

Научная статья

УДК 656.7.052.4

<https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-3-6>



Методика расчета балльных оценок за технику пилотирования по результатам записей бортовых регистраторов

Виктор Владимирович Кашковский¹, Владимир Валентинович Устинов²✉

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

²Иркутский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации, Иркутск, Россия

Аннотация. В работе обоснованы новые подходы и разработаны методика, алгоритмическое и программное обеспечение оценки качества техники пилотирования. Целью данной работы является снижение трудозатрат на обработку полетной информации, исключение субъективизма и повышение достоверности оценивания качества техники пилотирования. В работе проведен анализ существующих методик оценки качества техники пилотирования, показаны их недостатки и обоснованы достоинства предлагаемых решений. Авторами предложены два основных подхода к разработкам методик оценки техники пилотирования для разных групп пилотов с разными первоначальными навыками пилотирования. В основе предложенной концепции оценки качества пилотирования лежит то, что в координированном посадочном маневре полетные параметры коррелированы между собой. Практика показала, что предложенные методики объективно и достоверно выявляют полеты с отклонениями параметров от допусков, позволяют определить полеты с ошибками в технике пилотирования и исключить выпуск в очередной полет неподготовленного летчика. Разработаны программные комплексы, позволяющие провести обработку полученной статистики и автоматизировать процессы оценивания качества техники пилотирования для построения оптимальных программ летной подготовки. Предложенные решения могут быть реализованы в качестве отдельных программных модулей для наземных устройств обработки полетной информации и внедрены в эксплуатацию.

Ключевые слова: безопасность полетов, статистика, техника пилотирования, натренированность, программы подготовки, критерии оценивания, планирование летной подготовки

Для цитирования: Кашковский В. В., Устинов В. В. Методика расчета балльных оценок за технику пилотирования по результатам записей бортовых регистраторов // Вестник кибернетики. 2025. Т. 24, № 3. С. 55–62. <https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-3-6>.

Original article

Assessment methods for scores of flight technique based on flight recorders records

Viktor V. Kashkovsky¹, Vladimir V. Ustinov²✉

¹Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

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

Abstract. The paper presents alternative approaches and develops a methodology, algorithm and software for assessing the flight technique. This study's aim is to improve flight technique assessment quality, reduce workload, and exclude subjectivity. The paper analyzes existing assessment methods for flight technique, reveals their disadvantages and substantiates the advantages of the proposed solutions. Authors propose two major approaches to the development of flight technique assessment for pilots with different initial pilot skills. The basis of the proposed flight technique assessment lies in coordinated landing maneuver flight parameters that correlate. Practice proved that the proposed assessment methods objectively and reliably identify flights with deviations from parameters, flights with errors in flight technique and prevent

sending of an untrained pilot on the flight. Developed software suite enables statistics processing and automates the processes for flight technique assessment to build optimal programs of flight training. The proposed solutions can be implemented as separate software modules for ground-based flight data processing devices and put into practice.

Keywords: flight safety, statistics, flight technique, proficiency, training programs, evaluation criteria, flight training planning

For citation: Kashkovsky V. V., Ustinov V. V. Assessment methods for scores of flight technique based on flight recorders records. *Proceedings in Cybernetics*. 2025;24(3):55–62. <https://doi.org/10.35266/1999-7604-2025-3-6>.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее важных и сложных задач является подготовка летного состава. От решения этой задачи напрямую зависит безопасность полетов. Непрерывное повышение квалификации летного персонала поможет предупредить и исключить появления ошибок в технике пилотирования, предотвратить допуск к выполнению очередного полетного задания неподготовленного пилота, построить объективные и оптимальные планы подготовок. Каждый педагог и пилот-инструктор оценивает качество выполнения полета по-своему. Из этого следует, что оценка не всегда является точной и объективной. Чтобы прийти к единому принципу оценивания и исключить вероятности завышения и занижения оценок, целесообразным решением является автоматизация этого процесса с применением комплексного показателя качества техники пилотирования при выполнении заданного программы летной подготовки, упражнения.

Большинство существующих методик основаны на сравнении текущих значений параметров оценивания с допустимыми значениями. Однако в настоящее время данную функцию выполняют наземные устройства обработки полетной информации (НУОПИ), в которых выход за летное ограничение предусмотрен при экспресс анализе записей бортовых регистраторов [1, 2, 3].

Наиболее близким решением по данной теме является методика параметрического мониторинга полета, которая проводится при использовании модуля Экспертной Системы Комплексной Оценки Реальных Тенденций Техники Пилотирования (ЭСКОРТ ТП) [4, 5].

По идее авторов статьи, «оптимальный полет» представляет собой 20–30 контролируемых эталонных точек по всему профилю полета. Самым сложным в оценке качества пилотирования является выбор повторяющихся по множеству полетов этапов, на которых самолет пилотируется в ручном режиме, а именно участок захода на посадку. Данные соображения позволяют сделать вывод о том, что идея оптимального полета из 20–30 контролируемых эталонных точек «по всему профилю полета» представляется непродуктивной.

В работе предложены для реализации комплексные показатели оценки качества техники пилотирования по отклонениям значений параметров от эталонов с учетом значимостей параметров оценивания и их корреляционной зависимости, что позволит исключить субъективизм оценивания, повысить достоверность результатов оценивания и безопасность полетов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Авторы предлагают принципиально новый подход к оценке качества пилотирования. Предполагается, что параметры полета в контрольных точках квалифицированно выполненного посадочного маневра коррелированы между собой. При этом возможны различные варианты методик для оценивания этой корреляционной зависимости, охватывающие разные аспекты оценки качества пилотирования.

На первом этапе исследований была реализована опытная методика оценивания качества пилотирования при выполнении предпосадочного маневра среднемагистрального воздушного судна (ВС). Опытная методика

позволяет оценить качество пилотирования как для посадочного маневра в целом, так и для его отдельных этапов [6, 7, 8]. Цель методики – доказательство адекватности предложенных модели пилотирования ВС и концепции оценки качества пилотирования, а также отработка алгоритмов программного обеспечения (ПО).

Методика предполагает, что по данным бортовых устройств регистрации в каждом полете автоматически выявляются контрольные точки. Параметры, измеренные в контрольных точках, образуют вектор измерения значений параметров. Множество реализаций посадочного маневра образуют прямоугольную матрицу наблюдения M , размерностью $r \times n$, каждой строкой которой является вектор измерения значений параметров в конкретном полете.

Квадрат центрированного нормированного вектора изменений имеет вид:

$$A_j = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n), \quad j = \overline{1, r}, \quad (1)$$

где $a_i = \frac{(x_i - m_i)^2}{D_i}$, $i = \overline{1, n}$ – квадрат центрированного нормированного измерения x_i ;

r – число строк в матрице M ;

j – номер строки в матрице M ;

n – размерность вектора A_j , в опытной методике $n = 12$;

m_i – оценка среднего значения параметра x_i по строкам матрицы M ;

D_i – оценка дисперсии параметра x_i по строкам матрицы M .

Расчет текущего показателя качества предлагается рассчитывать по выражению

$$\tilde{g} = AK A^T, \quad (2)$$

где A^T – вектор столбец, полученный транспонированием текущего вектора измерений A ;

K – матрица весовых коэффициентов размерностью $n \times n$.

Матрица K получена на основе корреляционной матрицы векторов A_j матрицы M .

Для оценки $\tilde{g}$ характерно то, что она нелинейная в четвертой степени и является разнотенденцией эксцесса. Эксцесс очень чувстви-

телен к предельным выбросам случайной величины и, следовательно, позволяет характеризовать отклонение данного полета от эталонной модели. Исходя из этого для балльной оценки качества пилотирования были предложены эталонные модели g_5 , g_4 и g_3 .

Эталонная модель g_5 была получена из выражения (2) при условии, что в векторе A $a_i = \sigma$, $i = \overline{1, n}$. Соответственно модель g_4 получена при условии, что $a_i = 2\sigma$, $i = \overline{1, n}$, а модель g_3 – при условии, что $a_i = 3\sigma$, $i = \overline{1, n}$. Значение коэффициента σ было найдено эмпирически. Если в текущем полете $\tilde{g} < g_5$, то оценка за полет 5 баллов.

Если $g_5 < \tilde{g} \leq g_4$, то оценка за полет 4 балла.

Если $g_4 < \tilde{g} \leq g_3$, то оценка за полет 3 балла.

Если $\tilde{g} > g_3$, то оценка за полет «неудовлетворительно».

Для опытной методики было разработано ПО, с помощью которого было обработано 186 полетов среднемагистрального самолета. Эксплуатация этого ПО доказала перспективность предложенной концепции и эффективность разработанных алгоритмов обработки.

Для упрощения алгоритмов ПО опытной методики в ней было сделано допущение о том, что плотности распределения измеряемых параметров являются симметричными. Кроме того, число измеряемых параметров в опытной методике было явно недостаточно. Поэтому, основываясь на результатах, полученных с помощью опытного ПО, данная методика была усовершенствована. На ее основе были разработаны взаимно дополняющие друг друга критерии оценки качества пилотирования Е, К и М. Критерии Е и К получены на основе выражения (2). В данной работе рассмотрим методику оценки качества пилотирования по критерию М.

При оценке качества пилотирования по критерию М в выражении (1) было изменено понятие центрированного нормированного значения a_i :

$$a_i = \frac{9(x_i - m_i)^2}{\Delta x_i^2}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где Δx_i^2 – предельное отклонение i -го параметра, найденное по матрице M ;

m_i – медиана x_i параметра, найденная по матрице M .

Все измерения в векторе A в той или иной степени асимметричны. Поэтому величина Δx_i^2 для отрицательных и положительных отклонений текущего значения параметра x_i будет разной. При оценке качества пилотирования по критерию M размерность вектора $n = 25$. Величина $\Delta x_i^2 / 3$ в выражении (3) необходима для обеспечения четырехбалльной градации оценок.

Для оценки качества пилотирования обозначим элемент вероятности, характеризующий качество пилотирования в текущем полете:

$$r_{ij} = \frac{9(x_i - m_i)(x_j - m_j)}{\Delta x_i \Delta x_j}. \quad (4)$$

Матрица M позволяет найти выборки R_{ij} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$, $i \neq j$. С учетом того что $r_{ij} = r_{ji}$ и $n = 25$, а также других принятых ограничений каждый полет дает по 276 элементов вероятности (4). Из них в алгоритме оценивания качества пилотирования непосредственно участвуют 12. Остальные могут быть использованы при углубленном анализе качества пилотирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим результаты оценки качества пилотирования, полученные с помощью опытной методики и ПО на его основе. На рис. 1 показаны градации значений $\tilde{g}$ по моделям g_5 , g_4 и g_3 . Модели g_5 , g_4 и g_3 получены при обработке 186 полетов.

В таблице представлены примеры результатов оценивания по данным бортового устройства регистрации параметров критерия

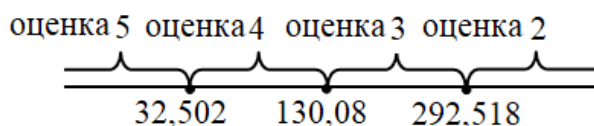


Рис. 1. Балльные оценки, заданные величиной относительных отклонений

Примечание: составлено авторами.

$\tilde{g}$ для нескольких полетов среднемагистрального самолета.

Также авторами были проведены исследования по оценке качества выполнения предпосадочного маневра ВС по отдельным этапам, определяющимся изменением параметров оценивания между характерными точками выполнения предпосадочного маневра (замерами относительных отклонений параметров, например превышение скорости полета во второй точке траектории выполнения маневра, относительно первой и т.д.). Алгоритм и критерий оценивания аналогичен изложенному выше.

Данный подход позволяет определить, на каком конкретном участке выполнения маневра летчик получил определенную балльную оценку, и проанализировать его управляющие действия путем просмотра сигналограммы записей параметров полета и управления ВС на данном этапе при обработке этой информации на наземных программных комплексах [7, 9].

На рис. 2 показан один из примеров записей параметров полета и управляющих действий пилота по сигналограмме.

При анализе качества выполнения предпосадочного маневра ВС по полету, получившему неудовлетворительную оценку, по записям параметров, определенных на сигналограмме, очевидно, что пилот на отдельных этапах резко изменял положение руля высоты, что привело к изменениям значений параметров оценивания. Таким образом, инструктор, проводящий разбор качества выполнения полетного задания, может определить конкретные ошибки в технике пилотирования на каждом этапе выполнения любого маневра, входящего в выполнение полетного задания.

Таблица

Балльные оценки за технику пилотирования

Номер реализации (строки) в матрице M	$\tilde{g}$	Оценка
1	28,466	5
2	51,174	4
27	180,634	3
28	413,755	2
30	13,634	5

Примечание: составлено авторами.

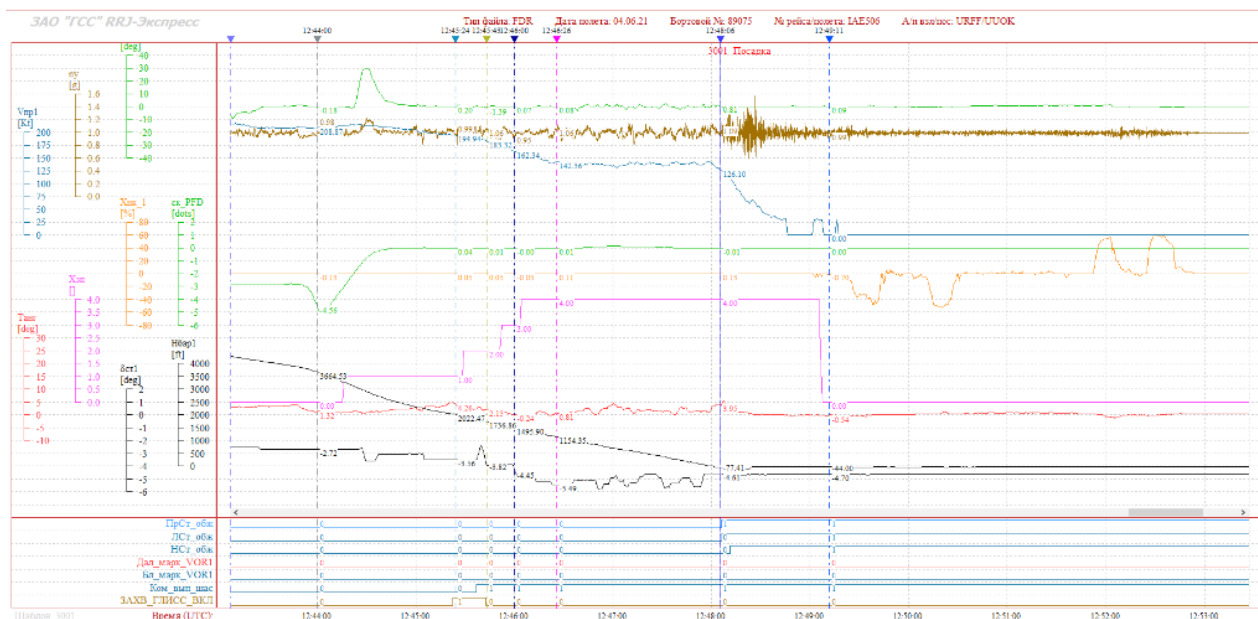


Рис. 2. Сигналограмма записей параметров полета

Примечание: составлено авторами.

Анализ обработки сигналограмм (более чем 200 полетов при выполнении предпосадочного маневра для среднемагистрального ВС, выполненных командирами ВС одной из авиакомпаний) показал, что наиболее предпочтительным является метод выбора в качестве эталонных значений параметров для оценивания качества техники пилотирования такой числовой характеристики как медиана. Отклонения от нее назначаются в долях по пятибалльной шкале оценивания

Апробация данной методики показала возможность ее практической реализации для оценки качества пилотирования. Применение данной методики можно рекомендовать для массового применения в авиационных компаниях и летных училищах.

Пример результатов оценки качества пилотирования по критерию M (медиана) приведен на рис. 3. Общая оценка за данный полет «неудовлетворительно».

Программный комплекс позволяет наглядно просмотреть отклонения параметров (красная линия) от эталона (синяя линия) и провести анализ выдерживания значений параметров оценивания в каждой точке предпосадочного маневра. Примеры вывода результатов оценивания показаны на рис. 4 и 5.

Зеленые линии означают отклонения от эталона с оценками 5, 4 и 3 балла.

Вывод: из рис. 3 и 4 следует, что угол тангажа ни в одной из пяти точек не вышел за рекомендованные границы. Однако несоответствие тренда и текущей траектории параметров (одновременно занижены и тангаж, и скорость) слишком очевидно.

Поэтому если за первую точку «Тангаж 1/Скорость 1» автомат поставил «3», то за вторую точку захода на посадку «Тангаж 2/Скорость 2» автомат поставил «2». Выдерживание летчиком значений угла тангажа

№ п/п	Сечения i и j	$\eta(i,j)$	Тек. зн.	Оценка	
1	Высота 1/Высота 2	0.9222	24.795479	2+	
2	Высота 2/Высота 3	0.8093	23.193672	2+	
3	Тангаж 2/Скорость 2	-0.6588	0.393108	2+	
4	Высота 1/Высота 3	0.6558	19.017784	2+	
5	Высота 3/Высота 4	0.5919	-2.096151	2	
6	Тангаж 1/Скорость 1	-0.5897	0.488856	3+	
7	Тангаж 4/Скорость 4	-0.5848	-0.229053	5+	
8	Скорость 1/Скорость 2	0.4630	0.566322	5+	
9	Тангаж 1/Тангаж 2	0.4155	0.339336	5+	
10	Тангаж 2/Высота 1	-0.3683	-2.358811	2	
11	Тангаж 1/Высота 1	-0.3649	-2.924823	2	
12	Тангаж 1/Скорость 2	-0.3635	0.487437	3+	

Общая оценка **Ниже нормы**

Рис. 3. Результат оценки полета по 12 параметрам

Примечание: составлено авторами.

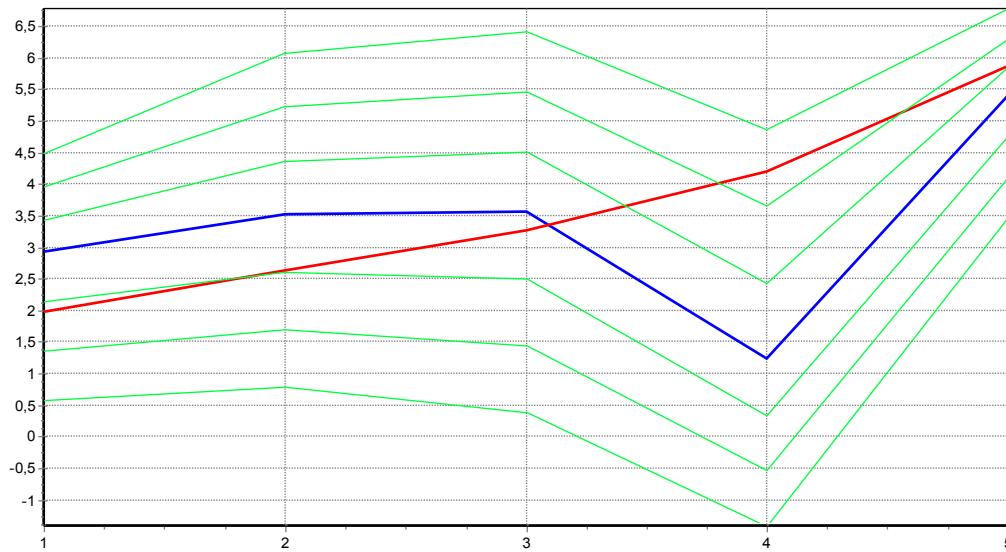


Рис. 4. Модель захода на посадку в данной геолокации по тангажу
Примечание: составлено авторами.

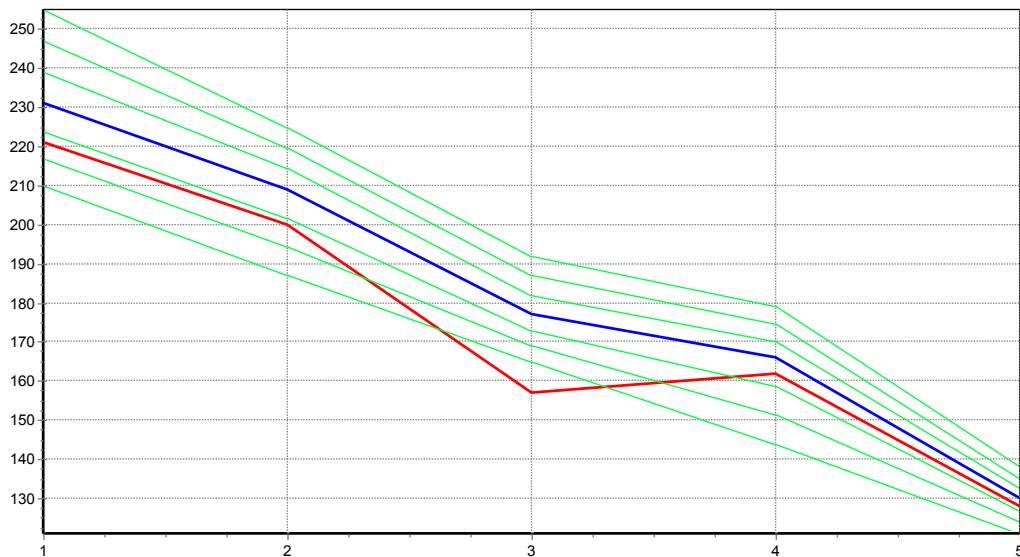


Рис. 5. Модель захода на посадку в данной геолокации по скорости
Примечание: составлено авторами.

и скорости в точке 2 на неудовлетворительную оценку стала причиной того, что «Скорость 3» в третьей точке опустилась ниже нормы.

Вполне возможно, что в этой точке имел место авиационный инцидент, не замеченный обычным объективным контролем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложены два подхода к решению задачи количественной оценки за технику пилотирования. На их основе разработано алгоритмическое и программное обеспече-

ние для обработки полетной информации, регистрируемой штатными бортовыми регистраторами, дополняющее и повышающее эффективность существующей системы объективного контроля действий летчика. Предлагаемое ПО можно использовать в виде отдельных программных модулей для наземных комплексов обработки полетной информации.

Предлагаемые методики и ПО позволяют перейти к другому, более высокому уровню оценивания качества пилотирования. Их применение повысит объективность и достовер-

ность анализа выполненного полета, позволит автоматизировать оценку качества техники

пилотирования и строить прогнозные модели для оптимизации летной подготовки [9].

Список источников

1. Руководство по организации сбора, обработки и использования полетной информации в авиапредприятиях гражданской авиации Российской Федерации (утв. Росавиацией 30.04.2020). Доступ из СПС «Консультант Плюс».
2. Специальное программное обеспечение «RRJ-Экспресс» RRJ0000-IN-055-180 rev. F : руководство пользователя. М. : Региональные самолеты, 2021. 123 с.
3. Устинов В. В., Кашковский В. В. Методика построения программ летной подготовки с учетом количественных показателей оценки уровня натренированности // Актуальные вопросы обеспечения комплексной безопасности на транспорте : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 12–15 ноября 2024 г., г. Санкт-Петербург. СПб. : Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации им. главного маршала авиации А. А. Новикова, 2025. С. 127–132.
4. Бутырин О. А., Кleshchenko С. В. Методика количественной оценки качества техники пилотирования летчика в рейсовых условиях // Проблемы безопасности полетов. 2008. № 9. С. 17–30.
5. Бутырин О. А., Кleshchenko С. В. Методика оптимального полета // Проблемы безопасности полетов. 2008. № 10. С. 23–30.
6. Вставский С. А., Гайсенек А. В., Устинов В. В. Методика автоматизации процесса разработки планов подготовки летного состава с учетом количественных показателей уровня натренированности и балльного оценивания качества техники пилотирования // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2024 : сб. тр. XVII Всерос. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов, 05–06 декабря 2024 г., г. Иркутск. Иркутск : Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МГТУ ГА», 2025. Т. 1. С. 127–134.
7. 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.
8. 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.

References

1. Guidelines for the organization of collection, processing and use of flight information in civil aviation enterprises of the Russian Federation (approved by Rosaviatsia on April 30, 2020). Accessed through Law assistance system “Consultant Plus”. (In Russ.).
2. Spetsialnoe programmnoe obespechenie “RRJ-Ekspress” RRJ0000-IN-055-180 rev. F: user manual. Moscow: Regionalnye samolety; 2021. 123 p. (In Russ.).
3. Ustinov V. V., Kashkovsky V. V. Method of constructing flight training programs taking into account quantitative indicators for assessing the level of training. In: *Proceedings of International Research-to-Practice Conference “Aktualnye voprosy obespecheniya kompleksnoy bezopasnosti na transporte”*, November 12–15, 2024, Saint Petersburg. St. Petersburg: Saint-Petersburg State University of Civil Aviation named in honor of Air Chief Marshal A. A. Novikov; 2025. p. 127–132. (In Russ.).
4. Butyrin O. A., Kleshchenko S. V. Metodika kolichestvennoi otsenki kachestva tekhniki pilotirovaniya letchika v reisovykh usloviyakh. *Problemy bezopasnosti poletov*. 2008;(9):17–30. (In Russ.).
5. Butyrin O. A., Kleshchenko S. V. Metodika optimalnogo poleta. *Problemy bezopasnosti poletov*. 2008;(10):23–30. (In Russ.).
6. Vstavskiy S. A., Gaisенок A. V., Ustinov V. V. Metodika avtomatizatsii protsesssa razrabotki planov podgotovki letnogo sostava s uchyotom kolichestvennykh pokazateley urovnya natrenirovannosti i ballnogo otsenivaniya kachestva tekhniki pilotirovaniya. In: *Proceedings of All-Russian Research-to-Practice Conference of Students and Postgraduates “Aktualnye problemy razvitiya aviatsionnoy tekhniki I metodov ee ekspluatatsii”*, December 5–6, 2024, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk Branch of Moscow State Technical University of Civil Aviation; 2025. Vol. 1. p. 127–134. (In Russ.).
7. Ustinov V. V., Kashkovsky V. V., Chobanyan L. G. 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. *Crede Experto: Transport, Society, Education, Language*. 2022;(1):51–72. (In Russ.).
8. Ustinov V. V., Nazarov P. S. One of the approaches to designing training for flight students based on the proficiency level and the performance of the flight task. *Crede Experto: Transport, Society, Education, Language*. 2020;(1):74–88. (In Russ.).
9. Chobanyan L. G., Nazarov P. S. Metodika, algoritm i kriterii kolichestvennogo otsenivaniya kachestva vypolneniya manevrov i figur pilotazha po dannym

9. 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 – 2021 : сб. тр. XIV Всерос. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов, 09–10 февраля 2022 г., г. Иркутск. Иркутск : Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2022. Т. 1. С. 51–72.

Информация об авторах

В. В. Кашковский – доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор, член-корреспондент Академии инженерных наук имени А. Н. Прохорова;

<https://orcid.org/0000-0002-2865-2129>,
viktor.kashkovskij@mail.ru

В. В. Устинов – старший преподаватель;
<https://orcid.org/0000-0002-3399-6671>,
ustinov_1956@mail.ru✉

nsredstv obiektivnogo kontrolya. In: *Collection of articles of the 14th All-Russian Research-to-Practice conference of students and postgraduates “Aktualnye problemy razvitiia aviatsionnoi tekhniki i metodov ee ekspluatatsii-2021”*, February 9–10, 2022, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk branch of the Moscow State Technical University of Civil Aviation; 2022. Vol. 1. p. 51–72. (In Russ.).

About the authors

V. V. Kashkovsky – Doctor of Sciences (Engineering), Senior Researcher, Professor, Corresponding Member of Academy of Engineering Sciences named after A. N. Prokhorov;

<https://orcid.org/0000-0002-2865-2129>,
viktor.kashkovskij@mail.ru

V. V. Ustinov – Senior Lecturer;
<https://orcid.org/0000-0002-3399-6671>,
ustinov_1956@mail.ru✉