

УДК 629.735.33:004.021

## ОГРАНИЧЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МАТРИЦЫ ИКАО ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКОВ ДЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

В.Д. ШАРОВ, В.В. ВОРОБЬЕВ

В статье анализируются возможности и недостатки матрицы последствий и вероятностей (матрицы рисков ИКАО) как метода оценки рисков для безопасности полетов.

Матрица ИКАО является качественным методом управления риском, основанным на экспертных оценках степени вероятности отдельных возможных событий и потенциальной опасности их последствий. Метод является простым и удобным в использовании, но позволяет оценивать только отдельные дифференциальные риски.

В статье на конкретных примерах показана несостоятельность попыток использования матрицы ИКАО для количественных оценок риска «прошлых событий» и отклонений в эксплуатационной деятельности авиапредприятия, получения интегрального риска авиапредприятия и его мониторинга. Также показана ограниченность данного метода в части решения задач приоритизации корректирующих мероприятий при отрицательной корреляции степени вероятности и серьезности последствий событий.

**Ключевые слова:** риск для безопасности полетов, вероятность, последствия, матрица риска.

### ВВЕДЕНИЕ

Управление риском для безопасности полетов (БП) занимает центральное место в системе управления безопасностью полетов (СУБП) [1]. Это инструмент предотвращения авиационных происшествий (АП) посредством выявления опасностей<sup>1</sup>, оценки их риска и принятия действий. С управлением риском связаны методологические проблемы, не позволившие реализовать СУБП в установленные ИКАО сроки.

Для оценки и ранжирования риска ИКАО рекомендует матрицу 5 x 5 (рис. 1).

Вероятность риска	Серьезность риска				
	Катастрофическая А	Опасная В	Значительная С	Незначительная D	Ничтожная E
Часто 5	5A	5B	5C	5D	5E
Иногда 4	4A	4B	4C	4D	4E
Весьма редко 3	3A	3B	3C	3D	3E
Маловероятно 2	2A	2B	2C	2D	2E
Крайне маловероятно 1	1A	1B	1C	1D	1E

Рис. 1. Один из вариантов матрицы риска ИКАО, приведенный в [1]

В зависимости от присвоенного индекса устанавливаются три уровня приоритизации риска: 5А, 5В, 5С, 4В, 4А, 3А – риск неприемлем, 2А, 2В, 3В, 4С, 3С, 2С, 5D, 4D, 3D, 5E, 4E – приемлем при условии разработки мероприятий; 1А, 1В, 1С, 2D, 1D, 3E, 2E, 1E – риск приемлем, мероприятий не требуется.

Матрица рисков ИКАО заимствована из технических руководств по СУБП государств и из систем управления риском других опасных производств (атомная энергетика, нефтегазовая про-

<sup>1</sup> Применяем термин «Опасность», который в Приложении 19 соответствует английскому «Hazard». В [1] в этом же значении используется «Опасный фактор», а ранее в русском варианте РУБП ИКАО 2009 г. этот же термин переводился как «Фактор опасности». Некоторые другие странности переводов отмечены в п. 5.

мышленность, военное дело). Первые матрицы в гражданской авиации, например, в документе САА Великобритании CAP 712, имели размер 4 x 4, затем 4 x 5 (*System Safety Management Program, FAA, 2000*), впоследствии все пришли к размеру матрицы 5 x 5. Неоднозначным является и соотношение количеством ячеек, традиционно окрашиваемых в разные цвета по уровню риска. Так, в циркуляре FAA [2] зеленых ячеек на две больше (за счет меньшего числа желтых), чем в матрице ИКАО.

В руководствах авиационных администраций и эксплуатантов встречаются матрицы другой размерности, матрицы, имеющие более трех уровней риска, матрицы с криволинейными границами зон риска [3] и матрицы на основе трех компонент риска [4].

По ГОСТ РФ [5] эта матрица называется «матрицей последствий и вероятностей» и является одним из 31 способа управления риском, приведенных в этом ГОСТ.

Подход ИКАО соответствует «технократической концепции риска» [6], по которой риск рассматривается как сочетание вероятности опасного события, серьезности его последствий и неопределенности в оценках. Для использования матрицы необходимо вначале выявить и сформулировать опасность, а затем с помощью экспертов задать вероятность и серьезности парой качественных значений. Именно так описывается процедура использования матрицы в Добавлении 2 к главе 2 в [1].

В Руководстве по управлению БП ИКАО 2009 г. в Добавлениях 1–3 к гл. 5 были приведены примеры, в [1], к сожалению, этих полезных для понимания применения матрицы примеров нет. В практике авиапредприятий часто идут дальше и используют матрицу для оценки «риска прошлых событий», для количественного расчета и мониторинга индекса риска.

Рассмотрим, в какой степени такие попытки корректны.

### 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТРИЦ ДЛЯ ОЦЕНКИ «РИСКА ПРОШЛЫХ СОБЫТИЙ»

Выявление опасностей связано с анализом отклонений в деятельности авиакомпании. Отсюда попытки применить матрицу для оценки, в том числе количественной, риска, связанного с конкретным событием, на основе статистики событий в авиакомпании.

На рис. 2 приведены две матрицы, используемые в крупных авиакомпаниях.

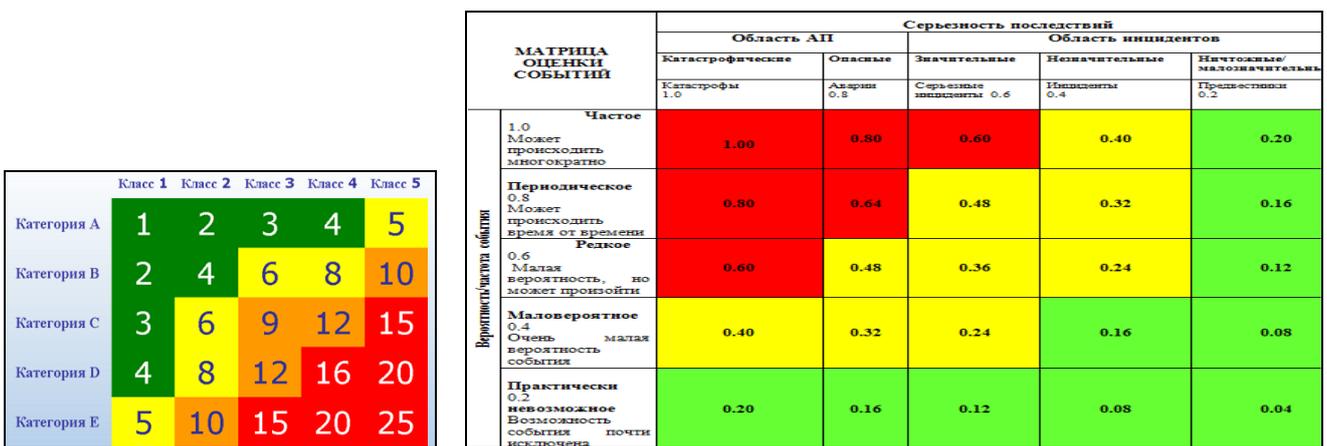


Рис. 2. Матрицы риска двух российских авиакомпаний

Можно видеть, что в правой матрице, в отличие от левой, численные значения в ячейках уменьшены в 25 раз для видимости вероятностных оценок, а в ее описании записано, что она предназначена для того, чтобы «пропускать» через нее события и присваивать им «индексы риска». Затем эти индексы суммируются, и по ним ведется еженедельный мониторинг риска а/к.

Рассмотрим, позволяет ли методология ИКАО «пропускать» события через матрицу.

Пример. Оценивается риск события: самолет типа X после посадки остановился на последней плите ВПП по причине пониженной эффективности системы торможения колес из-за

ошибки при ТО. Экипаж применил все средства торможения, результат – разрушение нескольких авиашин. Используем матрицу «серьезность/вероятность».

*Серьезность последствий какого события мы определяем:* – фактического итога (последствий) – несколько порванных покрышек; – наиболее вероятного сценария АП: выкатывание, авария; – самого неблагоприятного исхода – разрушение ВС, гибель людей – катастрофа?

*Вероятность какого события мы хотим рассчитать и учесть:* – точно такой же ошибки при ТО; – аналогичного события – «почти выкатывание»; – реального выкатывания?

Нужно ли рассматривать только ВС типа X или также и другие типы ВС? Другие аэродромы? Другие авиакомпании? И главное: какие события «такие же»? От ответов зависит, какие события нужно брать из базы данных для расчета частоты и вероятности.

В монографии [7] показано на примерах, что оценки качественных показателей вероятности матрицы ИКАО на основе статистики событий в авиакомпании (а/к) не дают достоверных оценок риска. Исключения могут составлять оценки, связанные с отказами агрегатов ВС.

Можно согласиться с мнением группы ARMS [8], что, рассматривая состоявшееся событие, важно понимать две вещи: событие в том виде, как оно произошло, и его реальный исход, это «исторический факт»; «исторический факт» не представляет большого интереса для оценки риска.

ARMS рекомендует разделять процессы оценки риска на момент наступления события и риска будущей опасности, применяя разные методы. События и отклонения являются только основой для выявления и формулирования опасности и последствий.

Риск – это прогноз для конкретной опасности. При этом по ГОСТ [5] нужно рассматривать вероятность, связанную с выбранным последствием, а не вероятность события в целом.

Качественные оценки рисков нельзя объединять, т. е. нельзя установить, что определенное количество низких рисков или низкий риск, выявленный определенное количество раз, эквивалентен среднему риску. Матрицы позволяют оценивать только «дифференциальные риски» [9], и их в принципе нельзя применять для расчета «интегрального риска» как суммы:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i \cdot S_i, \quad (1)$$

Покажем это ограничение на примере использования матрицы 3 x 3 (рис. 3).

		Последствия, S, в долл. США		
		Катастрофические	Серьезные	Незначительные
Вероятность, P		Более 10 тыс.	От 1 до 10 тыс.	Менее 1 тыс.
Часто	Чаще, чем 1 раз на 100 полетов	Неприемлемый	Приемлемый	Пренебрежимо малый
Редко	От 1 раза на 100 до 1 раза на 1000 полетов	Приемлемый	Приемлемый	Пренебрежимо малый
Очень редко	Реже, чем 1 раз на 1000 полетов	Пренебрежимо малый	Пренебрежимо малый	Пренебрежимо малый

Рис. 3. Упрощенная матрица риска

Для расчета и мониторинга должны быть установлены период учета событий (для расчета частоты) и отчетный период мониторинга (неделя, месяц). Качественные последствия S оцениваются по ожидаемому среднему ущербу, а качественные значения P определяются по интервалам частоты события, которая рассчитывается по формуле

$$F = \frac{N}{n}, \quad (2)$$

где N – количество событий; n – количество полетов за период учета.

Пусть за период учета (1 год) совершено 2000 полетов, а отчетный период для мониторинга – 1 неделя. Пусть возможны только два события: грубая посадка и выкатывание. Средний ущерб от грубой посадки – \$1000, от выкатывания – \$20 000.

Пусть за период учета, включая отчетную неделю, произошло 10 грубых посадок, из них одна за отчетную неделю и две – за предыдущую. За отчетную неделю произошло также выкатывание, первое за период. При мониторинге риска в а/к происходит сложение рисков и оценивается на приемлемость. Без потери общности допускаем, что в а/к два «малых риска» равны одному «приемлемому», а два «приемлемых» равны одному «неприемлемому».

Результаты оценки риска авиакомпании (Rак) по формуле (1) и по матрице рис. 3 с использованием формулы (2) сведены в таблицу.

### Пример оценки суммарного риска авиакомпании

	События	Оценка по формуле (4)				Оценка по матрице рис. 3			
		S, \$	P	R	Rак	S	P	R	Rак
Предыдущая неделя	Грубая посадка	1 тыс.	$\frac{8}{2000} = 0,004$	\$4,0	\$8,5	Серьезные	Редко	Приемлемый	Неприемлемый
	Грубая посадка	1 тыс.	$\frac{9}{2000} = 0,0045$	\$4,5		Серьезные	Редко	Приемлемый	
Отчетная неделя	Грубая посадка	1 тыс.	$\frac{10}{2000} = 0,005$	\$5	\$15	Серьезные	Редко	Приемлемый	Приемлемый
	Выкатыв. при посадке	20 тыс.	$\frac{1}{2000} = 0,0005$	\$10		Катастрофические	Очень редко	Пренебрежимо малый	

Можно видеть, что оценка риска по матрице с учетом принятых вполне реальных допущений противоречит оценке, выполненной по формуле, принятой для оценки риска опасных производств и критически важных объектов [6]. Очевидна некорректность суммирования рисков отдельных опасностей, полученных по матрице.

## 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТРИЦЫ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ РАСЧЕТОВ

Две численные матрицы приведены на рис. 2. Значения риска R в ячейках левой матрицы рис. 2 получены по простой формуле

$$R = P \cdot S, \quad (3)$$

где P – показатель вероятности, S – показатель серьезности последствий.

Отметим некорректность такого расчета – P и S выражены в порядковой шкале, в которой недопустимы арифметические действия [11]. ГОСТ [5] допускает использование матрицы для количественных расчетов, только если вероятность выражается числом от 0 до 1, а серьезность – в единицах ущерба, например, в стоимостном выражении.



результатами количественной оценки риска, которому должна удовлетворять матрица. Это свойство кратко формулируется так: «красный» риск (количественная интерпретация) должен быть всегда больше «зеленого».

Доказываются две важных теоремы, устанавливающие требования к матрице, которая соответствует условию «слабой согласованности».

1. «Красные» и «зеленые» ячейки не должны иметь точек соприкосновения.

2. Крайний столбец и нижняя строка, относящиеся соответственно к минимальным значениям серьезности последствий и вероятности, не должны иметь «красных» ячеек.

В статье [13] также доказывается, что введение «промежуточных цветов» ячеек (например, более трех в матрице  $5 \times 5$  на рис. 3 и 4) не увеличивает полезность матрицы.

Важный вывод состоит в том, что матрица риска не всегда способствует принятию лучших решений по отношению к случайному и позволяет достоверно различать лишь «красные» и «зеленые» риски, и только при условии удовлетворения слабой согласованности.

Как отмечено в [9], матрицы являются безусловно полезными только при положительной корреляции между  $P$  и  $S$ , что имеет место, например, при оценках террористических актов. При отрицательной корреляции оценки и решения, принятые с помощью матриц, часто оказываются ошибочными. Для авиационных событий характерна как раз отрицательная корреляция между вероятностью и серьезностью последствий.

На рис. 5 показана зависимость частоты катастроф и их тяжести, выраженной в количестве погибших в одной катастрофе людей. График построен на основе данных о 5054 катастрофах в мировой гражданской авиации за период 1952–2012 гг. на основании базы данных авиационного страхования. Учитывались все погибшие в воздухе и на земле, как от авиационных событий, так и от актов незаконного вмешательства.

Частота катастроф  $F_i$  рассчитывалась нами как:

$$F_i = \frac{N_i}{5054},$$

где  $N_i$  – количество катастроф с определенным числом погибших ( $N_1$  – количество катастроф с числом погибших от 1 до 20,  $N_2$  – с числом погибших от 21 до 40 и т. д.).



Рис. 5. Зависимость частоты катастроф от количества погибших

Можно видеть, что между частотой катастроф и их тяжестью, выраженной количеством жертв, наблюдается существенная отрицательная корреляция.

В статьях [9, 13] показано, что при абсолютно отрицательной корреляции между вероятностью и серьезностью выбор решения на основе оценки по матрице не имеет преимуществ по сравнению со случайным выбором и вероятность ошибки возрастает до 50 %.

#### 4. СЛОЖНОСТИ В ПРИМЕНЕНИИ МАТРИЦ, СВЯЗАННЫЕ С ОПИСАНИЕМ ПРОЦЕССА В РУБП ИКАО

Дополнительные сложности в понимании и применении матриц риска ИКАО создаются тем, что в РУБП ИКАО [1] приведены два разных варианта матриц, а также неточностями перевода РУБП на русский язык. Поскольку РУБП [1] является основным руководством по применению матрицы риска ИКАО, естественно было ожидать, что в нем будут даны четкие и однозначные инструкции. Однако матрицы и описания их использования, приведенные в разных главах, существенно различаются.

В главе 2 (рис. 2-11) и в главе 5 (рис. 5-5) используются матрицы с тремя уровнями риска, при этом для обозначения уровня серьезности используются буквы (А–Е), для обозначения уровня вероятности – цифры (1–5).

В дополнении к Добавлению 2 к главе 2 (табл. Доп-4) используются 5 уровней риска, для обозначения уровня серьезности используются цифры, а для обозначения уровня вероятности – буквы. В результате имеются расхождения в классификации рисков и, соответственно, в действиях для рисков с одинаковыми индексами (подробнее – [14]).

Путаницу в понимание вопроса вносят и неточности перевода на русский язык, в том числе ключевых понятий. Здесь отметим только, что в РУБП 2013 [1] в п. 2.14.2 неверно переведено понятие «*safety risk*» как «фактор риска». В результате дается такое определение: «фактор риска представляет собой прогнозируемую вероятность и серьезность последствий или результатов, вызванных существующим опасным фактором или ситуацией».

Это определение вызывает вопросы при чтении дальнейшего текста, например, при толковании названия табл. 2-11 «Таблица вероятности факторов риска». Если один из «факторов риска» – это вероятность, то формально имеем в таблице «вероятность вероятности»! Перевод требует очевидного исправления, тем более что в Приложении 19 «*safety risk*» переведен правильно, как «риск для безопасности».

Необходимо определиться и с переводом «*hazard*». Это важное понятие является неизменным во всех документах ИКАО. В русских вариантах этих документов это слово в разные годы переводилось как «фактор опасности», «опасный фактор», «опасность».

Отметим также, что в матрицах на рис. 2.13 и на рис. 5-5 в [1] на русском имеем как разные названия одних и тех же столбцов категорий вероятности и серьезности, так и разные названия одних и тех же категорий. В английском тексте эти две таблицы абсолютно одинаковые.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подход к оценке риска для БП на основе матрицы последствий и вероятностей (матрицы ИКАО) прост для применения, нагляден и может быть использован и непрофессионалами в области оценки риска для приоритизации мероприятий. Матрица дает целостную оценку с возможностью документировать дифференциальные риски.

Вместе с тем данный подход имеет и ряд недостатков.

Сопоставлять между собой можно только часть из возможных пар рисков опасностей, при этом один и тот же уровень может быть присвоен двум опасностям, имеющим совершенно разные количественные величины рисков.

Матрица ИКАО не предназначена для каких-либо количественных оценок и оценок «риска имевших место событий». Она не позволяет оценивать интегральные риски, т. е. оценивать общий уровень безопасности в а/к и выполнять его мониторинг.

Особо нужно отметить, что точность аппроксимации зависит от совместного распределения вероятности и серьезности последствий. В случае отрицательной корреляции (что обычно имеет место), точность оценок сильно снижается.

Соответственно, использовать результаты оценок, сделанных с помощью матрицы ИКАО, нужно с осторожностью и проверять их при любой возможности, применяя количественные методы оценки рисков и систему показателей уровня БП.

Дополнительные трудности в применении матрицы связаны с неоднозначностью описания процедур в РУБП ИКАО [1] и с неточностями в переводах документов ИКАО.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РУБП ИКАО, Doc. 9859. ИКАО, 3-е изд., 2013.
2. Advisory Circular No 120-92, FAA USA, 2006.
3. **Кружалов А.И.** Система управления безопасностью полетов, основанная на управлении рисками // Научный вестник МГТУ ГА. 2008. № 135. С.171–178.
4. **Левашов С.П.** Методика экспертной оценки профессионального риска // Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 1. С. 14–16.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска. М.: Стандартинформ, 2012.
6. Безопасность России. Правовые социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ рисков и управление безопасностью (Методические рекомендации) / Рук. авт. коллектива Н.А. Махутов, К.Б. Пуликовский и др. – М.: МГФ «Знание», 2008. – 672 с.
7. **Зубков Б.В., Шаров В.Д.** Теория и практика определения рисков в авиапредприятиях при разработке системы управления безопасностью полетов. М.: МГТУ ГА, 2010. 196 с.
8. **Nisula J.** Operational Risk Assessment. Next Generation Methodology, 2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.easa.europa.eu/essi/documents/>
9. Использование матриц риска при проведении оценки риска и приоритизации защитных мероприятий / Н.А. Махутов, Д.О. Резников, В.П. Петров, В.И. Куксева // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2012. № 1. С. 82–92.
10. Background and Fundamentals of the Safety Management System (SMS) for Aviation Operations. ALPA, Second Edition, 2006.
11. **Орлов А.И.** Организационно-экономическое моделирование: Учебник: В 3 ч. / А.И. Орлов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. Ч. 2. Экспертные оценки. 486 с.
12. **Шаров В.Д.** О некоторых математических и логических ограничениях на использование матрицы риска в СУБП // Научный вестник МГТУ ГА. 2009. № 149. С. 179–181.
13. **Сох L.** What's Wrong with Risk Matrices? Risk Analyses. 2008. Vol. 28. No 2. P. 497–512.
14. **Шаров В.Д.** О некоторых проблемах понимания терминов, относящихся к управлению безопасностью полетов // Проблемы безопасности полетов. 2013. № 9. С. 12–21.

### LIMITATIONS ON ICAO RISK MATRIX APPLICATION IN SAFETY RISK ASSESSMENT

**Sharov V.D., Vorobyev V.V.**

The article analyzes the benefits and drawbacks of the matrix of consequences and probability (ICAO risk matrix) as a method of safety risk assessment. The ICAO matrix is a qualitative method of risk management based on expert assessments of the degree of probability of individual possible events and of their consequences. The method is simple and easy to use, but can only assess separate differential risks.

The article shows the failure of using the ICAO matrix for quantitative risk assessment of «past events» and deviations in the operational activity of the airline and getting an integrated risk of the airline and its monitoring.

The article also describes the limitations of this method in solving the tasks of corrective measures prioritization in case of negative correlation between the probability and severity of consequences of events.

**Key words:** risk for flight safety, consequences, probability, risk matrix.

## REFERENCES

1. SMM ICAO Doc. 9859. ICAO, 3rd ed., 2013.
2. Advisory Circular No. 120-92, FAA USA, 2006.
3. **Kruglov A.I.** The system of safety management based on risk management. Scientific Bulletin of MSTU CA. 2008. No. 135. Pp. 171–178.
4. **Levashov S.P.** Methods of expert assessment of occupational risk. Safety. 2009. No. 1. P. 14–16.
5. ISO/IEC 31010 Risk Management-2011. Methods of risk assessment. M.: Standartinform, 2012.
6. The Security of Russia. Legal socio-economic and scientific-technical aspects. Risk analysis and security management (Methodical recommendations). Ed. N.A. Makhutov, K.B. Pulikovskiy, etc. Moscow: MGF «Knowledge», 2008. 672 p.
7. **Zubkov B.V., Sharov V.D.** The theory and practice of risk management in the airlines when developing the system of safety management. M.: MSTU CA, 2010. 196 p.
8. **Nisula J.** Operational Risk Assessment. Next Generation Methodology. 2009. [Electronic resource] Access Mode: <http://www.easa.europa.eu/essi/documents/>
9. **Makhutov N.A., Reznikov D.O., Petrov V.P.** The use of risk matrices when performing risk assessment and prioritization of protective measures. Security issues and emergency situations. 2012. No. 1. Pp. 82–92.
10. Background and Fundamentals of the Safety Management System (SMS) for Aviation Operations. ALPA, Second Edition, 2006.
11. **Orlov A.I.** Organizational and economic modeling: tutorial. M.: Bauman MSTU, 2011. Part 2. Expert evaluation. 486 p.
12. **Sharov V.D.** Some mathematical and logical limitations on the use of the risk matrix in the SMS. Scientific Bulletin of MSTU CA. 2009. No. 149. Pp. 179–181.
13. **Cox L.** What's Wrong with Risk Matrices? Risk Analyses. 2008. Vol. 28. No. 2. Pp. 497–512.
14. **Sharov V.D.** Some problems understanding terms related to the safety management. Problems of Flight Safety. 2013. № 9. Pp. 12–21.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

**Шаров Валерий Дмитриевич**, кандидат технических наук, начальник инспекции по безопасности полетов ЗАО «Авиакомпания «Меридиан», v.sharov@mstuca.aero.

**Воробьев Вадим Вадимович**, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой Безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, v.vorobjev@mstuca.aero.