

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОЦЕНИВАНИЯ РИСКА АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

д. т. н., проф. А. Г. Гузий (ВВИА им. Н.Е. Жуковского, ООО «Волга-Днепр-Москва»),  
А. В. Грудзинский (УРБВТ и СП, г. Москва)

*Приведено теоретическое обоснование методики количественного оценивания риска авиационного происшествия (АП) в полетах за заданный период летной эксплуатации (месяц, квартал, год) и в отдельном полете этого периода на основании информации не только об АП, но и о других авиационных событиях, представляющих в той или иной степени угрозу безопасности полетов: о серьезных инцидентах, инцидентах и их предвестниках.*

*Изложены методические рекомендации по практическому освоению процедур оценивания риска АП в авиакомпании, организации, ведомстве - как по статистическим данным о совокупности имевших место авиационных событий, так и по результатам прогнозирования событий, в первую очередь – авиационных инцидентов, на предстоящий период эксплуатации.*

Согласно концепции активного предотвращения АП в авиакомпаниях (АК) [1, 7], безопасность предстоящих полетов достигается путем снижения риска АП до уровня, определяемого как допустимый, представляющий собой оптимальный баланс между безопасностью и требованиями, которым должен удовлетворять процесс (услуга), включая выгодность для пользователя (эксплуатанта), эффективность затрат и др. [2]. Достижение уровня риска АП, соответствующего допустимому, - интерактивный процесс управления, реальное осуществление которого возможно лишь при условии достаточно достоверного количественного оценивания текущего, а по возможности – прогнозируемого, уровня риска АП.

Под риском, как мерой опасности, характеризующей возможность возникновения аварии на объекте и тяжесть ее последствий [3], согласно международному стандарту, понимается сочетание частоты, или вероятности возникновения и последствий установленного опасного события [4]. Государственные основополагающие стандарты РФ сохранили содержание международного определения риска, как «сочетание вероятности нанесения ущерба и тяжести этого ущерба» [2], или как «сочетание вероятности события и его последствий» [5].

Руководством по предотвращению АП [6] предусматривается процедура «регулирование риска», а Руководством по управлению безопасностью полетов (РУБП) [7] – «оценка риска» и «уменьшение риска», однако отсутствует какой-либо методический или математический аппарат количественного оценивания риска АП. РУБП обязывает авиационные власти каждого государства-члена ИКАО устанавливать нормативные уровни безопасности полетов (БП) как в масштабе государства, так и в масштабе авиакомпании (эксплуатанта). Известные методики предусматривают оценивание уровня БП по показателям количества АП за оцениваемый период. При таком подходе любая вновь создаваемая авиакомпания соответствует любому нормативному требованию уровня БП, вплоть до абсолютной безопасности, но только до первого АП, после которого она перестает соответствовать, следовательно, должна лишиться сертификата эксплуатанта.

В порядке реализации предупредительного метода управления безопасностью полетов в авиакомпании «Волга-Днепр» с 2000 года в качестве показателя БП принято количество инцидентов на тысячу выполненных полетов (принцип «предотвращать АП, сокращая инциденты») – используется при мониторинге и анализе текущего уровня БП по результатам летной деятельности. Однако с помощью этого показателя отражается динамика инцидентов по результатам выполненной летной работы, но не отражается

степень риска АП в полетах. В 2001 году, после предварительного отбора и обоснования номенклатуры авиационных событий, именуемых предвестниками инцидентов, введен термин «предвестник инцидента» (принцип «предотвращать инциденты, сокращая предвестники»). Такое расширение номенклатуры расследуемых и анализируемых авиационных событий с охватом тех, которые по тем или иным признакам не соответствуют категории «инцидент» по определению, но представляют угрозу БП, способствовало раннему выявлению факторов риска АП, но количественно риск АП остается по-прежнему неочисляемым. Общепринятые [10, 11] и известные внутриведомственные показатели уровня БП [12], в том числе на вновь разрабатываемые изделия авиационной техники [13], (общие абсолютные и относительные, частные статистические и вероятностные) также не позволяют выполнить количественное оценивание риска АП, пока не накоплена информация о самих АП, т.е. пока они не произошли. Исключением является коэффициент опасности особой ситуации – вероятность того, что особая ситуация в полете приведет к летному происшествию [11] (методика вычисления коэффициента не приводится).

Учитывая, что АП, к счастью, - события редкие, а в процессе эксплуатации имеет место множество авиационных событий, в той или иной степени представляющие угрозу БП, в том числе классифицируемые, как «несостоявшиеся АП», целесообразно оценивать риск АП по всей совокупности идентифицируемых и предварительно количественно оцениваемых событий, обуславливающих риск АП [8]. При этом, сохраняя принятую классификацию авиационных событий [9, 10], достаточно дополнить ее предвестниками и рассматривать типы:

- авиационные происшествия (аварии и катастрофы);
- серьезные авиационные инциденты (серьезные авиационные инциденты и серьезные авиационные инциденты с повреждением летательного аппарата [10]);
- авиационные инциденты;
- предвестники авиационных инцидентов (события, не классифицируемые инцидентами, но влияющие на БП при соответствующем неблагоприятном развитии ситуации: отказы и неисправности с последствиями, влияние неблагоприятных факторов группы «среда», ошибочные действия или бездействие персонала,...);
- производственные происшествия.

В качестве показателей тяжести последствий авиационных событий могут рассматриваться: сумма материального ущерба, в том числе затраты на ремонт; количество погибших; причиненный вред окружающей среде,... На начальном этапе практического количественного оценивания риска АП достаточно рассматривать один уровень тяжести – АП, либо два фиксированных уровня: авария и катастрофа. Для обеспечения возможности прогнозирования риска АП в условиях эксплуатации целесообразно использовать один уровень тяжести - АП.

При несовместности перечисленных авиационных событий в одном полете и их ординарности, с учетом зависимости вероятности события «АП» от событий, стоящих ниже по иерархии, которые считаются независимыми (относительно друг от друга), риск АП в полете, приходящемся на оцениваемый период эксплуатации, в общем виде представляется как сумма вероятностей АП при каждом из идентифицированных авиационных событий:

$$r_{АП} = \sum_{i=1}^{m(j)} \sum_{j=1}^n P_{ij} , \quad (1)$$

где  $P_{ij}$  - вероятность АП при  $i$ -ом событии  $j$ -го типа (при событии  $A_{ij}$ );

$i$  – номер авиационного события  $j$ -го типа,  $i=1,2,\dots,m(j)$ ;

$j$  – номер типа события,  $j=1,2,\dots,n$ ;

$m(j)$  - рассматриваемое количество авиационных событий  $j$ -го типа;

$n$  – количество выбранных для оценки типов событий (при оценивании вероятности АП в общем случае можно ограничиться  $n=4$ : авиационные происшествия, серьезные инциденты, инциденты и предвестники инцидентов, либо  $n=3$  – при отсутствии АП).

В силу зависимости вероятности АП от вероятности каждого из всех рассматриваемых событий, она может быть выражена:

$$P_{ij} = P(A_{ij}) \cdot P(АП / A_{ij}), \quad (2)$$

где  $P(A_{ij})$  - вероятность  $i$ -го авиационного события  $j$ -го типа в полете;

$P(АП / A_{ij})$  - вероятность АП, при условии, что событие  $A_{ij}$  имело место (произошло).

Риск АП за оцениваемый период (вероятность АП хотя бы в одном из полетов за период) определяется по формуле:

$$R_{АП} = 1 - \prod_{\substack{i=1, \\ j=1}}^{n, \\ m(j)} (1 - P(АП / A_{ij})), \quad (3)$$

Следует признать, что такой подход предусматривает оценивание риска АП по совокупности только идентифицируемых авиационных событий. Полеты, выполняемые без таких событий, считаются абсолютно безопасными, что, конечно, не соответствует действительности. В силу признанного в международной авиационной практике отсутствия абсолютной безопасности [7], в каждом полете, согласно теории надежности, существует, как минимум, составляющая риска АП, обусловленная технической стороной, т.е. факторами группы «Воздушное судно». Поэтому даже при отсутствии в полете авиационных событий вероятность АП может быть принята на уровне нижней границы диапазона, определяемого нормами летной годности (т.е.  $10^{-9}$ ) [19].

Более корректным является методологический подход, предусматривающий оценивание состояния авиационно-транспортной системы (как уровня БП) по совокупностям факторов риска АП и факторов, предотвращающих АП, с предварительной их идентификацией и количественным оцениванием [8].

**При апостериорном количественном оценивании риска АП ( $\hat{r}_{АП}^{аносм.}$ )** за анализируемый (оцениваемый) период летной эксплуатации (месяц, квартал, год) в качестве  $P(A_{ij})$  следует использовать статистическую вероятность имевших место авиационных событий (по типам) или их частоту проявления [15] (количество событий, отнесенное к количеству выполненных полетов).

Оценка условной вероятности АП  $\hat{P}(АП / A_{ij})$ , когда авиационное событие  $A_{ij}$  имело место, может определяться при расследовании каждого события и анализе (разборе) его обстоятельств экспертным методом [14] (каждый из экспертов или членов комиссии по расследованию определяет, в какой степени близким к АП является расследуемое событие, например, сколько шансов у развития АП из 100 таких событий). Учитываться должна групповая экспертная оценка суждений о вероятности развития АП вследствие расследуемого события.

Вычисление  $\hat{r}_{АП}^{аносм.}$  производится с использованием формул (1), (2):

$$\hat{r}_{АП}^{аносм.} = \sum_{i=1}^{m(j)} \sum_{j=1}^n \hat{P}(A_{ij}) \cdot \hat{P}(АП / A_{ij}) \quad (4)$$

При отсутствии возможности экспертного оценивания условной вероятности АП при каждом анализируемом (расследуемом) событии каждого типа, все события внутри каждого типа можно принять за события равной тяжести (грубая дискретизация) с фиксированным значением оценки вероятности развития любого события данного типа в АП, т.е. применить правило «1:600» («пирамида риска») [7]. Однако необходимо учитывать, что соотношение «1-10-30-600» относится к авиационным событиям несколько иной классификации: «Происшествие с человеческими жертвами» - «Серьезные

происшествия» - «Происшествия» - «Инциденты». Не отрицая наличие закономерности в соотношении между количеством инцидентов и количеством АП, следует подвергнуть сомнению столь категоричную количественную характеристику корреляции между случайными (по определению) величинами. Трудно согласиться и с утверждением о линейности характеристики между количеством тяжелых происшествий и суммарным количеством АП, тем более с недостижимо высоким коэффициентом корреляции (0,999) [18]. Тем не менее, в авиакомпании (организации, ведомстве) при наличии достаточного объема статистических данных об АП, инцидентах и предвестниках инцидентов по отдельным типам ВС, эксплуатируемым в одинаковых условиях (в одной компании, организации, ведомстве), соотношения «АП/Серьезные инциденты», «АП/Инциденты» и «АП/Предвестники инцидентов», могут быть установлены. При недостатке или отсутствии статистики о соотношениях авиационных событий, указанные соотношения могут быть определены экспертным методом [14] и периодически корректироваться по мере обновления (накопления) статистических данных (опыта эксплуатации) [20].

При этом практически (в масштабе авиакомпании, организации, ведомства) риск АП оценивается по формуле, полученной на основании (4) с учетом оговоренных допущений:

$$\hat{r}_{АП}^{аносм.} = \frac{1}{N} (K_{АП} \hat{P}_{АП/АС} + K_{СИ} \hat{P}_{АП/СИ} + K_{И} \hat{P}_{АП/И} + K_{ПИ} \hat{P}_{АП/ПИ}), \quad (5)$$

где  $K_{АП}, K_{СИ}, K_{И}, K_{ПИ}$  - количество имевших место за оцениваемый период авиационных событий соответствующего типа: АП, серьезных инцидентов, инцидентов и предвестников инцидентов;

$N$  – количество выполненных полетов;

$\hat{P}_{АП/АС}, \hat{P}_{АП/СИ}, \hat{P}_{АП/И}, \hat{P}_{АП/ПИ}$  - оценки вероятности АП, когда имело место событие соответствующего типа: аварийная (или катастрофическая) ситуация (при наличии АП в оцениваемом периоде), серьезные инциденты, инциденты и предвестники инцидентов.  $\hat{P}_{АП/АС}$  следует принимать равной 1, как вероятность достоверного события, за исключением случаев, когда имевшая место катастрофическая ситуация, завершилась аварией (оценивается расследователями АП).

Оценивание риска АП за период (во всех выполненных полетах) в общем виде производится по формуле:

$$\hat{R}_{АП}^{аносм.} = 1 - [(1 - \hat{P}_{АП/АС})^{K_{АП}} (1 - \hat{P}_{АП/СИ})^{K_{СИ}} (1 - \hat{P}_{АП/И})^{K_{И}} (1 - \hat{P}_{АП/ПИ})^{K_{ПИ}}]. \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что при хотя бы одном АП  $\hat{R}_{АП}^{аносм.} = 1$ , вне зависимости от количества и степени тяжести остальных авиационных событий оцениваемого периода, т.е. процедура оценивания теряет смысл после АП.

Возможно также апостериорное количественное оценивание риска имевшего места конкретного АП – по ранее известным данным, т.е. по априори идентифицируемым и количественно оцениваемым факторам риска АП и факторам предотвращения АП, но не по самим авиационным событиям [17]. При этом предусматривается синтез функции вероятности АП по вероятности проявления факторов риска и вероятности (эффективности) нейтрализации их факторами предотвращения АП, с учетом: их взаимовлияния, исходного состояния оцениваемой системы на момент появления факторов риска и степени усугубления (исправления) ситуации в каждом из возможных состояний системы. Подход к количественному оцениванию влияющих факторов риска АП аналогичен приводимому подходу к оцениванию авиационных событий.

**При априорном количественном оценивании риска АП ( $\hat{r}_{АП}^{анп.}$ ) на прогнозируемый период летной эксплуатации (квартал, год) в качестве вероятности  $P(A_{ij})$  в выражении (2) следует использовать оценку частоты проявления авиационных событий каждого типа (количество событий, отнесенное к планируемому количеству**

полетов). При наличии опыта эксплуатации самолетного парка источником для оценивания является накопленная статистическая информация (например, налет на один отказ двигателя в полете). Наиболее достоверным источником информации по аварийным отказам и неисправностям является выполняемый разработчиком, как, например, АНТК им О.К. Антонова, - по самолету Ан-124, «Анализ уровня летной годности при отказах функциональных систем по результатам эксплуатации» и обрабатываемый по результатам анализа «Сводный перечень особых ситуаций». Однако этот источник относится исключительно к авиационным событиям, обусловленным влиянием факторов риска АП группы «Воздушное судно». Применительно к новой, включая импортную, и к малосерийной авиационной технике в распоряжении эксплуатанта остается вышеупомянутый экспертный метод количественного оценивания вероятностных (частотных) показателей прогнозируемых авиационных событий. Достоверность экспертного прогнозирования проверена в АК «Волга-Днепр» сравнением с фактическим количеством инцидентов по типам ВС и по причинным факторам в 2005 и 2006 годах (94% прогнозов 2006 года – внутри интервала  $2\sigma$ ) [16].

Априорное оценивание риска АП по результатам прогнозирования (как статистического, так и экспертного) может производиться по формуле, аналогичной выражению (5):

$$\hat{r}_{АП}^{анп.} = \frac{1}{N_{план}} (K_{АП}^* \hat{P}_{АП/АС} + K_{СИ}^* \hat{P}_{АП/СИ} + K_{И}^* \hat{P}_{АП/И} + K_{АП/ПИ}^* \hat{P}_{АП/ПИ}), \quad (7)$$

где, в отличие от (5),  $N_{план}$  - планируемое на прогнозируемый период количество полетов;

$K_{АП}^*, K_{СИ}^*, K_{И}^*, K_{АП/ПИ}^*$  - прогнозируемое количество авиационных событий соответствующего типа: АП, серьезных инцидентов, инцидентов и предвестников инцидентов.

Оценивание риска АП в планируемом периоде эксплуатации ( $\hat{R}_{АП}^{анп.}$ ), т.е. во всех запланированных полетах, производится в соответствии с выражением (6), с использованием данных о прогнозируемом количестве авиационных событий соответствующего типа:  $K_{АП}^*, K_{СИ}^*, K_{И}^*, K_{АП/ПИ}^*$ .

В интересах более предметного оценивания авиационных событий, с точки зрения тяжести их последствий, категория АП может быть разделена на два уровня тяжести: «авария» и «катастрофа». При этом изложенный методологический подход не претерпевает принципиальных изменений, изменяется лишь количественный состав переменных в функциях (2) – (6).

Описанная методика позволяет выполнять:

- мониторинг риска АП в АК (организации, ведомстве) по каждому типу ВС с учетом интенсивности полетов (количества выполненных полетов за оцениваемый период эксплуатации) - по результатам летной работы за год, квартал, месяц, либо после каждого расследуемого (исследуемого, анализируемого) авиационного события, количественно оценивая степень изменения риска АП;

- прогнозирование риска АП: либо по набранной статистике авиационных событий, либо по результатам экспертного прогнозирования событий на предстоящий период летной работы;

- периодическое уточнение результатов прогнозирования риска АП в процессе эксплуатации по мере накопления новых статистических данных или после каждого авиационного события [20].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 06-08-01518-а.

## Литература

1. *Гузий А. Г., Малевинский Ю. А.* Концепция предотвращения авиационных происшествий и управление уровнем безопасности полетов./ Труды общества исследователей авиационных происшествий (Вып.16). – М.: Полиграф, 2004.
2. ГОСТ Р 51898-2002 Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты.
3. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. М.: ГУП "НТЦ "Промышленная безопасность". – 2001.
4. Международный стандарт МЭК 300-3-9. Управление общей надежностью. Часть 3. Руководство по применению. Раздел 9. Анализ степени риска. Изд.1. – Швейцария, 1995.
5. ГОСТ Р 51897-2002 Менеджмент риска.
6. Руководство по предотвращению авиационных происшествий. (Doc 9422-AN/923). Первое издание – 1984год. – ИКАО, 1984.
7. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) (Doc 9859-AN/460). Издание первое – 2006 год. – ИКАО, 2006.
8. *Гузий А. Г., Онуфриенко В. В.* Методология активного управления уровнем безопасности предстоящих полетов в авиакомпании./ Труды общества независимых исследователей авиационных происшествий (Вып. 17). – М., 2005.
9. Правила расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в Российской Федерации. – М.: Авиаиздат, 1998.
10. Безопасность полетов летательных аппаратов./ Под ред. В.С. Иванова. – М.: ВВИА им. Н.Е.Жуковского, 2003.
11. ГОСТ 23743-83 Изделия авиационной техники. Номенклатура показателей безопасности полета, надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности.
12. Исследование и разработка критериев безопасности полета при типичных ошибках в процессе пилотирования и при типовых внезапных отказах двигателей и систем управления самолетами различных типов с учетом психофизиологических возможностей летчика. Отчет о НИР. – М.: ВВИА им. Н.Е.Жуковского, 1970.
13. ГОСТ 20570 -90 Изделия авиационной техники. Порядок нормирования и контроля показателей безопасности полета, надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности.
14. *Гузий А. Г., Чуйко А. А.* Методологический подход к экспертному прогнозированию уровня безопасности полетов.// Проблемы безопасности полетов. Информационный сб. № 10-2006. - М.: ВИНТИ, 2006.
15. *Пугачев В. С.* Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Наука, 1979.
16. *Гузий А. Г., Симак А. А.* Апостериорная оценка точности и надежности индивидуального и группового экспертного прогнозирования количества авиационных событий в авиакомпании.// Проблемы безопасности полетов. № 7-2007. - М.: ВИНТИ, 2007.
17. *Гузий А. Г.* Системный анализ факторов риска катастрофы Boeing-747-200F. Оценка вероятности катастрофы по априорным данным.// Проблемы безопасности полетов. Информационный сб. № 5-2006. - М.: ВИНТИ, 2006.
18. *Осташкевич В. А.* Общий подход к количественной оценке безопасности полетов.// Проблемы безопасности полетов./ Информационный сб. № 9-2006. - М.: ВИНТИ, 2006.
19. *Зубков Б. В., Люлько В. И., Поляков П. М.* Разработка методики количественной оценки летной годности по данным эксплуатации ВС. // Проблемы безопасности полетов./ Информационный сб. № 2-2004. – М.: ВИНТИ, 2004.
20. *Гузий А. Г.* Методика промежуточной коррекции прогнозных оценок вероятностных показателей уровня безопасности полетов.// Проблемы безопасности полетов./ Информационный сб. № 12-2006. – М.: ВИНТИ, 2006.