H)^2}{\sigma_H^2} \frac{(\bar{V}-V)^2}{\sigma_V^2} \frac{(\bar{n}_y-n_y)^2}{\sigma_{n_y}^2} \frac{(\bar{a}-a)^2}{\sigma_a^2} \frac{(\bar{\gamma}-\gamma)^2}{\sigma_\gamma^2} \frac{(\bar{\vartheta}-\vartheta)^2}{\sigma_\vartheta^2} \right\} M^{-1} \left\{ \frac{(\bar{H}-H)^2}{\sigma_H^2} \frac{(\bar{V}-V)^2}{\sigma_V^2} \frac{(\bar{n}_y-n_y)^2}{\sigma_{n_y}^2} \frac{(\bar{a}-a)^2}{\sigma_a^2} \frac{(\bar{\gamma}-\gamma)^2}{\sigma_\gamma^2} \frac{(\bar{\vartheta}-\vartheta)^2}{\sigma_\vartheta^2} \right\}^T \quad (5)$$

Задавая величины относительных отклонений $t=\{1\sigma, 2\sigma, 3\sigma\}$, получаем балльные оценки.

При подстановке величин отклонений определяются интервалы их попаданий в эталонные значения, т.е. интервал 1σ , 2σ и 3σ , показанные на рис. 1.

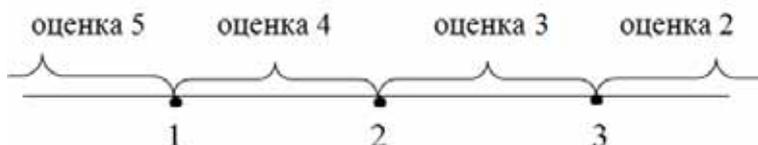


Рисунок 1– График балльного оценивания техники пилотирования

Данное выражение может быть использовано в качестве критерия оценивания качества пилотирования летательного аппарата лётчиком по совокупности количественных значений параметров, определяющих траекторию выполнения различных манёвров или фигур пилотажа [Кибардин,1999].

При этом, если $X_0^T M^{-1} X_0 \leq R(t)$, то значения параметров входят в поле допусков.

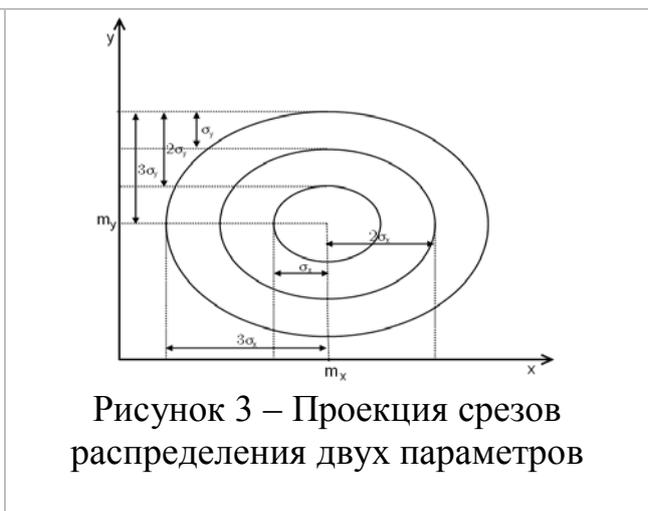
Поставив в соответствие значениям относительных отклонений t количественные (балльные) оценки, например, по четырёхбалльной шкале оценивания получаем выражение:

$$\begin{aligned}
 Q &= 5 \text{ ----- } X_0^T M^{-1} X_0 \leq R(t_5) \\
 Q &= 4 \text{ ----- } R(t_5) \leq X_0^T M^{-1} X_0 \leq R(t_4) \\
 Q &= 3 \text{ ----- } R(t_4) \leq X_0^T M^{-1} X_0 \leq R(t_3) \\
 Q &= 2 \text{ ----- } X_0^T M^{-1} X_0 \leq R(t_3)
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Формирование оценок по качеству

$$Q_{\text{бал}} = \begin{cases} 5 \text{ при } X_0^T C X_0 \leq R(t_5) \\ 4 \text{ при } R(t_5) < X_0^T C X_0 \leq R(t_4) \\ 3 \text{ при } R(t_4) < X_0^T C X_0 \leq R(t_3) \\ 2 \text{ при } R(t_3) < X_0^T C X_0 \end{cases}$$

пилотирования можно пояснить графически на примере нормального закона распределения двух параметров x и y , показанных на рис. 2, 3.



Выбор характерных точек, параметров оценивания и замер значений каждого параметра в точке осуществляются по сигналаграммам и требованиям нормативных документов, в частности по рекомендациям, указанным в стандартных заданиях для программно-аппаратных комплексов наземных устройств обработки полётной информации. Важным фактором при решении поставленной задачи является возможность в автоматизированном режиме или при ручной обработке записей параметров бортовыми регистраторами распознать характерные точки на траекториях выполнения элементов полёта и провести замер значений параметров в них [Назаров и др.,2021].

Кроме того, для наиболее значимых элементов полёта, таких как взлет и посадка, эти точки и значения параметров в них определяются автоматически при обработке полётной информации на наземных комплексах [Назаров, 2021].

Таким образом, предлагаемые алгоритм и критерий оценивания качества техники пилотирования имеют значительные преимущества по сравнению с существующими: использован комплексный критерий не по одному, а по совокупности параметров и их отклонений от эталонов, учет коррелированности каждого параметра (влияния одного параметра на изменение параметров в других точках траектории выполнения маневра), учет весовых коэффициентов значимостей параметров оценивания.

Кроме того, идет постоянное обновление базы данных по отклонениям параметров после каждого выполнения полетного задания.

Анализ и результаты

Разработанные методики, алгоритмы и критерии реализованы в виде программного обеспечения и использованы в практике обработки полётной информации бортовых регистраторов среднемагистральных и учебных воздушных судов.

Алгоритм позволяет решить следующие основные задачи:

- Распознать в автоматическом (программном) режиме или по сигналам записей бортовых устройств регистрации и обработанных на наземных программно-аппаратных комплексах типа «Топаз-М» выполняемые манёвры или фигуры пилотажа.

- Распознать или определить характерные (экстремальные) точки на траектории их выполнения.

- Произвести выбор параметров оценивания.

- Замерить значения выбранных параметров в заданных точках.

- Рассчитать относительные значения параметров по этапам выполнения манёвра или фигуры пилотажа.

- Рассчитать коэффициенты значимостей параметров, входящих в критерий оценивания.

- Рассчитать коэффициенты значимостей каждого этапа выполнения полётного задания.

- По заданному алгоритму и критерию оценить качество выполнения каждого этапа и манёвра или фигуры пилотажа в целом с учётом весовых коэффициентов.

- Определить наиболее характерные ошибки в технике пилотирования и выработать соответствующие рекомендации по их устранению.

Для реализации программного обеспечения использован алгоритм, показанный на рис. 4.

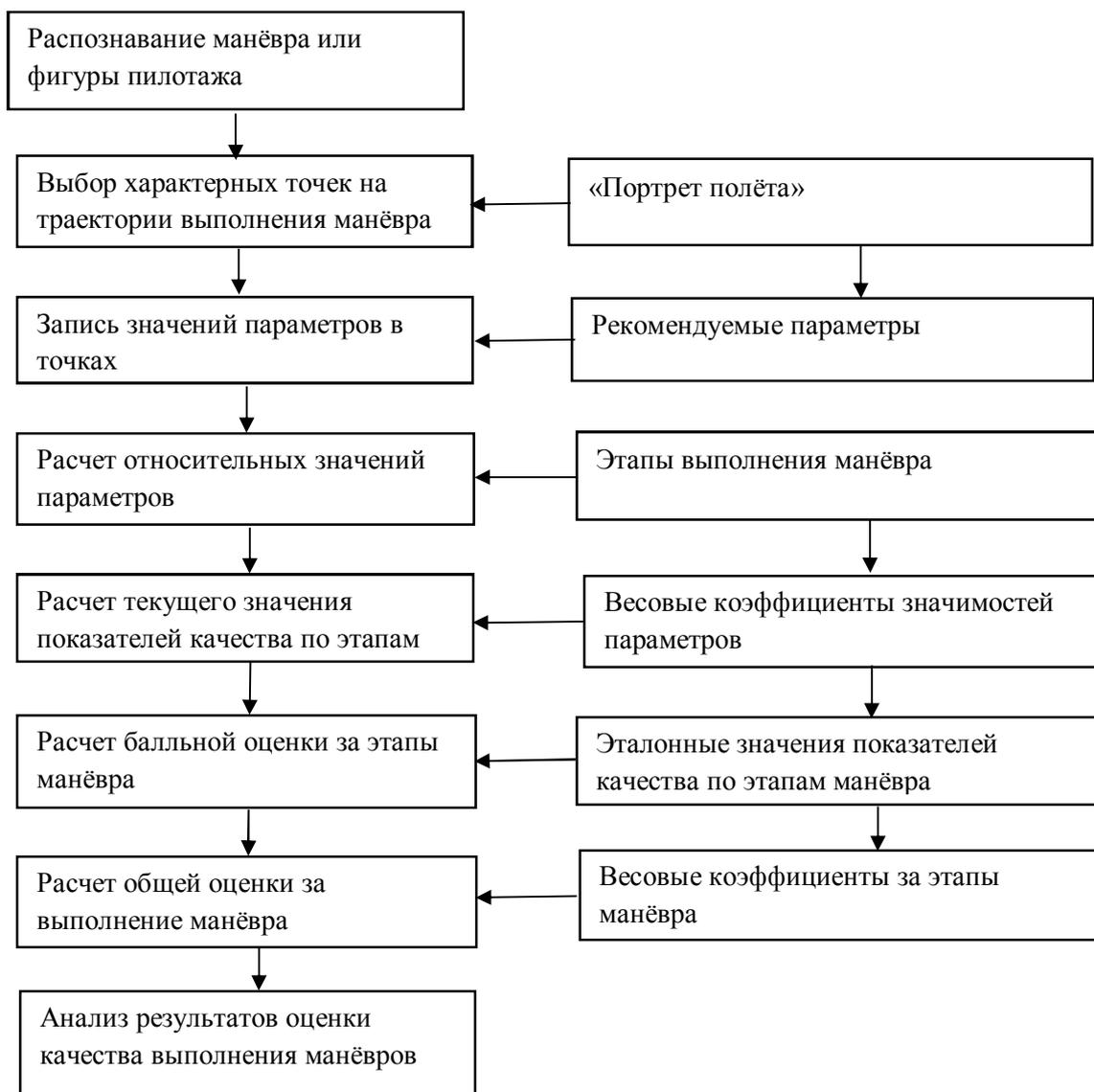


Рисунок 4 – Формализованная блок-схема алгоритма оценки качества техники пилотирования

В качестве примера практической реализации предложенных методик, алгоритма и критерия оценивания качества техники пилотирования использованы статистические данные, полученные при обработке записей бортовых регистраторов для среднемагистрального воздушного судна лётчиком на этапе захода на посадку и посадки среднемагистрального воздушного судна, а также для манёвренного ВС для фигуры пилотажа «Штопор».

Для среднемагистральных воздушных судов такие точки и параметры целесообразно выбирать на основании анализа «Портретов полёта», которые описаны в руководствах по лётной эксплуатации и в описаниях наземных устройств обработки полётной информации.

В результате выполненных исследований полётов среднемагистрального ВС, в портрет захода на посадку включены 6 точек, программно-определённых по сигналограмме, и 6 аналоговых параметров. Данные точки сведены в табл. 1.

Выбор параметров, характеризующих портрет захода на посадку, показан в табл. 2.

Таблица 1 – Перечень контрольных и технологических точек, образующих основу портрета захода на посадку

Код операции	Наименование
S051	Выпуск предкрылков
S056	Выпуск шасси
S057	Выпуск закрылков
S059	Пролёт РТВГ
S062	Начало снижения
S066	Пролёт ДПРМ

Таблица 2–Перечень ограничений на этапе захода на посадку

Код операции	Наименование
S701	Скорость при выпуске шасси более макс. допустимой
S702	Скорость в конце выпуска закрылков более допустимой
S706	Макс. крен при 3 или 4 развороте более допустимого
S710	Поздний выпуск закрылков
S714	Скорость при вписывании в глиссаду более допуст.
S715	Н ДПРМ более заданной
S716	Н ДПРМ менее заданной
S719	Превышение макс. крена на глиссаде
S722	Малая скорость на глиссаде
S725	Н БПРМ более допустимой
S726	Н БПРМ менее допустимой
S727	Z БПРМ более допустимой

Данные точки портрета захода на посадку характеризуются следующими показателями:

- выпуском закрылков;
- выпуском шасси;
- пролётом дальнего привода ДПРМ;
- рубежом входа в глиссаду;
- пролётом ближнего привода БПРМ;

– касанием ВПП.

В предлагаемый критерий оценивания качества техники пилотирования внесены параметры:

- барометрическая высота полёта $H_б$;
- приборная скорость полёта $V_{пр}$;
- нормальная перегрузка n_y ;
- угол крена γ ;
- истинный курс ψ ;
- угол атаки α .

Примеры результатов обработки полётной информации показаны в виде сигналограмм, представленных на рис. 5-7.

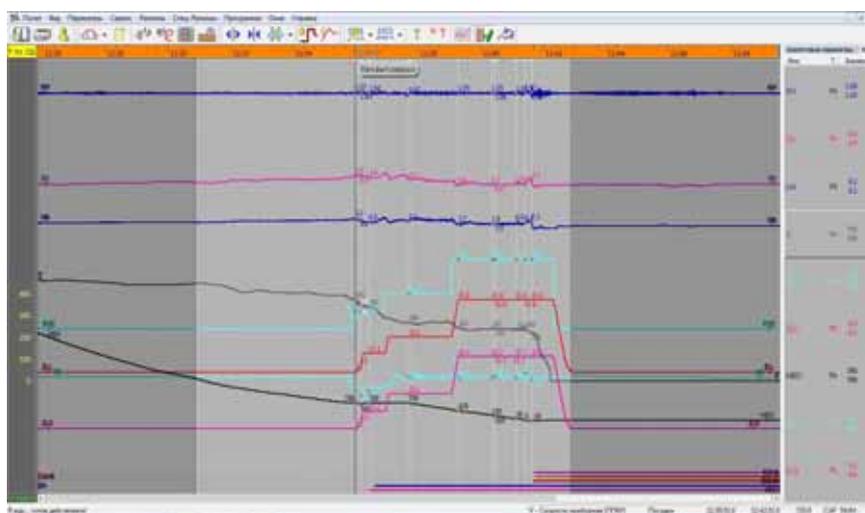


Рисунок 5– Сигналограмма параметров для точки «Выпуск закрылков»

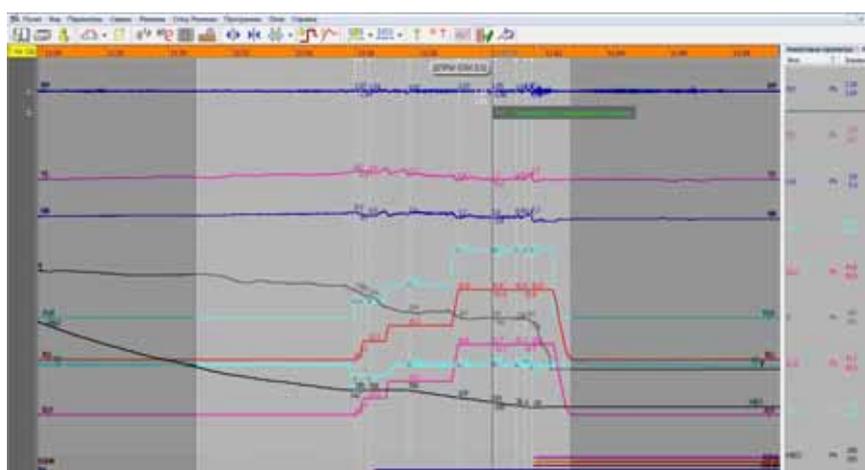


Рисунок 6– Сигналограмма параметров для точки «Пролет ДПРМ»

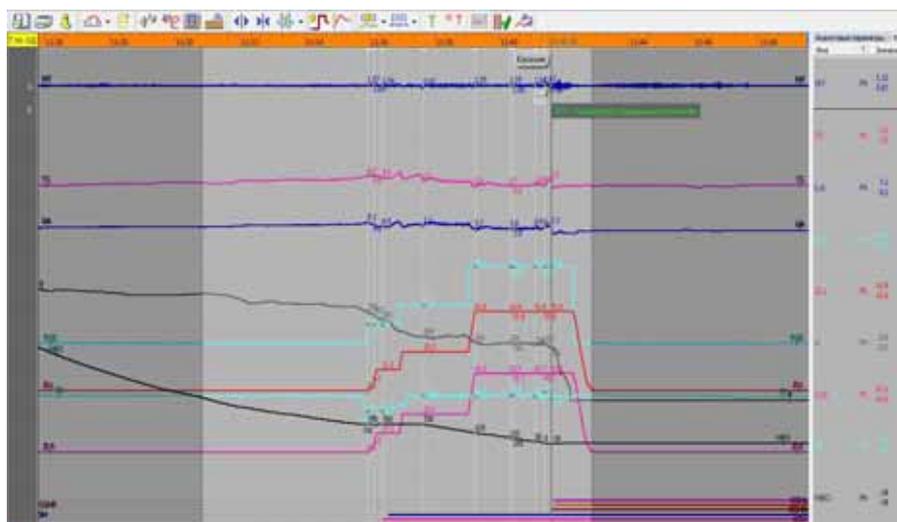


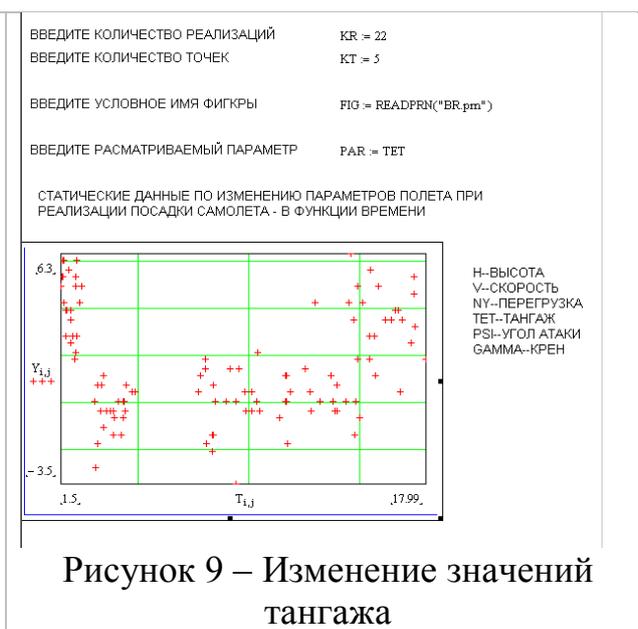
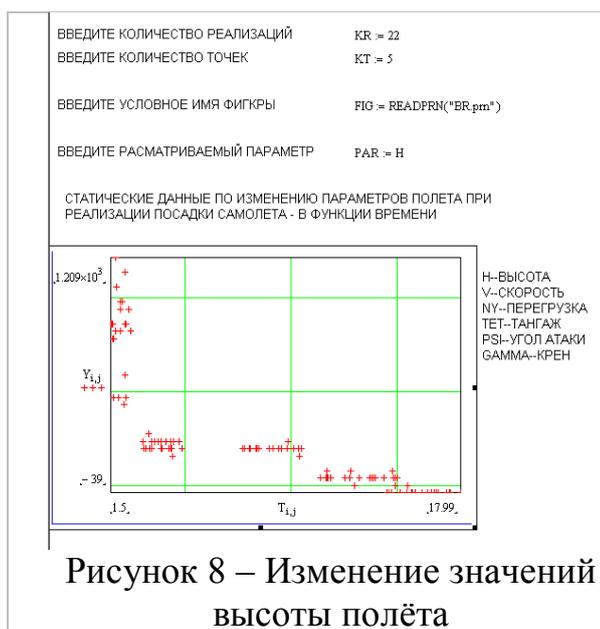
Рисунок 7– Сигналограмма параметров для точки «Касание»

Проверка работоспособности алгоритма оценивания качества техники пилотирования проводилась на примере 40 реализаций на этапе захода на посадку.

Программы разрабатывались в среде «MathCad». Значения параметров выбирались по характерным точкам траектории выполнения посадки из базы данных, полученной при решении задачи распознавания параметров полёта.

При просмотре общей сигналограммы для удобства анализа результатов целесообразно высвечивать на экране значения регистрируемых параметров по характерным точкам и текущее время, кроме этого, на экране должны быть высвечены условные наименования параметров. Программа должна быть универсальной и предусматривать просмотр отдельных параметров.

На первоначальном этапе целесообразно просмотреть пространство изменений параметров, пример которых показан на рис.8, 9.



Для проверки работоспособности критерия необходимо рассчитать математические ожидания M_x и среднеквадратические отклонения σ_x для каждого параметра, входящего в критерий оценивания.

Для примера на рис.10, 11 приведены расчётные значения математических ожиданий M_x скорости $V_{пр}$ и высоты H_6 , а на рис. 12, 13 – среднеквадратических отклонений σ_x угла атаки α и нормальной перегрузки n_y .

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО РЕАЛИЗАЦИЙ $m := 40$
 ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО ТОЧЕК $n := 6$
 ВВЕДИТЕ РАСЧЕТНЫЙ ПАРАМЕТР $Y := V$
 РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ РАСЧЕТА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ ДЛЯ ВЫБРАННОГО ПАРАМЕТРА

$$MY_j := \left(\frac{1}{m}\right) \cdot \sum_i Y_{i,j}$$

РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ
 $MY^T = (43.05 \ 94.8 \ 0.375 \ 0.625 \ 19.3)$

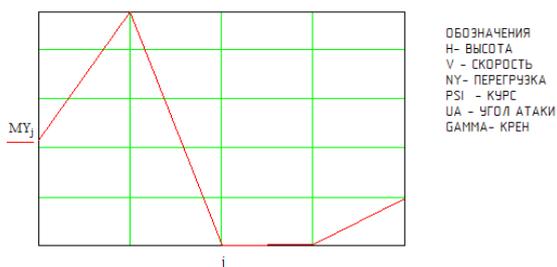


Рисунок 10 – Изменение математических ожиданий значений скорости и высоты полёта

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО РЕАЛИЗАЦИЙ $m := 40$
 ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО ТОЧЕК $n := 6$
 ВВЕДИТЕ РАСЧЕТНЫЙ ПАРАМЕТР $Y := H$
 РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ РАСЧЕТА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ ДЛЯ ВЫБРАННОГО ПАРАМЕТРА

$$MY_j := \left(\frac{1}{m}\right) \cdot \sum_i Y_{i,j}$$

РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ
 $MY^T = (101.775 \ 570.5 \ 21.5 \ 126.85 \ 75.7)$

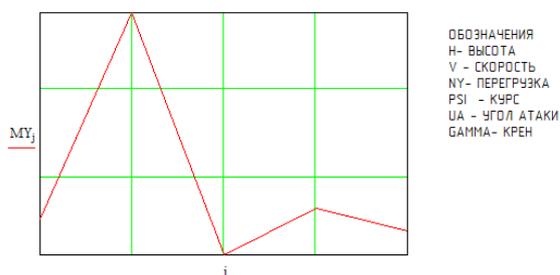


Рисунок 11 – Изменение математических ожиданий значений высоты полёта

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО РЕАЛИЗАЦИЙ $m := 40$
 ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО ТОЧЕК $n := 5$
 ВВЕДИТЕ РАСЧЕТНЫЙ ПАРАМЕТР $Y := NY$
 ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЯ МАТ.ОЖИДАНИЙ $MY := MNY$
 РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ ДИСПЕРСИИ +

$$DY_j := \left(\frac{1}{m-1}\right) \cdot \sum_i (Y_{i,j} - MY_j)^2$$

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ СКО
 $SKOY_j := \sqrt{DY_j}$

ЗНАЧЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ В ТОЧКАХ

$$SKOY = \begin{pmatrix} 0.267 \\ 0.175 \\ 0.14 \\ 0.178 \\ 0.23 \end{pmatrix}$$

ОБОЗНАЧЕНИЯ
 H - ВЫСОТА
 V - СКОРОСТЬ
 NY - ПЕРЕГРУЗКА
 PSI - КУРС
 UA - УГОЛ АТАКИ
 ГАММА - КРЕН

Рисунок 12 – Изменение СКО значений нормальной перегрузки

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО РЕАЛИЗАЦИЙ $m := 40$
 ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО ТОЧЕК $n := 5$
 ВВЕДИТЕ РАСЧЕТНЫЙ ПАРАМЕТР $Y := UA$
 ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЯ МАТ.ОЖИДАНИЙ $MY := MUA$
 РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ ДИСПЕРСИИ

$$DY_j := \left(\frac{1}{m-1}\right) \cdot \sum_i (Y_{i,j} - MY_j)^2$$

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ СКО
 $SKOY_j := \sqrt{DY_j}$

ЗНАЧЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ В ТОЧКАХ

$$SKOY = \begin{pmatrix} 1.606 \\ 2.331 \\ 2.62 \\ 3.187 \\ 4.272 \end{pmatrix}$$

ОБОЗНАЧЕНИЯ
 H - ВЫСОТА
 V - СКОРОСТЬ
 NY - ПЕРЕГРУЗКА
 PSI - КУРС
 UA - УГОЛ АТАКИ
 ГАММА - КРЕН

Рисунок 13 – Изменение СКО значений угла атаки

В качестве исходных данных использованы относительные значения параметров между соседними точками на траектории выполнения заданного манёвра, т.е. количество исходных параметров при 6 выбранных точках будет определено 5 параметрами.

Анализ этих рисунков позволяет определить, как в среднем пилоты выполняют заданный манёвр путём сравнения с эталонными значениями, указанными в программах подготовки, в частности курсантов лётных училищ, и по разбросу значений параметров определить наиболее характерные ошибки в технике пилотирования.

На рис. 14, 15 представлены примеры построения гистограммы по скорости и ее аппроксимация нормальным законом распределения между характерными точками «Выпуск шасси» и «Пролёт дальнего привода ДПРМ».

На рис. 16, 17 приведены примеры расчета коэффициентов корреляции, на рис. 18 – пример расчёта критерия Пирсона χ^2 , на рис. 19 – пример расчёта балльной оценки.

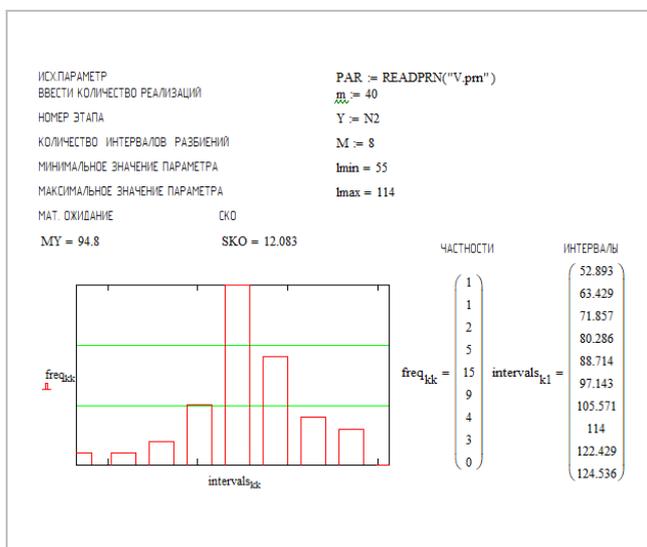


Рисунок 14 – Гистограмма изменения значений приборной скорости на 2 этапе

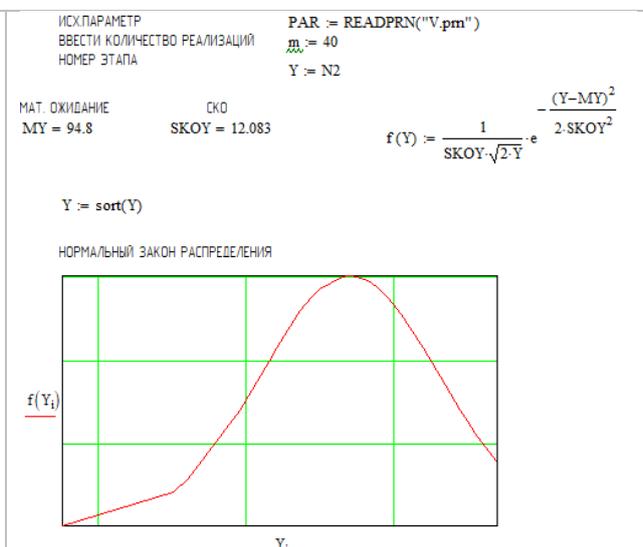


Рисунок 15 – Аппроксимация изменения приборной скорости на 2 этапе

В табл. 3 приведены расчёты значений параметров по критерию Пирсона χ^2 для каждого этапа. При условии, если χ^2 одного из параметров на каждом этапе велико, то при дальнейшем решении параметр не берётся в расчёт. В табл. 4 представлены примеры расчётов коэффициентов корреляции для первого этапа.

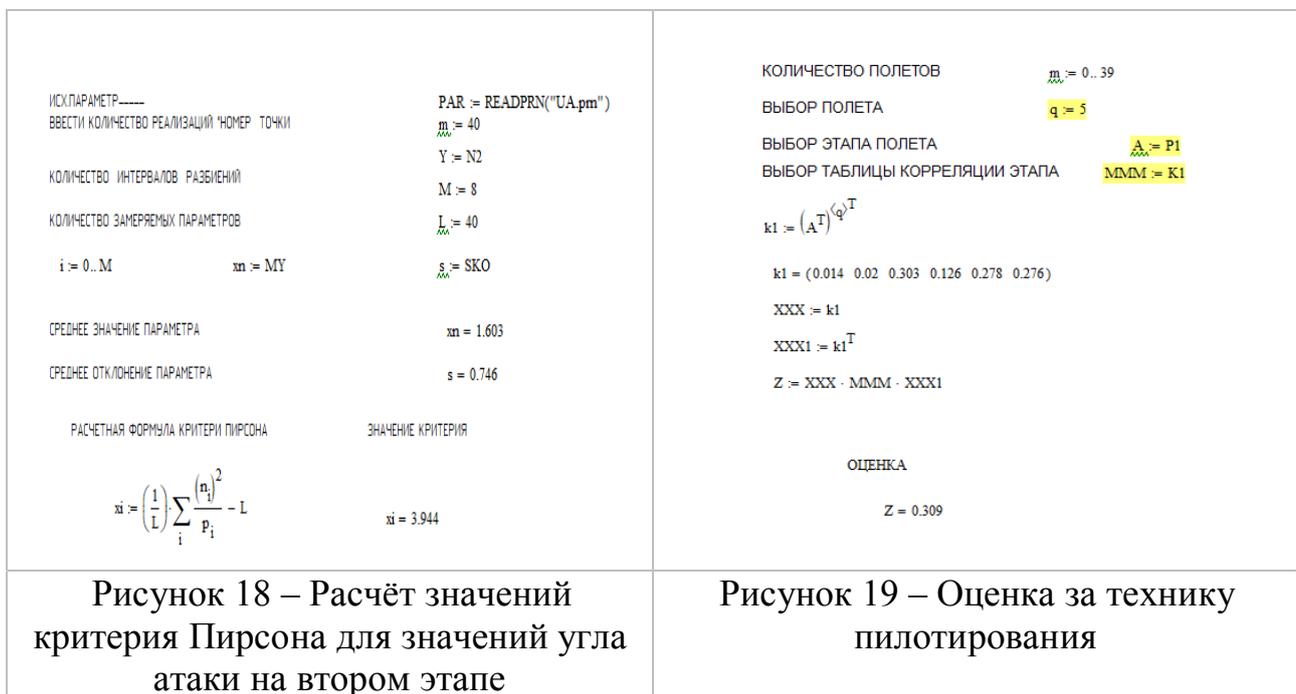
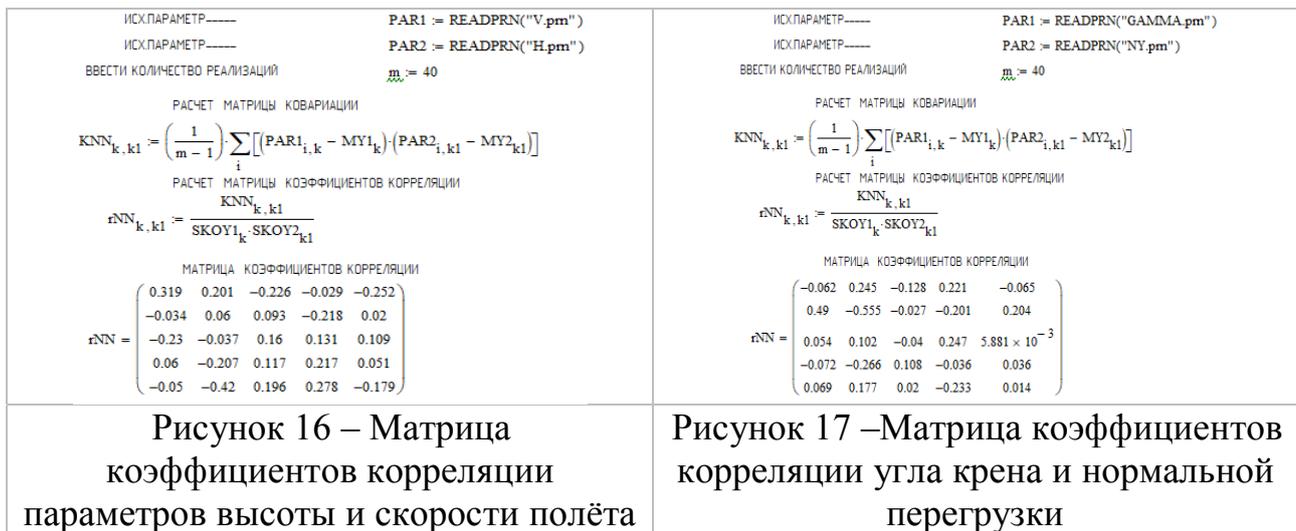


Таблица 3 – Значения параметров по критерию Пирсона на каждом этапе

I этап		II этап		III этап		IV этап		V этап	
V	22,519	V	8,547	V	16,679	V	4,454·10 ³	V	3,572
H	19,388	H	13,799	H	17,7	H	8,105	H	8,799
n _y	11,4	n _y	23,726	n _y	24,098	n _y	27,444	n _y	11,028
ψ	8,836	ψ	92,107	ψ	47,21	ψ	20,222	ψ	25,117
γ	15,6	γ	31,843	γ	11,68	γ	4,075	γ	12,126
α	9,968	α	3,944	α	6,971	α	12,126	α	3,948

Полученные результаты могут быть использованы при анализе правильности выполнения полётного задания лётчиками.

Среднеквадратические отклонения параметров позволяют судить о точности выдерживания того или иного параметра при пилотировании.

Таблица 4– Значения коэффициентов корреляции для первого этапа

	V	H	n_y	ψ	γ	α
V	1	0,319	0,138	0,134	-0,035	-0,398
H	0,319	1	-0,252	0,305	0,073	-0,363
n_y	0,138	-0,252	1	-0,384	-0,062	0,797
ψ	0,134	0,305	-0,384	1	-0,12	-0,461
γ	-0,035	0,073	-0,062	-0,12	1	0,007185
α	-0,398	-0,363	0,797	-0,461	0,007185	1

Наличие статистических зависимостей математических ожиданий значений высоты, скорости полёта, нормальной перегрузки и других параметров от времени позволяет проводить сравнение с требованиями нормативных документов по выполнению данной фигуры.

Таким образом, статистическая обработка и анализ записей параметров полёта позволяет сделать вывод об обученности лётчиков и обосновать мероприятия по устранению недостатков в обучении.

В табл. 5 для примера представлены результаты оценивания бполётов и значения текущего критерия оценивания для каждого этапа, а в табл. 6 – балльные оценки за технику пилотирования.

Таблица 5 – Количественные показатели критерия оценивания

Номер полёта	I этап	II этап	III этап	IV этап	V этап
1.	1,325	189,8	0,046	0,108	0,057
2.	0,068	0,0001	0,072	0,051	0,059
3.	0,009	2,396	1,202	0,635	0,054
4.	0,017	2,59	1,7	0,055	0,037
5.	0,011	15,482	0,394	1,391	0,214
6.	0,192	0,098	0,112	0,018	0,053

Результаты показывают, что второй этап (от «выпуск шасси» до «пролёт дальнего привода ДПРМ») для некоторых полётов имеет явно завышенные показатели значений критерия оценивания качества техники пилотирования. Анализ этих полётов по значениям параметров в характерных точках показал, что они значительно отличаются от средних значений.

Таблица 6 – Балльные оценки за технику пилотирования

№ полёта	I этап	II этап	III этап	IV этап	V этап
1.	4	2	4	4	5
2.	5	5	5	5	5
3.	5	3	4	5	5
4.	5	3	4	5	5
5.	5	2	5	4	5
6.	5	5	5	5	5

Таким образом, результаты оценивания техники пилотирования по этапам позволяют выявить наиболее опасные для пилотирования участки для дальнейшего анализа выявления ошибок в управлении ВС.

Аналогично получены результаты работы предлагаемых алгоритмов и критерия оценивания для этапа захода на посадку и посадки среднемагистрального ВС по замерам абсолютных значений параметров в характерных точках траектории манёвра, а также для манёвренного (учебного) ВС при выполнении фигуры пилотажа «Штопор».

Так как в работе предусмотрен метод оценки техники пилотирования по каждому этапу выполнения манёвра «Заход на посадку и посадка ВС» и, соответственно, для каждого этапа выбраны свои параметры, целесообразно иметь данные по значимости этих параметров для каждого этапа. Для этих целей разработаны карты экспертного опроса для этапов фигуры, примеры карт для первого и второго этапов манёвра показаны на рис. 20.

	H1	V1	γ_1	α_1	V γ_1
H1	0,5	0,5	0,5	0,5	1
V1	0,5	0,5	0	1	1
γ_1	0,5	1	0,5	0	0
α_1	0,5	0	1	0,5	1
V γ_1	0	0	1	0	0,5

K1

	H2	V2	Ψ_2	V γ_2
H2	0,5	0	0,5	1
V2	1	0,5	0	0
Ψ_2	0,5	1	0,5	1
V γ_2	0	1	0	0,5

K2

Рисунок 20 – Примеры карт экспертного опроса по этапам выполнения манёвра

Алгоритм расчёта весовых коэффициентов значимостей альтернатив подробно описан в работах [Евланов и др., 1992; Устинов, 2020].

На рис. 21 в качестве примера представлены результаты расчёта весовых коэффициентов значимостей параметров для первого и второго этапов манёвра.

	H1	V1	γ_1	α_1	V γ_1
H1	0,5	0,35	0,45	0,3	0,5
V1	0,65	0,5	0,45	0,75	0,9
γ_1	0,55	0,55	0,5	0,4	0,4
α_1	0,7	0,25	0,6	0,5	0,65
V γ_1	0,5	0,1	0,6	0,35	0,5

K1

$K_{H1}=0.168$
 $K_{V1}=0.26$
 $K_{\gamma_1}=0.192$
 $K_{\alpha_1}=0.216$
 $K_{V\gamma_1}=0.164$

	H2	V2	Ψ_2	V γ_2
H2	0,5	0,5	0,45	0,65
V2	0,5	0,5	0,3	0,4
Ψ_2	0,55	0,7	0,5	0,35
V γ_2	0,35	0,6	0,65	0,5

K2

$K_{H2}=0.2625$
 $K_{V2}=0.2125$
 $K_{\Psi_2}=0.2625$
 $K_{V\gamma_2}=0.2625$

Рисунок 21 – Результаты обработки карт экспертного опроса

Так как каждый этап выполнения манёвра также имеет свой вес (значимость), аналогично составляются карты экспертного опроса, представленные на рис. 22, при заполнении которых и обработке получены

результаты значимостей каждого этапа выполнения манёвра, которые необходимо использовать в критерии качества выполнения манёвра в целом, показанные на рис. 23.

	К1	К2	К3	К4	К5
К1	0,5	1	1	0	0
К2	0	0,5	1	0	0
К3	0	0	0,5	1	0
К4	1	1	0	0,5	0
К5	1	1	1	1	0,5

Рисунок 22 – Пример карты экспертного опроса

	К1	К2	К3	К4	К5
К1	0,5	0,6	0,3	0,25	0,2
К2	0,4	0,5	0,7	0,35	0,2
К3	0,7	0,3	0,5	0,4	0,15
К4	0,75	0,65	0,6	0,5	0,15
К5	0,8	0,8	0,85	0,55	0,5

$K_1=0,148$; $K_2=0,172$; $K_3=0,164$; $K_4=0,236$; $K_5=0,28$.

Рисунок 23 – Результаты расчётов

В результате выполнения работы разработано алгоритмическое и программное обеспечение, охватывающее практически весь спектр задач объективного контроля действий лётчика по данным штатных бортовых средств регистрации полётной информации:

Предложенные алгоритм и критерий балльного оценивания качества техники пилотирования могут быть использованы для анализа подготовки курсантов лётных училищ и качества выполнения элементов полёта и полёта в целом для пилотов авиакомпаний.

Выбор характерных точек, параметров оценивания по этапам, эталонные значения показателей качества техники пилотирования, весовые коэффициенты значимостей параметров и этапов манёвра или фигуры пилотажа рассчитываются предварительно и заносятся в базу данных.

Таким образом, задача оценивания качества выполнения выбранных манёвров или фигур пилотажа сводятся к процедуре замера значений параметров в конкретном полёте и ввода их в программу для получения балльной или качественной оценки качества полётного задания.

Conclusion (Заключение)

Научная новизна выполненной научно-исследовательской работы заключается в разработке новых методик, алгоритмов и критерия оценивания качества пилотирования ВС лётчиком по комплексному показателю, включающего необходимое количество параметров оценивания, их корреляцию и значимость для каждого элемента полётного задания.

В ходе выполненных исследований была решена важная научно-практическая задача – выбор характерных точек на траекториях выполнения манёвров.

Были разработаны:

– Методика распознавания элементов полётного задания и характерных точек на траекториях их выполнения.

– Методика и критерий оценки качества техники пилотирования лётчиком на основе вероятностно-статистической модели.

– Методика и критерий оценки качества техники пилотирования среднемагистрального самолёта лётчиком на этапе посадки при замере относительных значений параметров полёта в характерных точках траектории.

– Методика и критерий оценки качества техники пилотирования среднемагистрального самолёта лётчиком на этапе посадки при замере абсолютных значений параметров полёта в характерных точках траектории.

– Методика и критерий оценки качества техники пилотирования манёвренного (учебного) самолёта лётчиком при выполнении фигуры пилотажа «Штопор» и замере относительных значений параметров полёта по этапам траектории выполнения фигуры.

– Методика и алгоритм расчёта весовых коэффициентов значимостей параметров оценивания и этапов выполнения манёвра или фигуры пилотажа.

Для реализации перечисленных методик было разработано алгоритмическое и программное обеспечение для обработки полётной информации, регистрируемой штатными устройствами на борту воздушного судна, дополняющее и повышающее эффективность существующей системы объективного контроля действий лётчика.

Работоспособность разработанных алгоритмов и критерия оценки пилотирования проверена путём обработки статистических данных для среднемагистральных и манёвренных (учебных) ВС для этапов захода на посадку и посадки, а также при выполнении фигуры пилотажа «Штопор».

Результаты работы показывают целесообразность внедрения предложенных алгоритмов и критерия оценивания в качестве отдельного программного модуля в программное обеспечение наземного устройства обработки полётной информации «Топаз-М».

Анализ полученных результатов показывает, что предлагаемые методики и алгоритмы имеют преимущество по сравнению с существующими методами и позволяют:

- перейти к другому, более высокому уровню оценивания качества пилотирования лётчиком и повысить его объективность для широкого класса воздушных судов;
- автоматизировать оценку уровня натренированности с учётом качества техники пилотирования;
- строить прогнозные модели для оптимизации лётной подготовки и предотвращения выпуска в полёт неподготовленного пилота.

Библиографический список

- Благинин А. А.* Психологический анализ ошибочных действий летного персонала / А. А. Благинин // Образование и наука. Известия Уральского отделения РАО. 2009. №6 (63). С. 74-81.
- Вентцель Е.С.* Теория вероятностей: учебное пособие для вузов. М:Высш. шк., 2006. 575 с.
- Евланов Л. Г.* Экспертные оценки в управлении / Л.Г Евланов, В.А Кутузов. М: Экономика,1982. 231 с.
- Зиньковская С. М.* Современные виды подготовки лётного состава гражданской авиации в области человеческого фактора// Образование и наука. 2006. № 6 (42). С. 71-83.
- Кашковский В. В.* Методика объективной оценки профессиональной подготовленности летного состава маневренных самолетов / В. В. Кашковский, В. В. Устинов // Научный вестник МГТУГА. 2013. № 187 (1). С. 161–163.
- Кибардин Ю. А.* Устройство для оценки качества пилотирования самолета летчиком / Ю. А. Кибардин, В. В. Кашковский, В. В. Устинов, Ю. Н. Шишкин. Патент на изобретение RU 2136046 С1, 27.08.1999. Заявка № 98106546/09 от 30.03.1998.
- Назаров П. С.* Методика и алгоритм распознавания фигур пилотажа при программной реализации оценки качества техники пилотирования самолета летчиком / П. С. Назаров, С. А. Кудряков, В. В. Устинов // CredeExperto: транспорт, общество, образование, язык. 2021. № 1. С. 44-54.
- Назаров П. С.* Методики расчета весовых коэффициентов при реализации алгоритмов оценки уровня натренированности курсантов летных училищ / П. С. Назаров, В. В. Устинов // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2020. № 4. С. 80-92.
- 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, 2008.46 с.
- Пономаренко В. А.* Психология человеческого фактора в опасной профессии. Красноярск: Полицом, 2006. 629 с.
- Руководство по организации сбора, обработки и использования полетной информации в авиапредприятиях гражданской авиации Российской Федерации // [Электронный ресурс]. – 2020. URL: <https://rulaws.ru/acts/Rukovodstvo-po-organizatsii-sbora,-obrabotki-i-ispolzovaniya-poletnoy-informatsii-v-aviapredpriyatiyah-g/> (дата обращения: 15.02.2022).
- Румянцев Е. А.* Принципы и алгоритмы распознавания манёвров и фигур пилотажа при экспресс-обработке полётных данных. / Е.А. Румянцев, А.Е. Аверкин // Научно-методические материалы по проблеме автоматического контроля состояния авиационной техники. М.: ВВИА, 1976. С.26-41.
- Устинов В. В.* Методика и алгоритм распознавания манёвров и фигур пилотажа по данным СОК / В.В. Устинов, Ю.А. Кибардин // Реферативная информация научно - методической конференции по проблемам обеспечения безопасности полётов авиации МО СССР.М.: ВВИА им. проф. Е. Жуковского, 1991. С. 1-18.

- Устинов В. В. Один из подходов к планированию подготовки курсантов летных училищ с учетом уровня натренированности и качества выполнения полетного задания / В. В. Устинов, П. С. Назаров // *CredeExperto: транспорт, общество, образование, язык*. 2020. № 1. С. 74-88.
- Устинов В. В. Один из подходов к разработке программного модуля оценки качества пилотирования с использованием программно-аппаратного комплекса «Монстр» / В. В. Устинов, Н.А. Добрынин // *Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки: сб. тезисов докл. Всероссийской научно-практической конференции «Авиатор»*. Воронеж: ВУНЦ, ВВС, «ВВА», 2014.С. 37-41.
- Kuklev E. A., Shapkin V.S., Filippov, V.L, Shatrakov Y.G. Assessing the System Safety Using Reliability Theory and PSA Methods. In: *Aviation System Risks and Safety*. Springer Aerospace Technology. Springer, 2019. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8122-5_1
- Taran V.A. In: Ram VA (ed) *Ergatic control systems*. Mechanical Engineering. Moscow, 1996. 188 p.
- Yakovlev A.V., Istomin A. S, Zatushny D. A, Shatrakov Y.G. Analysis of the Problem Functioning Modeling Ergatic Air Traffic Management Information System. In: *Conditional Function Control of Aircraft*. Springer Aerospace Technology. Springer, 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1059-2_1

References

- Blaginin A. A.(2009). Psychological analysis of erroneous actions of flight personnel. *Education and science*.6(63): 74-81.(in Russian)
- Evlanov L. G., Kutuzov.V. A. (1982). *Expert assessments in management*. Moscow. 231 p.
- Guidelines for the organization of the collection, processing and use of flight information in civil aviation enterprises of the Russian Federation // [Electronic resource]. - 2020. URL: <https://rulaws.ru/acts/Rukovodstvo-po-organizatsii-sbora,-obrabotki-i-ispolzovaniya-poletnoy-informatsii-v-aviapredpriyatiyah-g> / (accessed date: 15.02.2022).(in Russian)
- Kashkovsky V. V., Ustinov V. V. (2013). Method of objective evaluation professionally trained pilots maneuverability aircraft. *Civil Aviation High Technologies*. 187 (1): 161-163.(in Russian)
- Kibardin Yu. A. [et al.] A device for assessing the quality of piloting an aircraft by a pilot. Patent for the invention RU 2136046 C1, 27.08. 1999. Application №. 98106546/09 dated 30.03.1998.(in Russian)
- Kuklev E. A., Shapkin V. S., Filippov V. L., Shatrakov Y.G. (2019). Assessing the System Safety Using Reliability Theory and PSA Methods. In: *Aviation System Risks and Safety*. Springer Aerospace Technology. Springer.https://doi.org/10.1007/978-981-13-8122-5_1
- Nazarov P. S., Ustinov V. V. (2020). Methods of calculating weight coefficients in the implementation of algorithms for assessing the level of training of cadets of flight schools.*CredeExperto: transport, society, education, language*.4: 80-92.(in Russian)
- Nazarov, P. S., Kudryakov S. A., Ustinov V. V. (2021). Methodology and algorithm of identifying aerobatic maneuvers in software implementation of assessment of piloting technique quality. *CredeExperto: transport, society, education, language*.1: 44-54.(in Russian)
- Poluektov S. P., Ustinov V. V., Shishkin Yu. N. (2008). Methodology and algorithm of objective assessment of the level of training of flight personnel (deposited manuscript). Collection of abstracts of dep. manuscripts, issue 82, series B, inf. B, Moscow: TSVNI MO RF.46 p. (in Russian)
- Ponomarenko V. A.(2006). *Psychology of the human factor in a dangerous profession*. Krasnoyarsk: Polikom. 629 p.(in Russian)
- Rumyancev E A., Averkin A. E. (1976). Principles and algorithms of recognition of maneuvers and aerobatics figures during express processing of flight data. *Scientific and methodological materials on the problem of automatic control of the state of aviation equipment*.P.26-41. (In Russian).
- Taran, V. A.(1996). In: Ram VA (ed) *Ergatic control systems*. Mechanical Engineering. Moscow188 p.

- Ustinov V. V., Kibardin Yu. A.* (1991). Methodology and algorithm of recognition of maneuvers and aerobatics according to SOC data. Abstract information of the scientific and methodological conference on the problems of aviation safety of the Ministry of Defense of the USSR. Moscow: VVIA named after Prof. E. Zhukovsky. P. 1-18. (in Russian)
- Ustinov V. V., Nazarov P. S.* (2020). One of the approaches to planning the training of cadets of flight schools, taking into account the level of training and the quality of the flight task. *CredeExperto: transport, society, education, language*. 1: 74-88. (in Russian)
- Ustinov V. V., Dobrynin N. A.* (2014). One of the approaches to the development of a software module for assessing the quality of piloting using the software and hardware complex "Monster". "Topical issues of research in avionics: theory, maintenance, development". *Collection of abstracts of the dokl. All-Russian scientific and practical conference "Aviator"*. Voronezh: VUNTS, VVS, "VVA". P. 37-41. (in Russian)
- Ventcel', E. S.* (2006). Probability theory. Textbook for universities. M., Higher School. 575 p. (in Russian)
- Yakovlev A. V., Istomin A. S., Zatuchny D. A., Shatrakov Y. G.* (2021). Analysis of the Problem Functioning Modeling Ergatic Air Traffic Management Information System. In: *Conditional Function Control of Aircraft*. Springer Aerospace Technology. Springer, 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1059-2_1
- Zin'kovskaya, S. M.* (2006). Modern types of training of civil aviation flight personnel in the field of the human factor. *Education and Science*. 6 (42): 71-83. (in Russian)