

Программный комплекс для оценки качества пилотирования летчика по данным бортовых устройств регистрации полетной информации

В.В. Кашковский¹✉, В.В. Устинов²

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

²Иркутский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации, г. Иркутск, Российская Федерация

✉viktor.kashkovskij@mail.ru

Резюме

Эксперты по безопасности полетов сходятся во мнении, что причиной многих авиационных инцидентов является недостаточный уровень летной подготовки. Причина этого заключается в том, что благодаря цифровизации практически весь полет, кроме взлета и посадки, происходит при помощи системы автоматического управления. В результате даже летчики с большим стажем теряют навыки управления воздушным судном. Следовательно, как считают эксперты, капитанов воздушных судов нужно постоянно учить летать «на руках». Для повышения эффективности летной подготовки необходима объективная автоматическая оценка качества пилотирования. В данной работе представлен анализ предметной области, концепция оценки качества пилотирования и результаты применения разработанного программного комплекса для оценки качества пилотирования летчика по данным бортовых устройств регистрации полетной информации. В основе предложенной концепции оценки качества пилотирования лежит то, что в координированном посадочном маневре полетные параметры коррелированы между собой. С его помощью построены модели захода на посадку для параметров: барометрическая высота, приборная скорость, нормальная перегрузка, тангаж и крен. Практика показала, что комплекс объективно и достоверно выявляет полеты с отклонениями посадочного маневра от модели захода на посадку. Это делает его эффективным инструментом для авиакомпаний, поскольку оценка качества пилотирования – это информация, необходимая не только руководителям, отвечающим за качество летной подготовки, но и самим летчикам, чтобы им были видны их недостатки. Одной из наиболее перспективных областей применения разработанного комплекса программного обеспечения являются летные училища и центры по переучиванию на новую технику.

Ключевые слова

оценка качества пилотирования, модель захода на посадку, безопасность полетов, летная подготовка, статистическая обработка полетных данных

Для цитирования

Кашковский В.В. Программный комплекс для оценки качества пилотирования летчика по данным бортовых устройств регистрации полетной информации / В.В. Кашковский, В.В. Устинов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 142–151. DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).142-151.

Информация о статье

поступила в редакцию: 05.11.2024 г.; поступила после рецензирования: 04.02.2025 г.; принята к публикации: 05.02.2025 г.

Software package for assessing the quality of piloting based on data from onboard flight data recording devices

В.В. Kashkovskii¹✉, В.В. Ustinov²

¹Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

²Irkutsk Branch of Moscow State Technical University of Civil Aviation, Irkutsk, the Russian Federation

✉viktor.kashkovskiy@mail.ru

Abstract

Aviation safety experts agree that the reason for many aviation incidents is an insufficient level of flight training. The reason for this Aviation safety experts agree that the reason for many aviation incidents is an insufficient level of flight training. The reason for this phenomenon, in turn, is that thanks to digitalization, almost the entire flight, except for takeoff and landing, takes place using an automatic control system. As a result, even experienced pilots lose their aircraft control skills. Therefore, according to experts, captains of aircraft should be constantly "taught to fly «manually». To increase the effectiveness of flight training, an objective automatic assessment of the quality of piloting is necessary. This paper presents an analysis of the subject area, the concept of assessing the quality of piloting, and the results of using the developed software package to assess the quality of piloting based on data from onboard flight information recording devices. The proposed concept of assessing the quality of piloting is based on the fact that in a coordinated landing maneuver, flight parameters are correlated with each other. It is used to build approach models for the following parameters: barometric altitude, instrument speed, normal overload, pitch and roll. Practice has shown that the complex objectively

and reliably detects flights with deviations of the landing maneuver from the approach model. This makes it an effective tool for airlines, since assessing the quality of piloting is the information necessary not only for managers responsible for the quality of flight training, but also for the pilots themselves so that they can see their shortcomings. One of the most promising areas of application of the developed software package is flight schools and retraining centers for new equipment.

Keywords

piloting quality assessment, landing approach model, flight safety, flight training, statistical processing of flight data

For citation

Kashkovskii V.V., Ustinov V.V. Programmnyi kompleks dlya otsenki kachestva pilotirovaniya letchika po dannym bortovykh ustroistv registratsii poletnoi informatsii [Software package for assessing the quality of piloting based on data from onboard flight data recording devices]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. Vol. 85. No. 1. Pp. 142–151. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).142-151.

Article Info

Received: November 5, 2024; Revised: February 4, 2025; Accepted: February 5, 2025.

Введение

Существует такое понятие, как тейлстрайк – авиационный инцидент, связанный с касанием фюзеляжем воздушных судов взлетных полос.

Росавиация приводит такую статистику: в 2019 г. в авиации РФ было шесть тейлстрайков; в 2022 и 2023 гг. – по три подобных инцидента; за начальный период 2024 г. уже зарегистрировано шесть подобных случаев. Только в августе 2024 г. произошло два таких инцидента:

1. 12 августа 2024 г. в Сыктывкаре Boeing, принадлежащий оренбургской компании «Икар», коснулся взлетной полосы хвостовой частью фюзеляжа.

2. 18 августа 2024 г. Boeing-737 авиакомпании Smartavia ударился хвостом о полосу при посадке в Сочи, после чего Западное управление Следственного комитета России на транспорте возбудило уголовное дело по ч. 1 ст. 263 УК РФ (нарушение правил безопасности движения и эксплуатации воздушного транспорта) [1].

Другим распространенным авиационным инцидентом является грубая посадка [2–7].

Так, например, 31 августа 2018 г. из Внуково вылетел Boeing 737-800 Авиакомпании «ЮТэйр» (Utair) курсом на Адлер (Сочи). При посадке из-за неслаженных действий экипажа Боинг коснулся полосы на удалении 1 285 м от входного торца взлетно-посадочной полосы (ВПП), с перелетом 385 м от зоны точного приземления. Через 26 сек после приземления самолет на скорости 140 км/ч выкатился за пределы ВПП, пробил ограждение аэродрома и остановился в русле р. Мzymты. Затем произошло возгорание топлива, вытекающего из поврежденного топливного бака левого крыла. Экипажем была проведена эвакуация пассажи-

ров. Вскоре пожар был потушен прибывшими службами. На борту в результате происшествия пострадали 18 чел. Воздушное судно получило серьезные повреждения.

Среди способствующих факторов было выделено:

- использование автопилота и автомата тяги при сдвиге ветра;
- позднее включение реверса;
- недостаточная подготовка и психоэмоциональное состояние членов экипажа;
- недостаточная профилактическая работа в авиакомпании после выявления предыдущих случаев несвоевременной реакции экипажей на сигнализацию о сдвиге ветра;
- невыполнение аэродромной службой требований о необходимости проверки состояния ВПП после выпадения осадков [7, 8].

Все эксперты сходятся во мнении, что причиной этих и многих других авиационных инцидентов является недостаточный уровень летной подготовки. Причина этого явления в том, что благодаря цифровизации практически весь полет, кроме взлета и посадки, происходит при помощи системы автоматического управления (САУ). В результате даже летчики с большим стажем теряют навыки управления воздушным судном. Поэтому, по мнению экспертов, капитанов воздушных судов следует постоянно учить летать «на руках». Существует ряд документов, посвященных влиянию человеческого фактора на безопасность полетов [9–17].

Для принятия своевременных мер по обучению ручному пилотированию крайне актуальна и необходима оценка качества пилотирования по данным бортовых устройств регистрации полетной информации (БУРПИ). Ее невозможно сделать с помощью экспресс-анализа, потому

как экспресс-анализ выявляет факты авиационных инцидентов, когда учить уже поздно. Ручная оценка качества пилотирования крайне субъективна, исключительно трудоемка и не дает гарантии достоверности результатов. Поэтому целью данной работы является разработка алгоритмов и программного обеспечения для автоматической оценки качества пилотирования летчика по данным БУРПИ.

Анализ предметной области

В области оценки качества пилотирования существует множество различных методик. Ряд таких методик разработан и авторами [18–23].

Для практической реализации было найдено только одно подобное решение [24–26].

Суть методики оптимального полета такова:

1. Берется запись БУРПИ от предварительного старта до заруливания после пробега.
2. Выделяются точки контроля по всему профилю полета (всего 20–30 точек).
3. Точки контроля нормируются по трем уровням:
 - 0 – оптимальное управление (0 баллов);
 - 1 – отклонение (1 балл);
 - 2 – отклонение (3 балла);
 - 3 уровень – нарушение Руководства по

летной эксплуатации (РЛЭ) (6 баллов).

4. Производится расшифровка записи и определяется физическое значение параметров в контрольных точках полета. Далее вычисляются уровни отклонений и суммарный балл за полет.

5. В случае обнаружения сообщения по программе экспресс-анализа к суммарному баллу за полет добавляется 6 баллов за каждое подтвержденное сообщение.

По результатам анализа 412 полетов выявлен лучший полет с 46 баллами и наихудший полет с 58 баллами. Разница между этими полетами и есть тот доверительный интервал для анализа и принятия решения по качеству техники пилотирования. Результаты обработки показаны на рис. 1.

Несмотря на то, что программное обеспечение апробировано, методика вызывает некоторые нарекания. Главное из них в том, что это все тот же экспресс-анализ, но только с более жесткими границами, т.е. по сути программа оценивает точность пилотирования в контрольных точках без гарантии оценки того, кем достигнута эта точность – летчиком или САУ. Кроме того, из-за переменного числа контрольных точек представляется методически сложная сравнительная оценка разных полетов.

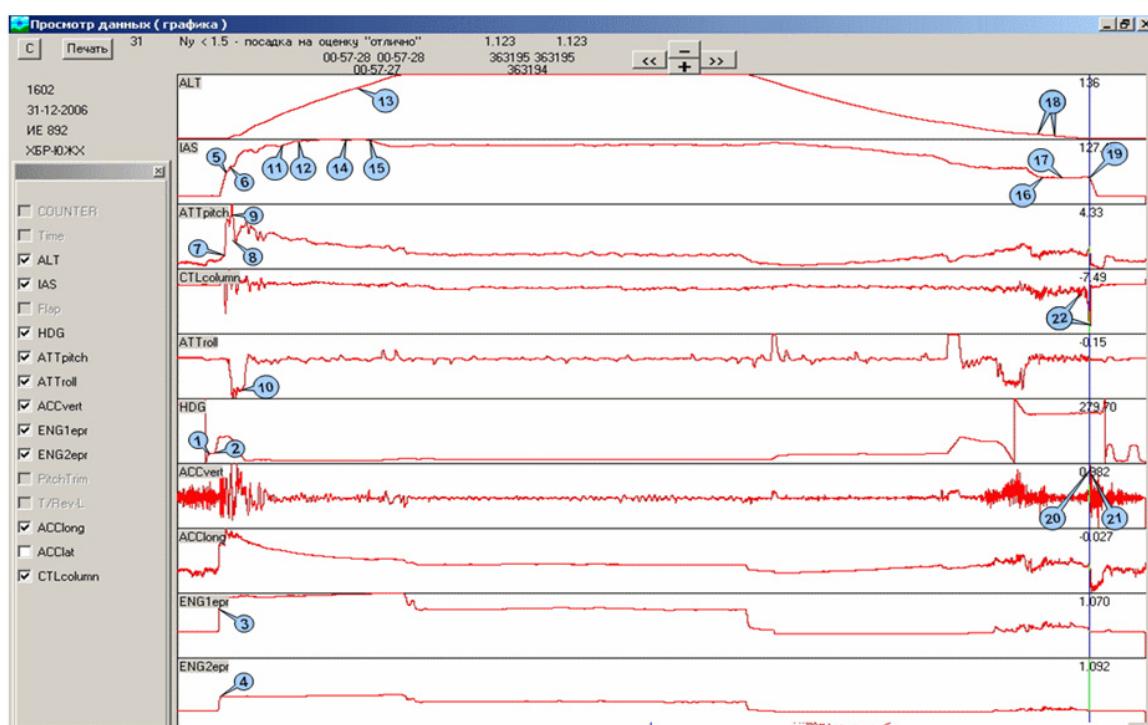


Рис. 1. Выбор контрольных точек
Fig. 1. Selecting the control points

Главный недостаток методик ([8–10]) в том, что даже выход одного параметра за пределы, заданные в РЛЭ, может быть нивелирован малыми отклонениями в остальных контрольных точках и может остаться незамеченным. Поэтому оценка в виде суммы баллов по всем контрольным точкам не очень продуктивна с практической точки зрения. Кроме того, в качестве эталонных значений выбраны значения математических ожиданий и среднеквадратические отклонения параметров оценивания для нормального закона распределения.

Однако анализ статистических данных, проведенный в авиакомпаниях, показал, что параметры не всегда подчинены данному закону, что может внести некоторые погрешности при оценке техники пилотирования, так как опытные пилоты имеют свою манеру пилотирования.

Концепция предлагаемой оценки качества пилотирования

Авторами реализована в программном обеспечении следующая концепция:

1. Оценка качества пилотирования – это многокритериальная задача, оценивающая качество пилотирования по двум и более аспектам. Основные аспекты оценивания – это точность пилотирования и коррелированность параметров при пилотировании. На базе этих ас-

пектов можно получить множество различных критериев оценки качества пилотирования. В разработанном программном комплексе реализованы три такие методики, дополняющие друг друга. Они отличаются методами оценки влияния вероятностных взаимосвязей параметров полета на качество пилотирования.

2. Число контрольных точек постоянно, определение прохождения контрольной точки в полете осуществляется по разовым командам БУРПИ. В качестве контрольных точек выбраны те точки, где самолет пилотируется летчиком. Для среднемагистрального воздушного судна было выбрано срабатывание разовых команд при заходе на посадку:

- команда на выпуск шасси;
- включение режима «Захват глиссады»;
- положение рычага управления закр./предкр. (полож. 2);
- положение рычага управления закр./предкр. (полож. 3);
- правая основная опора обжата.

В каждой из этих точек измеряются пять параметров: барометрическая высота, приборная скорость, крен, тангаж и нормальная перегрузка.

3. Для каждого аэродрома, в котором осуществляется контроль качества пилотирования, собирается выборка полетов по данным БУРПИ.

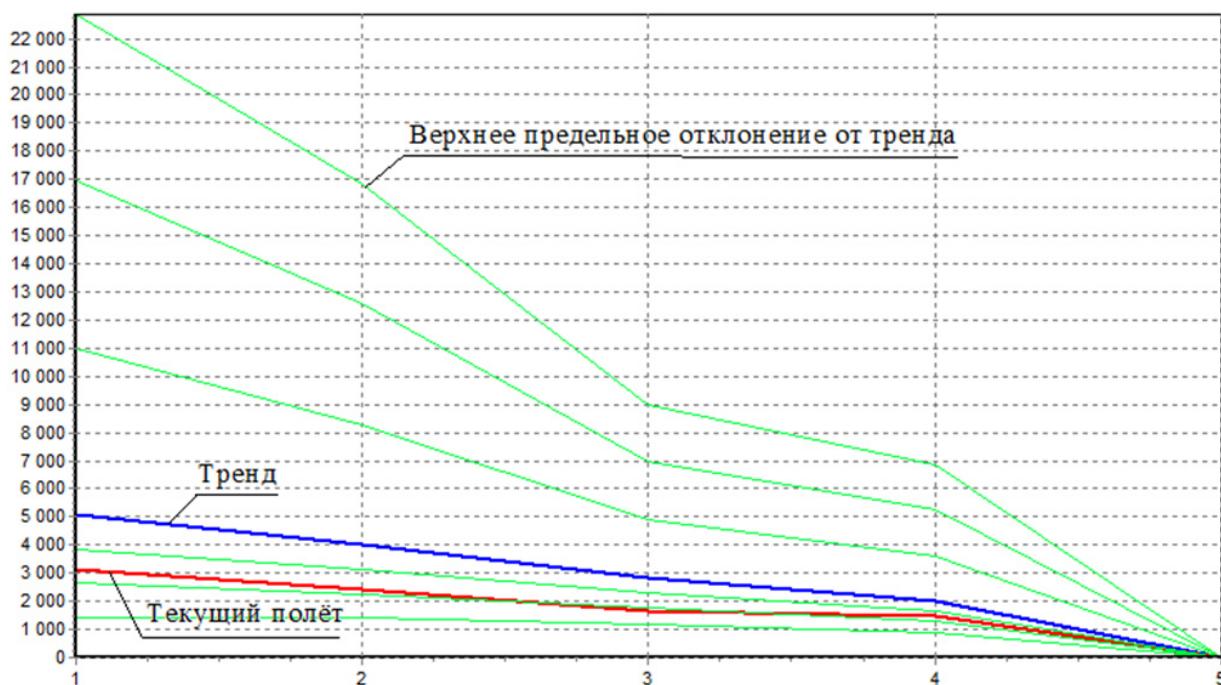


Рис. 2. Модель захода на посадку по параметру барометрическая высота (в футах)

Fig. 2. Approach model based on barometric altitude (in feet)

По данной выборке для каждого параметра строится модель посадочного маневра. В качестве примера на рис. 2 показана модель захода на посадку по барометрической высоте. Для этого по выборке измерений строится тренд (среднее значение).

Это идеальный посадочный маневр по данному параметру. По предельно большим положительным и отрицательным отклонениям от тренда строятся верхняя и нижняя границы предельных отклонений. В каждой контрольной точке интервал между трендом и границей разбивается на три равные по величине зоны. На рис. 2. подписаны верхнее предельное отклонение, тренд и текущий полет. Как видим из рисунка, текущий полет проходил ниже тренда.

4. Производится расшифровка записи и определяется физическое значение пяти полетных параметров в пяти контрольных точках полета. Всего за полет получается 25 измерений (параметров). Они образуют 25-мерный вектор измерений (наблюдения) B_{ii} . Параметры вектора наблюдения B_{ii} нормируются:

$$\overset{\circ}{x}_j = \frac{x_j - m_j}{\Delta x_j}; \quad j = \overline{1, 25},$$

где $\overset{\circ}{x}_j$ – центрированное нормализованное значение параметра j ; m_j – среднее значение измерения j по выборке из всех полетов (тренд j -го параметра); Δx_j – предельное отклонение параметра j от тренда m_j по выборке из всех полетов.

По пяти измерениям каждого параметра в каждой контрольной точке получим 25-мерный вектор измерений (наблюдения) B_{ii} .

5. На основе вектора B_{ii} вычисляются три интегрированные оценки качества пилотирования (по критериям E , K и M) и выполняется их нормирование по баллам: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «ниже (или выше) нормы». Оценка «неудовлетворительно» отсутствует по причине того, что отрицательная оценка качества пилотирования не является нарушением РЛЭ, поэтому на психологическом уровне может восприниматься летчиком как несправедливое наказание.

Балльные оценки можно выставлять для курсантов летных училищ, а для пилотов, имеющих классную квалификацию в виде качественных оценок, например, «хорошо, но с некоторыми погрешностями» и т.д.

Разработка программного комплекса для оценки качества пилотирования летчика по данным бортовых устройств регистрации полетной информации

Первая предложенная авторами методика – критерий E , оценивает точность реализации текущего полета относительно тренда на основе оценки эксцесса. В теории вероятностей эксцесс – это четвертый центральный момент [27]. Эксцесс характеризует степень крайних отклонений от математического ожидания, поэтому его оценка идеально подходит для оценки качества пилотирования. Она определена выражением:

$$\mu_4 = (B_{ii})^2 E[(B_{ii})^2]^T, \quad (1)$$

где E – единичная матрица.

Оценка μ_4 является интегрированной оценкой отклонения вектора B_{ii} от тренда. Недостаток такой оценки в том, что параметры вектора B_{ii} имеют разную значимость для анализа. Следовательно, не все отклонения от тренда одинаково опасны. Чтобы учесть этот недостаток, авторами предложено такое понятие, как «фактор риска». Для этого на основе корреляционного анализа вычислены веса параметров по значимости их влияния на координацию посадочного маневра. В табл. представлены веса параметров в порядке убывания и ранги этих параметров. Число в названии параметра – номер контрольной точки.

Веса значимости параметров в алгоритме оценки качества пилотирования
Weights of parameter significance in the piloting quality assessment algorithm

Ранг Rank	Параметр Parameter	Вес Weight
25	Высота 1 Height	4,0584
24	Высота 2	3,8952
23	Высота 3	3,6687
22	Тангаж 2 Pitch	3,3737
21	Тангаж 1	3,1861
20	Скорость 2 Speed	3,0867
19	Скорость 1	3,0578
18	Тангаж 3	2,5717
17	Скорость 4	2,4608
16	Скорость 3	2,2489

15	Высота 4	2,1612
14	Тангаж 4	2,0727
13	Скорость 5	2,0011
12	Перегрузка 4 Overload	1,9441
11	Перегрузка 1	1,7769
10	Крен 4 Bank	1,7593
9	Перегрузка 3	1,6895
8	Крен 5	1,5226
7	Тангаж 5	1,4813
6	Крен3	1,4498
5	Перегрузка 2	1,3633
4	Крен 2	1,1843
3	Крен1	1,0924
2	Перегрузка 5	0,8813
1	Высота 5	0,0000

Ранги трех параметров текущего полета с наибольшими отклонениями от тренда суммируются и нормируются. В результате получается коэффициент фактора риска, который может

изменяться в диапазоне 0,1–1,0. На основании практического опыта принято, что неудовлетворительная оценка по критерию E при фактуре риска менее 0,6 не опасна.

Оценка качества пилотирования по критерию K основана на том, что при выполнении координированного маневра параметры вектора B_i коррелированы между собой. Его математический аппарат аналогичен математическому аппарату критерия E . Для учета взаимосвязей параметров в выражении (1) для критерия K , матрица E заменена на матрицу весовых коэффициентов K такой же размерности.

На рис. 3 показана форма для вычисления оценок по критериям E и K .

На рис. 4. показана экранная форма для оценки качества пилотирования по критерию M . Идеология критерия M основана на том, что при высоком качестве пилотирования параметры вектора B_i будут в той или иной степени коррелированы между собой. Следовательно, отклонение оценки корреляции пары параметров вектора B_i в текущем полете от среднего значения оценки корреляции этой пары, полученной по выборке всех полетов, является оценкой качества пилотирования.

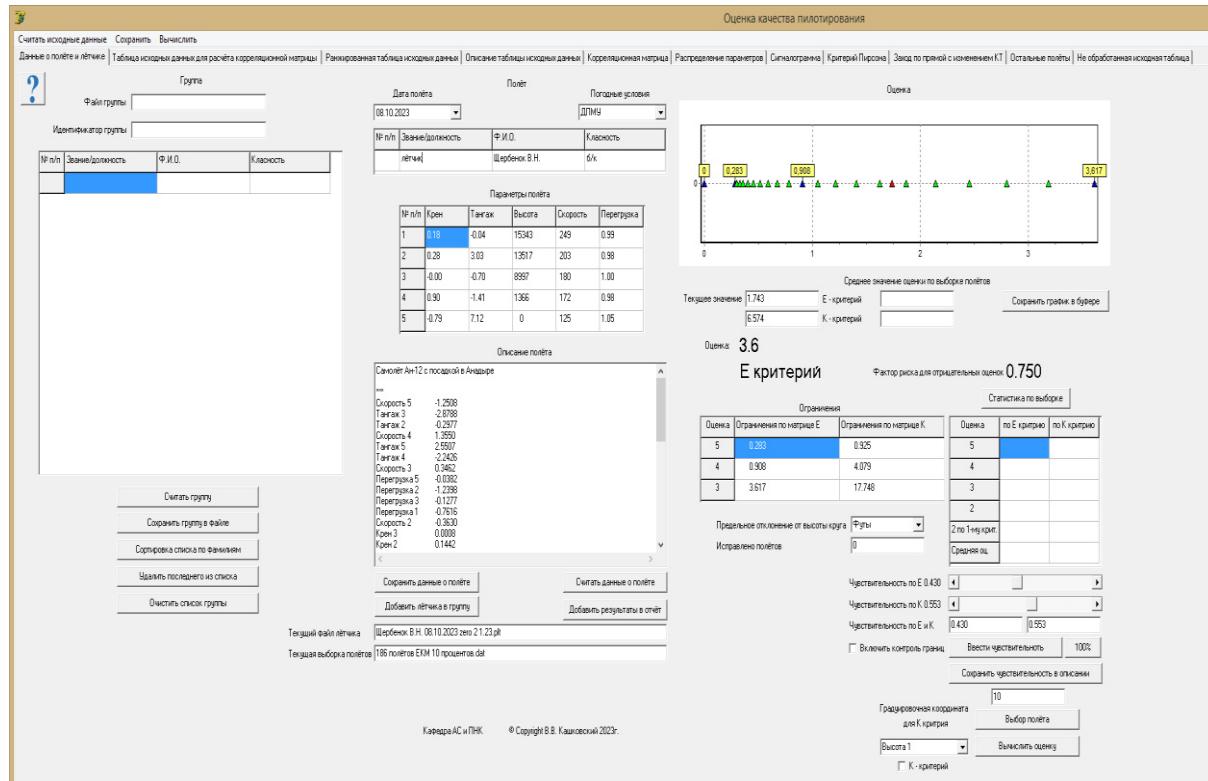


Рис. 3. Экранная форма для оценки качества пилотирования по критериям E и K
Fig. 3. Screen form for assessing the quality of piloting according to criteria E and K

№ п/п	Крен	Тангаж	Высота	Скорость	Перегрузка
1	17.4	-0.26	3755	234	1.05
2	0.26	5.1	2531	189.75	0.98
3	-0.26	0.18	2227	183.25	1
4	0.18	1.58	1911	176	1.01
5	-1.05	5.76	155	125.75	0.89

№ п/п	Секция/норма	№	Тек. оценка	Оценка
1	Высота 3/Высота 4	0.8914	0.018957	3
2	Скорость 3/Скорость 4	0.7558	0.120844	5
3	Высота 2/Высота 3	0.7207	0.021778	4
4	Высота 2/Высота 4	0.6759	0.087362	5
5	Тангаж 3/Скорость 1	0.6333	-11.51810	2
6	Скорость 1/Скорость 2	0.5928	3.326879	5+
7	Скорость 2/Скорость 3	0.5683	0.863927	5+
8	Тангаж 3/Тангаж 4	0.5741	-0.467313	5+
9	Тангаж 3/Скорость 4	0.5097	-0.130203	5+
10	Тангаж 3/Скорость 3	0.4828	-0.839326	5
11	Скорость 2/Скорость 4	0.4913	0.133524	5
12	Скорость 1/Скорость 3	0.4878	3.001951	5+

Рис. 4. Экранная форма для оценки качества пилотирования по критерию *M*
Fig. 4. Screen form for assessing the quality of piloting according to the *M* criterion

Оценка коэффициента корреляции для пары параметров i и j определена выражением:

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{(x_i - \tilde{m}_i) \cdot (x_j - \tilde{m}_j)}{\tilde{\sigma}_i \tilde{\sigma}_j}; \quad i = \overline{1, 25}; \quad j = \overline{1, 25}; \quad i \neq j,$$

где $\tilde{\sigma}_i$, $\tilde{\sigma}_j$ – оценки среднеквадратических отклонений i и j параметра, вычисленные по выборке полетов.

Размерность вектора наблюдения B_i равна 25. Отсюда следует, что всего имеется 276 неповторяющихся пар параметров вектора B_i .

Наиболее сильную корреляционную взаимосвязь имеют параметры «Высота 3» и «Высота 4». Их коэффициент корреляции равен 0,8914.

Наименее слабая зависимость между параметрами «Крен 1» и «Высота 2». Их коэффициент корреляции равен 0,0006. Эти параметры уже можно считать независимыми.

Параметры «Перегрузка 1» и «Перегрузка 3» независимы. Среднее значение оценки их коэффициента корреляции равно нулю, ее величина находится за рамками статистической погрешности.

Для оценки качества пилотирования используются только 12 пар параметров с наиболее сильными зависимостями. Наименьший ко-

эффициент корреляции в этой группе пар параметров – 0,4807.

На рис. 5 показан график нормированной взаимной корреляционной функции параметров «Тангаж 1» и «Скорость 1». Оценка их коэффициента корреляции – 0,6333. В данном полете элемент вероятности этой пары $\tilde{r}_{ij} = -11,52$ при нормативной границе для оценки «–3», равной –3,22. Знак минус в оценке говорит о нарушении в отрицательную сторону. Итоговая оценка, данная за полет, – «Ниже нормы».

Цель разработанного программного комплекса – автоматическое выявление полетов с нарушенной координацией посадочного маневра. При получении оценки за текущий полет «Ниже нормы» или «Выше нормы» проводится его полный (ручной) анализ с целью выявления причин нарушения координированности посадочного маневра. По результатам анализа принимается решение о необходимости выполнения дополнительных полетов на тренажере и задания по ним.

Критерии *E*, *K* и *M* взаимосвязаны. Если оценка за полет по критерию *E* с учетом фактора риска отрицательна, то это основание для полного (ручного) анализа полета. В оценке по критериям *K* и *M* в этом случае нет необходимости.

При положительной оценке по критерию E проводится анализ по критерию K . Если оценка за полет по критерию K отрицательна, то это основание для полного (ручного) анализа полета. В оценке по критерию M в этом случае нет необходимости. При положительной оценке по критериям E и K проводится анализ по критерию M .

Заключение

С помощью представленного комплекса программного обеспечения обработано 386 посадочных маневров среднемагистрального воздушного судна. Это позволило построить модели захода на посадку для пяти параметров полета: барометрическая высота, приборная скорость, нормальная перегрузка, тангаж и крен. Исследование данной выборки полетов показало, что комплекс объективно и достовер-

но выявляет полеты с отклонениями посадочного маневра от принятой модели захода на посадку. Это делает его эффективным инструментом для авиакомпаний, поскольку оценка качества пилотирования – информация, необходимая не только руководителям, отвечающим за качество летной подготовки, но и самим летчикам, чтобы им были видны их недостатки.

Одной из наиболее перспективных областей применения разработанного комплекса программного обеспечения являются летные училища и центры по переучиванию на новую технику. Учитывая сходство упражнений по выполнению посадочного маневра, комплекс также может быть рекомендован организациям, эксплуатирующим вертолеты.

Список литературы

1. «Чиркают задницей»: почему самолеты стали чаще биться хвостами о взлетные полосы // RTVI : сайт. URL : https://rtvi.com/news/chirkayut-zadniczej-pochemu-samolety-stali-chashhe-bitsya-hvostami-o-vzletnye-polosy/?utm_referrer=mirtesen.ru (Дата обращения: 21.10.2024).
2. Пилоту о предотвращении грубых посадок / В.М. Буряков, Г.С. Егоров, В.А. Еремин и др. М. : Транспорт, 1990. 47 с.
3. Сергин В.А. Анализ некоторых причин «грубых» посадок и повторных отделений // Научные исследования и современное образование : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2019. С. 129–131.
4. Стрелков В.В. Оценка значимости основных факторов риска авиационного происшествия на посадке на основании анализа результатов опроса пилотов гражданской авиации // Научн. вестн. Москов. гос. техн. ун-та гражд. авиации. 2024. Т. 27. № 1. С. 43–60.
5. Stabilized Approach And Flare Are Keys to Avoiding Hard Landings // Flight Safety Digest. 2004. Vol. 23. No 8. URL : https://flightsafety.org/fsd/fsd_aug04.pdf (Дата обращения 21.10.2024).
6. Почему иногда пилоты сажают самолет более резко и жестко, чем можно было бы? // dzen. ru : сайт. URL : <https://dzen.ru/a/ZKKwZm7tUQKwFL7V> (Дата обращения 22.10.2024).
7. «Дурака включим, зайдем?» Неудачная посадка Боинга 737 в Сочи // dzen. ru : сайт. URL : <https://dzen.ru/a/ZiE0N8gPeB31iOdP> (Дата обращения 22.10.2024).
8. Состояние поверхности ВПП: оценка, измерение и представление данных. Циркуляр 329-AN/191. Монреаль : ИКАО, 2012. 92 с.
9. Человек и безопасность полетов. Научно-практические аспекты снижения авиационной аварийности по причине человеческого фактора : сб. науч. тр. / под ред. В.А. Пономаренко и А.В. Чунтул. М. : Когито-Центр, 2013. 288 с.
10. Человеческий фактор, управление и организация. Циркуляр ИКАО 247-AN/148. Сб. материалов № 10. Монреаль : ИКАО, 1993. 50 с.
11. Человеческий фактор в системах CNS/ATM. Циркуляр ИКАО 249-AN/149. Сб. материалов № 11. Монреаль : ИКАО, 1994. 43 с.
12. Фролов М.В. Контроль функционального состояния человека-оператора. М. : Наука, 1990. 208 с.
13. Артемов А.Д., Лысаков Н.Д., Лысакова Е.Н. Человеческий фактор в эксплуатации авиационной техники. М. : МАИ, 2018. 156 с.
14. Кузнецов И.Б. Человеческий фактор в гражданской авиации. Санкт-Петербург : Политехника, 2019. 102 с.
15. Роль человеческого фактора при техническом обслуживании и инспекции воздушных судов. Циркуляр 253-AN/151. Сб. материалов № 12. Монреаль : ИКАО, 1995. 58 с.
16. Подготовка летного экипажа: оптимизация работы экипажа в кабине (CRM) и летная подготовка в условиях, приближенных к реальным (LOFT). Циркуляр 217-AN/132. Человеческий фактор. Сб. материалов № 2. Монреаль : ИКАО, 1989. 78 с.
17. Человеческий фактор в обеспечении безопасности в пассажирском салоне. Циркуляр 300-AN/173. Сб. материалов № 15. Монреаль : ИКАО, 2003. 80 с.
18. Устинов В.В., Кашковский В.В., Чобанян Л.Г. Методика, алгоритм и критерий количественного оценивания качества выполнения маневра захода на посадку и посадки среднемагистрального воздушного судна по данным средств объективного контроля // CREDE EXPERTO: транспорт, общество, образование, язык. 2022. № 1. С. 51–72.
19. Устинов В.В. Назаров П.С. Один из подходов к планированию подготовки курсантов летных училищ с учетом уровня натренированности и качества выполнения полетного задания // CREDE EXPERTO : транспорт, общество, образование, язык. 2020. № 1. С. 74–88.

20. Чобанян Л.Г., Назаров П.С. Методика, алгоритм и критерий количественного оценивания качества выполнения маневров и фигур пилотажа по данным средств объективного контроля // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации : сб. тр. XIV Всерос. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов. Иркутск, 2021. Т. 1. С. 125–130.
21. Устинов В.В., Шишкун Ю.Н., Полуэктов С.П. Методика и алгоритм объективного оценивания уровня натренированности летного состава // Сб. рефератов деп. рукописей, вып. 82, серия Б, инф. Б. М. : ЦВНИ МО РФ, 2008.
22. Устинов В.В., Шишкун Ю.Н., Желтухин А.С. Методика объективного оценивания уровня обученности курсантов летных училищ и планирования их летной подготовки // Актуальные проблемы вузов ВВС : межвуз. сб. М., 2007. Вып. 23. С. 15–18.
23. Устинов В.В., Кашковский В.В. Методика объективной оценки профессиональной подготовленности летного состава маневренных самолетов // Науч. вестн. Москов. гос. техн. ун-та гражд. авиации. 2013. № 187. С. 161–163.
24. Бутырин О.А., Клещенко С.В. Методика количественной оценки качества техники пилотирования летчика в рейсовых условиях // Проблемы безопасности полетов. 2008. № 9. С. 17–30.
25. Бутырин О.А., Клещенко С.В. Методика оптимального полета // Проблемы безопасности полетов. 2008. № 10. С. 23–30.
26. Бутырин О.А., Клещенко С.В. Продолжение исследований по методике параметрического мониторинга полета // Aviahumanfactor : сайт. URL : <https://www.aviahumanfactor.ru/bezopasnost/1/1485/prodolzhenie-issledovaniy-po-metodike-parametricheskogo-monitori.htm> (Дата обращения 22.10.2024).
27. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М. : Высшая школа, 2001. 576 с.

References

1. «Chirkayut zadnitsei»: pochemu samolety stali chashche bit'sya khvostami o vzletnye polosy (elektronnyi resurs) [«Scratching their ass»: why planes have become more likely to bang their tails on runways (electronic resource)]. Available at: https://rtvi.com/news/chirkayut-zadniczej-pochemu-samolety-stali-chashche-bitsya-hvostami-o-vzletnye-polosy/?utm_referrer=mirtesen.ru (Accessed October 21, 2024).
2. Buryakov V.M., Egorov G.S., Eremin V.A., Kofman V.D., Popov V.D., Poltavets V.A., Stradomskii O.Yu., Fitsner L.K. Pilotu o predotvratshchenii grubykh posadok [To the pilot about the prevention of rough landings]. Moscow: Transport Publ., 1990. 47 p.
3. Sergin V.A. Analiz nekotorykh prichin «grubykh» posadok i povtornykh otstrelivaniy [Analysis of some causes of «rough» landings and repeated detachments]. Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauchnye issledovaniya i sovremennoe obrazovanie» [Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference «Scientific research and modern education»]. Cheboksary, 2019, pp. 129–131.
4. Strelkov V.V. Otsenka znachimosti osnovnykh faktorov risika aviatsionnogo proishestviya na posadke na osnovanii analiza rezul'tatov oprosa pilotov grazhdanskoi aviatsii [Assessment of the significance of the main risk factors of an aviation accident on landing based on the analysis of the results of a survey of civil aviation pilots]. Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii [Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation], 2024, Vol. 27, no 1, pp. 43–60.
5. Stabilized Approach And Flare Are Keys to Avoiding Hard Landings // Flight Safety Digest. 2004. Vol. 23. No 8. Available at: https://flightsafety.org/fsd/fsd_aug04.pdf (Accessed October 21, 2024).
6. Pochemu inogda piloty sazhayut samolet bolee rezko i zhestko, chem mozhno bylo by? (elektronnyi resurs) [Why do pilots sometimes land the plane more abruptly and harshly than they could? (electronic resource)]. Available at: <https://dzen.ru/a/ZKKwZm7UQKwFL7V> (Accessed October 22, 2024).
7. «Duraka vklyuchim, zайдем?» Neudachnaya posadka Boinga 737 v Sochi (elektronnyi resurs) [«Let's turn on the fool, shall we go in?» The unsuccessful landing of the Boeing 737 in Sochi (electronic resource)]. Available at: <https://dzen.ru/a/ZiE0N8gPeB31iOdP> (Accessed October 22, 2024).
8. Tsirkulyar 329-AN/191. Sostoyanie poverkhnosti VPP: otsenka, izmerenie i predstavlenie dannykh [Cir 329 AN/191. Runway surface condition: assessment, measurement, and data presentation]. Montreal': Mezhdunarodnaya organizatsiya grazhdanskoi aviatsii Publ., 2012. 92 p.
9. Sbornik nauchnykh trudov «Chelovek i bezopasnost' poletov. Nauchno-prakticheskie aspekty snizheniya aviatsionnoi avariinosti po prichine chelovecheskogo faktora» / pod red. Ponomarenko V.A. i Chuntul A.V. [Proceedings «Human and flight safety. Scientific and practical aspects of reducing aviation accidents due to the human factor». Ed. by V.A. Ponomarenko and A.V. Chuntul]. Moscow: Kogito-Tsentr Publ., 2013. 288 p.
10. Tsirkulyar 247-AN/148. Chelovecheskii faktor. Sbornik materialov № 10. Chelovecheskii faktor, upravlenie i organizatsiya [Circular 247-AN/148. Human factors digest No 10. Human factors, management and organization]. Montreal': Mezhdunarodnaya organizatsiya grazhdanskoi aviatsii Publ., 1993. 50 p.
11. Tsirkulyar 249-AN/149. Chelovecheskii faktor. Sbornik materialov № 11. Chelovecheskii faktor v sistemakh CNS/ATM [Circular 249-AN/149. Human factors digest No 11. Human factors in CNS/ATM systems]. Montreal': Mezhdunarodnaya organizatsiya grazhdanskoi aviatsii Publ., 1994. 43 p.
12. Frolov M.V. Kontrol' funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka-operatora [Control of the functional state of the human operator]. Moscow: Nauka Publ., 1990. 208 p.
13. Artemov A.D., Lysakov N.D., Lysakova E.N. Chelovecheskii faktor v ekspluatatsii aviatsionnoi tekhniki [The human factor in the operation of aviation equipment]. Moscow: MAI Publ., 2018. 156 p.
14. Kuznetsov I.B. Chelovecheskii faktor v grazhdanskoi aviatsii [The human factor in civil aviation]. Saint Petersburg: Politehnika Publ., 2019. 102 p.

15. Tsirkulyar 253-AN/151. Chelovecheskii faktor. Sbornik materialov № 12. Rol' chelovecheskogo faktora pri tekhnicheskem obsluzhivaniyu i inspeksii vozduzhnykh sudov [Circular 253-AN/151. Human factors digest No 12. The role of the human factor in aircraft maintenance and inspection]. Montreal': Mezhdunarodnaya organizatsiya grazhdanskoi aviatsii Publ., 1995. 58 p.
16. Tsirkulyar 217-AN/132. Chelovecheskii faktor. Sbornik materialov № 2. Podgotovka letnogo ekipazha: optimizatsiya raboty ekipazha v kabine (CRM) i letnaya podgotovka v usloviyakh, priblizhennykh k real'nym (LOFT) [Circular 217-AN/132. Human factors digest No 2. Flight crew training: optimization of crew work in the cockpit (CRM) and flight training in conditions close to real (LOFT)]. Montreal': Mezhdunarodnaya organizatsiya grazhdanskoi aviatsii Publ., 1989. 78 p.
17. Tsirkulyar 300-AN/173. Chelovecheskii faktor. Sbornik materialov № 15. Chelovecheskii faktor v obespechenii bezopasnosti v passazhirskom salone [Circular 300-AN/173. Human factors digest No 15. The human factor in ensuring safety in the passenger cabin]. Montreal': Mezhdunarodnaya organizatsiya grazhdanskoi aviatsii Publ., 2003. 80 p.
18. Ustinov V.V., Kashkovskii V.V., Chobanyan L.G. Metodika, algoritm i kriterii kolichestvennogo otsenivaniya kachestva vypolneniya manevra zakhoda na posadku i posadki srednemagistral'nogo vozduzhnogo sudna po dannym sredstv ob'ektivnogo kontrolya [Methodology, algorithm and criterion for quantifying the quality of the approach and landing maneuver of a medium-haul aircraft according to objective control data]. *CREDE EXPERTO: transport, obshchestvo, obrazovanie, yazyk* [CREDE EXPERTO: transport, society, education, language], 2022, no 1, pp. 51–72.
19. Ustinov V.V. Nazarov P.S. Odin iz podkhodov k planirovaniyu podgotovki kursantov letnykh uchilishch s uchetom urovnya natrenirovannosti i kachestva vypolneniya poletnogo zadaniya [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]. *CREDE EXPERTO: transport, obshchestvo, obrazovanie, yazyk* [CREDE EXPERTO: transport, society, education, language], 2020, no 1, pp. 74–88.
20. Chobanyan L.G., Nazarov P.S. Metodika, algoritm i kriterii kolichestvennogo otsenivaniya kachestva vypolneniya manevrov i figur pilotazha po dannym sredstv ob'ektivnogo kontrolya [Methodology, algorithm, and criterion for quantifying the quality of maneuvers and aerobatics based on objective control data]. *Shornik trudov XIV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov i aspirantov «Aktual'nye problemy razvitiya aviatsionnoi tekhniki i metodov ee ekspluatatsii»* [Proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and Postgraduates «Actual problems of the development of aviation technology and methods of its operation】. Irkutsk, 2021, Vol. 1, pp. 125–130.
21. Ustinov V.V., Shishkin Yu.N., Poluektov S.P. Metodika i algoritm ob'ektivnogo otsenivaniya urovnya natrenirovannosti letnogo sostava (deponirovannaya rukopis') [Methodology and algorithm of objective assessment of the level of flight personnel training (Deposited manuscript)].
22. Ustinov V.V., Shishkin Yu.N., Zheltukhin A.S. Metodika ob'ektivnogo otsenivaniya urovnya obuchennosti kursantov letnykh uchilishch i planirovaniya ikh letnoi podgotovki [Methodology of objective assessment of the level of training of cadets of flight schools and planning of their flight training]. *Mezhevuzovskii shornik «Aktual'nye problemy vuzov VVS»* [Interuniversity proceedings «Actual problems of Air Force universities】. Moscow, 2007, iss. 23, pp. 15–18.
23. Ustinov V.V., Kashkovskii V.V. Metodika ob'ektivnoi otsenki professional'noi podgotovlennosti letnogo sostava manevrennykh samoletov [Methods of objective assessment of the professional readiness of flight personnel of maneuverable aircraft]. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii* [Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation], 2013, no 187, pp. 161–163.
24. Butyrin O.A., Kleshchenko S.V. Metodika kolichestvennoi otsenki kachestva tekhniki pilotirovaniya letchika v reisovykh usloviyakh [Methodology for quantifying the quality of a pilot's piloting technique in flight conditions]. *Problemy bezopasnosti poletov* [Problems of flight safety], 2008, no 9, pp. 17–30.
25. Butyrin O.A., Kleshchenko S.V. Metodika optimal'nogo poleta [Optimal flight methodology]. *Problemy bezopasnosti poletov* [Problems of flight safety], 2008, no 10, pp. 23–30.
26. Butyrin O.A., Kleshchenko S.V. Prodolzhenie issledovaniy po metodike parametricheskogo monitoringa poleta (elektronnye resursy) [Continuation of research on the methodology of parametric flight monitoring (electronic resource)]. Available at: <https://www.aviahumanfactor.ru/bezopasnost/1/1485/prodolzhenie-issledovaniy-po-metodike-parametricheskogo-monitoringa-poleta.htm> (Accessed October 22, 2024).
27. Ventsel' E.S. Teoriya veroyatnostei [Theory of probability]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2001. 576 p.

Информация об авторе

Кашковский Виктор Владимирович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационных систем и защиты информации, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: viktor.kashkovskij@mail.ru.

Устинов Владимир Валентинович, старший преподаватель кафедры авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов, Иркутский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации, г. Иркутск; e-mail: ustinov_1956@mail.ru.

Author

Victor V. Kashkovsii, Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Department of Information Systems and Information Security, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: viktor.kashkovskij@mail.ru.

Vladimir V. Ustinov, Assistant Professor of the Department of Aviation Electrical Systems and Pilot Navigation Systems, Irkutsk Branch of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, Irkutsk; e-mail: ustinov_1956@mail.ru.