

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Шаров Валерий Дмитриевич**

канд. техн. наук, начальник инспекции

ЗАО «Авиакомпания «Меридиан»

г. Москва

### РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ В АВИАПРЕДПРИЯТИИ

*Аннотация:* автор отмечает, что авиапредприятия обязаны иметь систему управления безопасностью полетов, но нормативные документы содержат только общие требования. В представленной статье излагаются принципы разработки трех методов управления риском, которые внедрены в разных авиапредприятиях.

*Ключевые слова:* разработка методов, риск безопасности полетов, управление риском.

#### 1. Введение

Управление риском является основой СУБП, поскольку безопасность полетов (БП) определяется как состояние, при котором риски поддерживаются на приемлемом уровне [1]. Рекомендации Международной организации гражданской авиации (ИКАО) недостаточны для построения системы в авиакомпании. Риск определен как «сочетание вероятности и серьезности последствий» что соответствует «технократической концепции риска» [2], но в качестве инструмента предлагается только «матрица последствий и вероятностей» (по ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011), имеющая известные ограничения [3]. На практике каждая авиакомпания решает проблему самостоятельно.

В статье приведены результаты разработки трех методов управления риском безопасности полетов на основе синтеза отраслевых и общенаучных разработок и практического опыта автора.

## 2. Управления риском с помощью модели «дерева авиационного события».

Если в качестве нежелательных исходов полета рассматривать авиационные события (АС) различного типа, то в риск АС типа  $R_i$  и общий риск  $R$  оценивается как:

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

где  $P_i$  – вероятность АС типа  $i$ ,  $S_i$  – средний ущерб при осуществлении АС типа  $i$ ,  $i, n$  – число типов АС.

Выделены три уровня управления риском:

- риск предстоящего полета – оперативный прогноз или оперативный риск;
- средний риск полетов как характеристика авиакомпании на период 1–6 месяцев в рамках среднесрочного прогноза – среднесрочный риск;
- риск на длительную перспективу (год и более) с учетом планируемых изменений в деятельности – *долгосрочный риск*.

Методики расчетов этих рисков различаются лишь наборами исходных данных.

Оценка  $P_i$  выполняется на основе моделирования «деревьев развития авиационного события» (ДРАС) – логических схем, отражающих возможные сценарии развития АС от проявлений ФО через промежуточные события и барьеры безопасности к событиям определенного типа. ДРАС строятся на основе сочетания методов «дерева неисправностей» (FTA) и «дерева событий» (ETA) для основных сценариев. Методика построения ДРАС описана в статье [4], принципиальная схема ДРАС приведена на рис. 1.

Вероятность  $P(^j A)$  выходного события уровня  $j$  при независимых входных событиях  $^{j+1}A_1, ^{j+1}A_2, \dots, ^{j+1}A_n$  следующего нижнего уровня  $j + 1$  в общем случае рассчитывается по известным формулам теории вероятностей:

$$\text{при знаке } and \text{ (и): } P(^j A) = \prod_{i=1}^n P(^{j+1}A_i);$$

$$\text{при знаке } or \text{ (или): } P(^j A) = \prod_{i=1}^n (1 - P(^{j+1}A_i)).$$

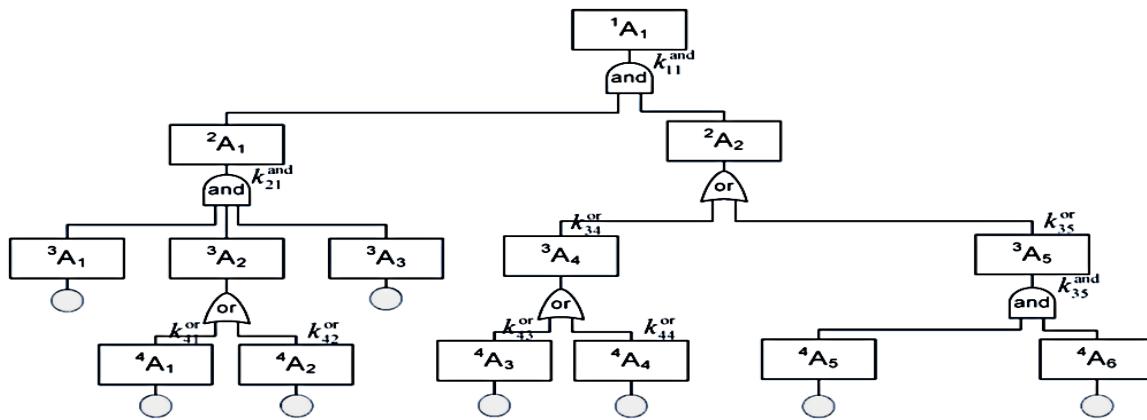


Рис. 1. Схема построения дерева развития авиационного события (ДРАС)

В качестве исходных данных используются результаты расшифровки полетной информации, данные по надежности, статистика событий, метеоинформация. Разработана методика байесовской коррекции вероятности по оперативной информации [5].

Средние ущербы  $S_i$  рассчитываются на основании базы данных страхования.

Метод был реализован в инновационном проекте по разработке автоматизированной системы прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий (АСППАП) авиакомпанией «Волга-Днепр» и Ульяновским государственным университетом в 2010–2013 гг. Подробно цели и задачи проекта приведены в статье [6].

В проекте большой объем занимали экспертные оценки по [7], например, оценки передаточных коэффициентов причинно-следственных связей ДРАС (условных вероятностей), но по мере исследований они заменяются на объективные данные.

АСППАП является системой поддержки управленческих решений (УР). Принцип формирования базы УР и оценка их эффективности описаны в статье [8].

Проект завершен, разработано ПО, система прошла приемочные испытания.

### 3. Метод условных показателей риска с использованием нечетких оценок.

В автоматизированной системе управления риском (АСУР) авиакомпании «Сибирь» все отклонения рассматриваются как проявления ФО. Разработан классификатор, в котором выделено 8 направлений деятельности (секторов): летная эксплуатация, техническое обслуживание и т. д. В каждом секторе выделены от 5 до 25 категорий событий по принципам общности признаков [3].

Оценка риска в условных единицах выполняется по каждой категории сектора;

$$R = L_k S_k, \quad (2)$$

где  $L_k$  показатель возможности,  $S_k$  показатель серьезности.

*Показатель серьезности*  $S_k$  рассчитывается для категории. Исходными данными являются экспертные оценки серьезности  $K_i$  события по 5-ти бальной шкале, которые переводятся в степень серьезности  $S_i$ .

Таблица 1

Перевод коэффициента серьезности в степень серьезности

$K_i$	1	2	3	4	5
$S_i$	1	4	8	16	32

Для расчета серьезности  $S_k$  проявления ФО категории за период принято, что каждое значение  $S_i$  есть реализация случайной величины  $S$ .  $S_k$  – это верхняя граница доверительного интервала для  $P = 0,75$ , определяемая по неравенству Чебышёва:

$$S_k = M(S) + 2\sigma(S),$$

где  $M(S)$  и  $\sigma(S)$  – математическое ожидание и СКО случайной величины  $S$ .

Приняв, что, если сумма  $M(S) + 2\sigma(S)$  превосходит наибольшую из оценок  $S_i^{\max}$ , то  $S_i = S_i^{\max}$ , получим правило, которое и было реализовано в АСУР:

$$S_k = \begin{cases} M(S) + 2\sigma(S) & \text{при } M(S) + 2\sigma(S) \leq S_i^{\max} \\ S_i^{\max} & \text{при } M(S) + 2\sigma(S) > S_i^{\max} \end{cases}. \quad (3)$$

Оценка рассматривается как прогноз степени серьезности событий категории.

Расчет показателя возможности  $L_k$  для формулы (2) для каждой категории основывается на относительном количестве проявлений ФО на 1000 полетов – частоте  $F_k$ .

Оценки типа «Часто» или «Иногда» являются нечеткими, использованы подходы теории нечетких множеств. Лингвистическая переменная (ЛП) «Частота» имеет пять термов: «Очень часто», «Часто», «Иногда», «Редко», «Крайне редко». Использован нечеткий вывод Сугено. Функции принадлежности (ФП) термов строятся по экспертным оценкам. Графики нормализованных ФП в параметрическом виде – на рис. 2.

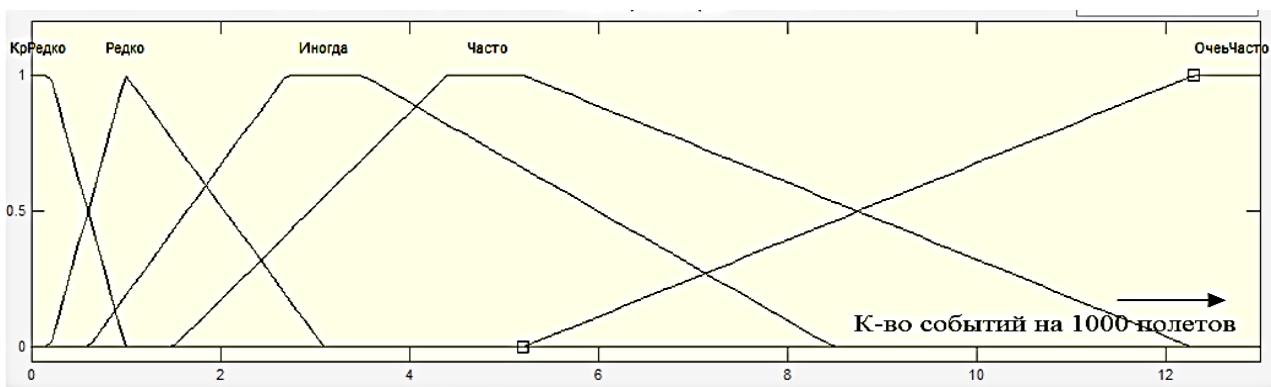


Рис. 2. ФП пяти термов ЛП «Частота» на входе в программу нечеткого вывода

Принято, что показатель возможности изменяется от 1 до 5 и база знаний состоит из пяти правил из [1]: если частота «Крайне редко» – то показатель 1 и т. д.

Расчет четкого числа показателя возможности  $L_k$  в системе Сугено выполняется заданием входного значения частоты  $F_k$  в окне визуализации нечеткого вывода (рис. 3).

Аппроксимация этой кривой логарифмической функцией имеет вид:

$$L_k = 1,695 \ln(F_k) + 0,596. \quad (4)$$

Частота  $F_k$  рассчитывается для каждой категории как:

$$F_k = \frac{N_k}{n} \cdot 1000, \quad (5)$$

где  $N_k$  – количество событий в категории за период,  $n$  – количество полетов.

Формулы (2) – (5) используются в алгоритме АСУР.

Разработана «светофорная» модель оценки: при превышении «желтого» уровня разрабатываются и корректирующие меры. Расчет риска выполняется ежемесячно.

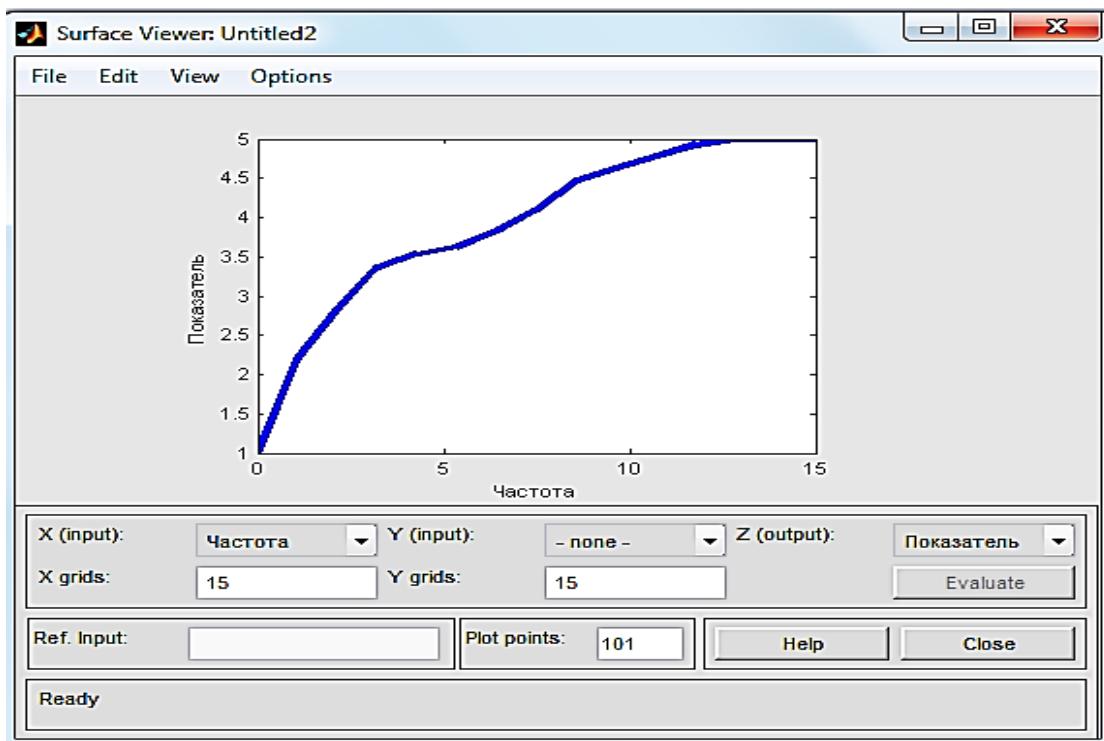


Рис. 3. Функция  $L_k=f(F_k)$  на выходе системы нечеткого вывода Сугено (MATLAB)

Для АСУР разработано ПО, документация. Система получила положительную оценку аудиторов альянса «One World» и эксплуатируется с 2010 г. в авиакомпаниях «Сибирь», «Глобус» и предприятиях по ТОиР S7 Инжиниринг [3; 9].

#### 4. Система управления риском на основе оценки барьеров безопасности.

Как отмечено выше, матрица ИКАО не предназначена для количественных расчетов, а также не учитывает реакцию системы на воздействия ФО. Между тем, данному вопросу уделяется повышенное внимание как в отечественных разработках [2], так и в ряде зарубежных руководств. При разработке системы были изучены и переработаны рекомендации некоторых из них, прежде всего опыт группы ARMS [10].

В этой системе для оценки риска используются две процедуры:

- расчет коэффициента серьезности прошлых событий (КСС);
- собственно оценка риска для безопасности (ОРБ).

При расчете КСС используется схема развития события, приведенная на рис. 5.

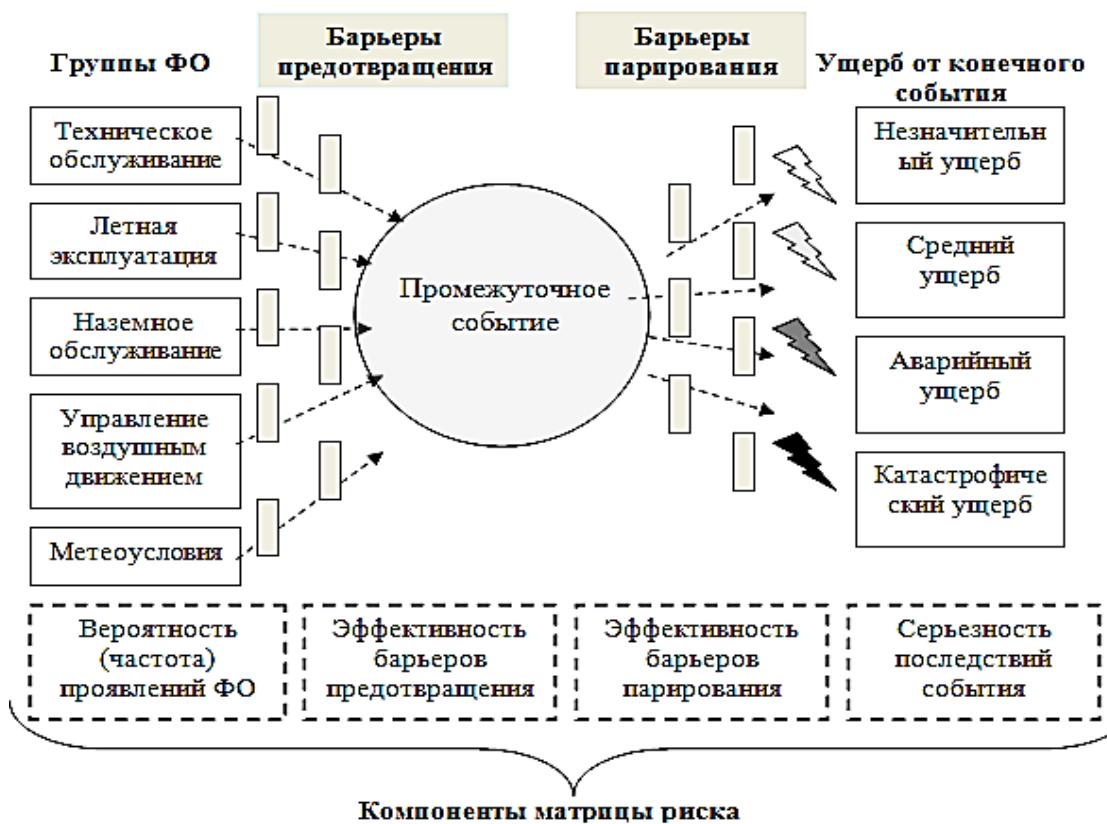


Рис. 4. Схема развития авиационного события, характеризуемого конечным ущербом

Большинство проявлений ФО парируется «Барьерами предотвращения» (действия экипажа, диспетчера УВД, наземного персонала и т. д.) Если эти барьеры не срабатывают, наступает «Промежуточное событие» (ПС).

Препятствуют переходу ПС к конечному событию «Барьеры парирования». Это, прежде всего, реагирование экипажа на отказы и резервирование основных систем ВС.

Ущерб – случайная величина и она может принять разные значения в зависимости от эффективности барьеров и от многих случайных факторов. Методика КСС основана на том, что при оценке нас волнуют два вопроса:

1. Каков наиболее вероятный негативный исход ПС при его развитии?

2. В какой степени то, что ПС не переросло в событие с большим ущербом, объясняется эффективными «Барьерами парирования», а в какой – простой случайностью?

Событие оценивается по матрице (рис. 5) на основе статистики страхования.

Вопрос 1	Вопрос 2			
	Какова эффективность оставшихся барьеров между промежуточным событием и вероятным негативным сценарием развития опасной ситуации?			
	Отсутствует	Незначительная	Средняя	Высокая
Катастрофический ущерб	2500	500	100	50
Аварийный ущерб	500	100	20	10
Средний ущерб	100	20	4	2
Незначительный ущерб			1	

Рис. 5. Матрица процедуры оценки коэффициента серьезности события (КСС)

Полученные индексы КСС можно использовать в качестве показателя БП.

*Собственно управление риском для БП (ОРБ)* состоит из ряда процедур:

- выявление важных опасностей на основе общего анализа и мониторинга КСС;
- оценка связанных с опасностями рисков по специальным матрицам;
- разработка управленческих решений (УР) по усилению барьеров;
- внедрение выбранных УР и оценка их эффективности.

Оценка риска выполняется с использованием трех специальных матриц (рис. 6).

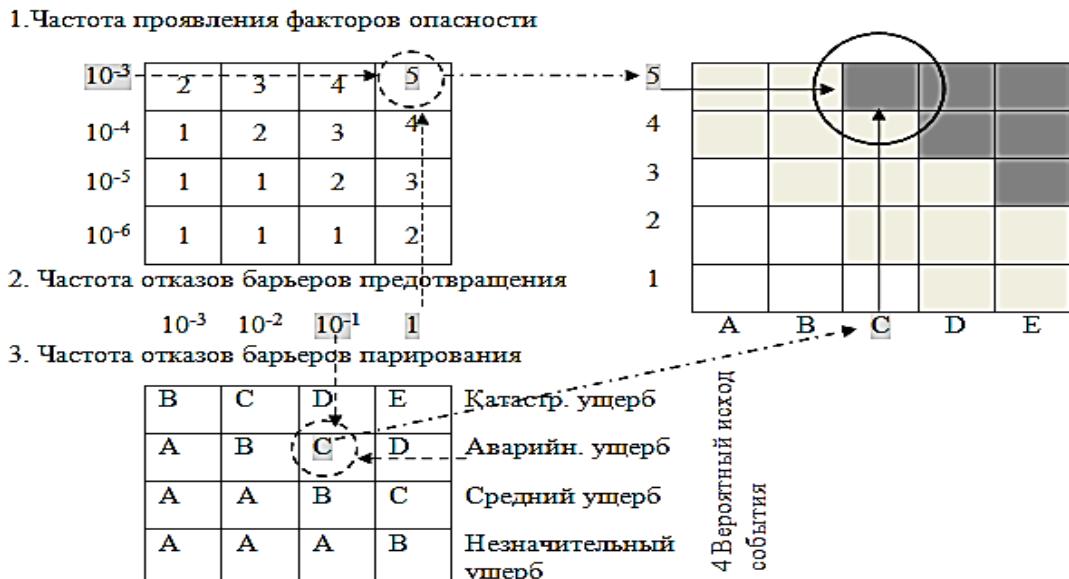


Рис. 6. Матрицы риска процедуры оценки риска опасностей (ОРБ)

Первая матрица оценивает частоту проявления ФО и барьеры предотвращения.

Частота проявлений ФО рассчитывается по статистическим данным. Барьеры предотвращения справляются с частью ФО, что выражается через частоту их отказов.

Вторая матрица использует тот же масштаб для барьеров парирования и объединяет их с уровнем серьезности вероятного исхода. Используются экспертные оценки.

Результат двух матриц в виде буквенно-цифрового показателя риска является входной информацией для третьей матрицы, которая и выдает уровни риска по «светофорному» принципу. На рис. 6 приведен пример расчета риска, подробно описанный нами в монографии [3]. Практически для расчета ОРБ применяется специальная программа «Инструмент ОРБ», представляющая собой адаптированный автором инструмент ARMS в виде таблицы MS Excel.

Данная система управления риском используется с 2013 г. в авиакомпании деловой авиации «Меридиан».

## 5. Заключение

Описанные методы управления риском для БП на уровне авиапредприятия показали свою практическую эффективность.

Разработка и внедрение того или иного метода зависит от специфики деятельности авиапредприятия, объема используемых данных, приоритетов руководства и выделяемых ресурсов.

### **Список литературы**

1. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). (Doc 9859-AN/460). – 3-е изд. – ИКАО, 2013.
2. 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, С.К. Шойгу. – М.: МГФ «Знание», 2008. – 672 с.
3. Зубков Б.В. Теория и практика определения рисков в авиапредприятиях при разработке СУБП. – М.: МГТУ ГА, 2010. – 196 с.
4. Шаров В.Д. FMEA-FTA методология построения дерева развития авиационного события // Научный вестник МГТУ ГА. – 2011. – №174. – С. 18–24.
5. Шаров В.Д. Применение байесовского подхода для уточнения вероятностей событий в автоматизированной системе прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий // Управление большими системами. – ИПУ РАН. – 2013. – Вып. 43. – С. 240–253.
6. Бутов А.А. Автоматизированная система прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Том 14. – №4 (2). С. 380–385.
7. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование // Экспертные оценки. Ч. 2. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 486 с.
8. Хрусталев С.А. Математические методы оценки эффективности управленческих решений // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2013. – Т. 79. – №11. – С. 67–72.
9. Шаров В.Д. Разработка системы управления рисками в организации по ТОиР воздушных судов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2010. – №162. – С. 30–39.

10. Nisula J. Operational Risk Assessment. Next Generation Methodology, 2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.easa.europa.eu/essi/documents/ARMS.pdf>