

УДК 629.735.067

## МЕТОДОЛОГИЯ ВЕРОЯТНОСТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ТЕКУЩЕГО УРОВНЯ АВАРИЙНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА АВИАЦИОННЫХ СОБЫТИЙ

А.М. ЛУШКИН

Изложен методологический подход к совокупному количественному оцениванию уровня безопасности полетов через вероятностные (частотные) показатели имевших место авиационных событий с учетом значимости обусловивших их причинных факторов. На основании установленной корреляции учитывается условная вероятность перехода событий с менее тяжкими последствиями в события с более тяжкими последствиями. Приведены формулы вычисления текущих значений оценок вероятности серьезного инцидента (при наличии инцидентов), аварии, катастрофы.

**Ключевые слова:** «пирамида риска», инцидент, серьезный инцидент, авария, катастрофа, причинные факторы, оценка вероятности, тренд.

Переход мирового авиационного сообщества от утопической концепции абсолютной безопасности к концепции приемлемого риска для безопасности полетов привел к эволюции понятий [1; 2], в том числе к эволюции понятия безопасности полетов (БП) как состояния авиационной транспортной системы (АТС), при котором риски, связанные с авиационной деятельностью, относящейся к эксплуатации воздушных судов или непосредственно обеспечивающей такую эксплуатацию, снижены до приемлемого уровня и контролируются [1].

По стандартам ИКАО приемлемый уровень БП должен устанавливаться государством [1] и ни один регион не должен иметь уровень частоты авиационных происшествий (АП) более, чем в двое превышающий общемировой показатель, определяемый на основе скользящего среднего за пять лет (тип скользящего среднего не указывается) [3]. Кроме того, существует требование обязательного повышения достигнутого уровня БП с заданным градиентом.

В качестве основного показателя безопасности, как обобщенной, наиболее информативной и значимой меры, используемой при определении уровня БП, ИКАО рекомендует использовать количество АП с человеческими жертвами, т.е. авиационных катастроф (К), на 100 000 вылетов или часов полета [4]. При очевидной важности относительных показателей количества катастроф, практическое их использование даже на государственном уровне затруднено в силу недостаточной достоверности оценки БП по крайне редким событиям (в силу не репрезентативности выборки событий).

Замечено, что количественные соотношения различных по степени тяжести событий коррелируют между собой [4; 5]. Анализ информативности относительных показателей уровня БП показывает, что они отражают относительную частоту имевших место авиационных событий, что является оценкой вероятности. В связи с чем наиболее приемлемым для оценки достигнутого уровня БП видится вероятностный подход к суммарной (совокупной) оценке [5].

Исходным положением вероятностного подхода стала достоверно установленная высокая корреляция количественных соотношений в иерархии авиационных событий различной степени тяжести:

- катастрофа «К»;
- авария «Ав»;
- серьезный инцидент «СИ»;
- инцидент «И».

Применительно к эксплуатанту воздушных судов (ВС) практическое количественное оценивание уровня БП предусматривает оценивание вероятности наступления события типа «К»

по совокупности авиационных событий в оцениваемом периоде. Поскольку в каждом из перечисленных типов авиационных событий заключается некоторая вероятность катастрофы, для оценивания вероятности события типа «К» может быть использовано выражение

$$\hat{P}_K = \frac{1}{N} \left( a_K + \sum_{i=1}^3 a_i \hat{P}_{K/i} \right), \quad (1)$$

где  $N$  – количество выполненных полетов;  $a_K$  – количество катастроф;  $a_i$  – количество авиационных событий  $i$ -й степени тяжести ( $i = 1$  соответствует событию типа «Ав»,  $i = 2$  – «СИ»,  $i = 3$  – «И»);  $\hat{P}_{K/i}$  – оценка условной вероятности катастрофы, когда авиационное событие  $i$ -й степени тяжести имело место.

Оценка условной вероятности  $\hat{P}_{K/i}$  может определяться по статистически установленным соотношениям количества авиационных событий каждой степени тяжести в общей совокупности этих событий, т.е. по «пирамиде риска» (рис. 1), поясняющей правило «1:600» [2].

Соотношение «1-10-30-600» в «пирамиде риска» отнесено к авиационным событиям по классификации ИКАО, которая несколько отличается от российской и содержит: происшествия с человеческими жертвами; серьезные происшествия; происшествия; инциденты.

Согласно Правилам расследования авиационных происшествий и инцидентов, в гражданской авиации РФ используется классификация: катастрофа; авария; серьезный инцидент; инцидент.

Следует отметить, что приведенные в «пирамиде рисков» соотношения носят общий характер, поскольку относятся к “industrial safety” (к охране труда), были получены более 45 лет назад. Данная «пирамида риска» отражает общее свойство статичного объекта оценивания, а современная АТС имеет ряд особенностей и является динамической, поэтому для обеспечения необходимой достоверности оценки уровня БП целесообразно на основании статистических данных рассчитать «пирамиду риска» гражданской авиации (ГА) РФ.

Расчетом параметров «пирамиды риска» ГА РФ, выполненным по статистике авиационных событий, получено соотношение «1:2:7:140» (рис. 1).

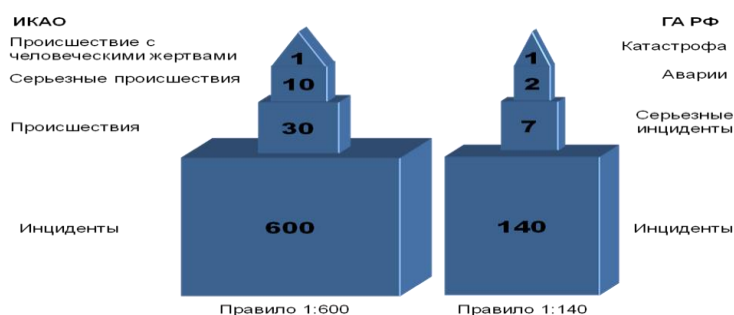


Рис. 1. «Пирамиды рисков» ИКАО и ГА РФ

Таким образом, правило «1:600», приведенное ИКАО [4], для ГА РФ трансформировалось в правило «1:140». Используя соотношение, представленное на рис. 1, можно рассчитать условные вероятности возникновения катастрофы  $\hat{P}_{K/i}$  соответственно при аварии, серьезном инциденте, инциденте.

Многолетний анализ состояния БП показывает, что факторы, приведшие к АП, неоднократно встречались при выполнении полета и не приводили к АП, а заканчивались авиационными событиями меньшей степени тяжести. Отсюда можно сделать вывод, что различные факторы, зафиксированные при расследовании АП и инцидентов, имеют различную степень опасности.

Учитывая, что частота событий по мере повышения тяжести их последствий уменьшается, в целях сохранения достаточности объема выборки событий для проведения факторного анализа целесообразно все факторы, потенциально влияющие на БП, разделить на три группы: «ВС», «Человеческий фактор» (ЧФ) и «Среда» (Ср).

Факторный анализ авиационных событий показывает, что доля каждой из групп факторов значительно меняется с изменением степени тяжести авиационного события. Так, АП по причинным факторам распределяются (по разным источникам): «ВС» – 15-20%; «Человеческий фактор» – 70-80%; «Среда» – 10-15%. Но инциденты: «ВС» – 75-80%; «Человеческий фактор» – 20%; «Среда» – 5%.

Статистика свидетельствуют о том, что значимость одних и тех же групп факторов заметно отличается при развитии авиационных событий различной степени тяжести. Более того, с годами значимость группы факторов «ЧФ» монотонно растет, а «ВС» – снижается. Существенная разница в соотношении групп факторов «ЧФ» и «ВС» при переходе от инцидентов к АП свидетельствует о существенном отличии условной вероятности перехода инцидента в АП по отдельным группам факторов. Очевидна целесообразность учета значимости причинных факторов в формуле (1).

Полагая, что факторная диспропорция существует как в паре авиационных событий «инцидент-катастрофа», так и в других парах («Ав-К», «СИ-К», «И-К») [5], выражение (1) в общем виде можно записать с соответствующими коэффициентами значимости по каждой группе причинных факторов

$$\hat{P}_K = \frac{1}{N} \left[ a_K + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 v_{ij} a_{ij} \hat{P}_{K/i} \right], \quad (2)$$

где  $v_{ij}$  – коэффициенты относительной значимости фактора  $j$ -й группы ( $j = 1$  соответствует факторной группе «ВС»,  $j = 2$  – «ЧФ»,  $j = 3$  – «Ср») при оценке тяжести авиационных событий  $i$ -й степени тяжести;  $a_{ij}$  – количество авиационных событий  $i$ -й степени тяжести, обусловленных причинным фактором  $j$ -й группы.

Таблица 1

Статистика авиационных событий коммерческой авиации (2003 – 2008 гг.)

<i>Группы факторов (j)</i>	ВС (1)	ЧФ (2)	Ср (3)
<i>Типы событий (i)</i>			
<b>К</b>	11	18	5
<b>А (1)</b>	14	13	5
<b>СИ (2)</b>	78	82	10
<b>И (3)</b>	3732	825	0

В общем виде порядок оценки коэффициентов относительной значимости  $v_{ij}$  может быть формализован через выражение

$$v_{ij} = \frac{ka_{Kj}}{a_{ij} \sum_{j=1}^k a_{Kj}}, \quad (3)$$

где  $k$  – количество рассматриваемых групп причинных факторов.

По данным табл. 1 с использованием формулы (3) вычисляются значения коэффициентов относительной значимости факторов по группам ( $v_{ij}$ ). Оценивание уровня БП по формуле (2) возможно как в масштабе государства (региона, ведомства), так и в масштабе эксплуатанта ВС.

В масштабе ГА РФ статистические данные, основанные на отчетах о расследованиях имевших место авиационных событий, позволяют ранее построенную «пираму рисков» ГА РФ (рис. 1) распределить по группам причинных факторов и по данным таблицы построить факторные пирамиды рисков, которые отражают значения оценок условной вероятности перехода авиационных событий из категории с менее тяжелыми последствиями в категорию с более тяжелыми последствиями по каждой из групп причинных факторов: из «И» – в «СИ», из «СИ» – в «Ав», из «Ав» – в «К». Формула (2) при этом принимает вид

$$\hat{P}_K = \frac{1}{N} \left[ a_K + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 a_{ij} \hat{P}_{K/ij} \right], \quad (4)$$

где  $\hat{P}_{K/ij}$  – оценка условной вероятности события «К», если имеет место авиационное событие  $i$ -го типа, обусловленное влиянием причинного фактора  $j$ -й группы.

Оценка вероятности серьезного инцидента, аварии, катастрофы:

$$\hat{P}_{СИ} = \frac{1}{N} \max \{ a_{СИ}, (a_{И-чФ} P_{СИ/И-чФ} + a_{И-ВС} P_{СИ/И-ВС} + a_{И-Ср} P_{СИ/И-Ср}) \}; \quad (5)$$

$$\hat{P}_{Ав} = \frac{1}{N} \max \left\{ a_{Ав}, \max \left\{ (a_{СИ-чФ} P_{Ав/СИ-чФ} + a_{СИ-ВС} P_{Ав/СИ-ВС} + a_{СИ-Ср} P_{Ав/СИ-Ср}), \right. \right. \\ \left. \left. (a_{И-чФ} P_{СИ/И-чФ} + a_{И-ВС} P_{СИ/И-ВС} + a_{И-Ср} P_{СИ/И-Ср}) \right\} \right\}; \quad (6)$$

$$\hat{P}_K = \frac{1}{N} \max \left\{ a_K, \max \left\{ a_{Ав} P_{K/Ав}, (a_{СИ-чФ} P_{Ав/СИ-чФ} + a_{СИ-ВС} P_{Ав/СИ-ВС} + a_{СИ-Ср} P_{Ав/СИ-Ср}), \right. \right. \\ \left. \left. (a_{И-чФ} P_{СИ/И-чФ} + a_{И-ВС} P_{СИ/И-ВС} + a_{И-Ср} P_{СИ/И-Ср}) \right\} \right\}, \quad (7)$$

где  $a_{СИ}$  – количество серьезных инцидентов;  $a_{И-чФ}, a_{И-ВС}, a_{И-Ср}$  – количество инцидентов соответственно по «человеческому фактору», «воздушному судну» (технике), «среде»;  $P_{СИ/И-чФ}, P_{СИ/И-ВС}, P_{СИ/И-Ср}$  – условная вероятность серьезного инцидента при инциденте соответственно по «человеческому фактору», «воздушному судну», «среде»;  $a_{СИ-чФ}, a_{СИ-ВС}, a_{СИ-Ср}$  – количество серьезных инцидентов соответственно по «человеческому фактору», «воздушному судну», «среде»;  $a_{Ав}$  – количество аварий за оцениваемый период;  $P_{Ав/СИ-чФ}, P_{Ав/СИ-ВС}, P_{Ав/СИ-Ср}$  – условная вероятность аварии при серьезном инциденте соответственно по «человеческому фактору», «воздушному судну», «среде»;  $a_K$  – количество катастроф за оцениваемый период.

В целях минимизации систематической динамической погрешности целесообразно ежегодно уточнять значения  $\hat{P}_{K/ij}$ . В качестве инструмента минимизации случайной погрешности оценки ежегодно может использоваться методика уточнения параметров «пирамиды рисков» по новой статистике с применением теоремы Байеса.

Таким образом, методология априорного оценивания вероятности авиационного происшествия в полете позволяет оценивать текущий уровень БП в регионе, государстве, ведомстве, авиакомпаниях. При этом учитываются все авиационные события, имевшие место в оцениваемом периоде, их причинные факторы. Вычисляемый показатель уровня БП соответствует всем исходным требованиям, является общим, но не исключает использование (при необходимости) других показателей уровня БП в структуре корпоративной СУБП.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гузий А.Г., Лушкин А.М. Количественное оценивание показателей текущего уровня безопасности полетов эксплуатанта воздушных судов // *Проблемы безопасности полетов*. 2008. № 10. С. 3-12.
2. *Правила расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в Российской Федерации*. М.: Авиатиздат, 1998.
3. Гузий А.Г., Онуфриенко В.В. Методология активного управления уровнем безопасности предстоящих полетов в авиакомпании / *Труды общества независимых исследователей авиационных происшествий*. 2005. Вып. № 17. С. 52-62.
4. Гузий А.Г., Лушкин А.М., Лобачев Е.Н. Теорема Байеса для оценивания текущего уровня безопасности полетов по априорной информации и результатам контроля за показателями аварийности // *Проблемы безопасности полетов*. 2009. № 6. С. 3-12.
5. Гузий А.Г., Лушкин А.М., Щукин А.В. Методологический подход к оптимизации управления уровнем безопасности полетов по критерию эффективности / *Труды общества независимых исследователей авиационных происшествий*. 2013. Вып. № 25. С. 189-195.

## METHODOLOGY OF PROBABILISTIC EVALUATING OF CURRENT ACCIDENT RATE BASED ON THE FACTORIAL ANALYSIS OF AVIATION EVENTS

Lushkin A.M.

Methodological approach to cumulative quantitative estimation of safety level is presented through probabilistic (frequency) indices of aviation events on the record, taking into account the importance of their cause factors. Based on the set-up correlation, the conditional probability of turning less service events into more severe events is recorded. Formulae for calculating the current value of the estimated probability of a serious incident (if in any), accident, crash are introduced.

**Keywords:** «risk pyramid», incident, accident, crash disaster, cause factors, estimate of probability, trend.

## REFERENCES

1. Guziy A.G., Lushkin A.M. Kolichestvennoe ocenivanie pokazateley tekushego urovnya bezopasnosti polyotov ekspluatanta vozdushnih sudov. *Problemy bezopasnosti poliotov*. 2008. № 10. Pp. 3-12. (In Russian).
2. *Pravila rassledovaniya aviatsionnyh proisshectviy i intsidentov s vozdushnimi sudami d Rossiiskoi Federatsii*. M. 1998. (In Russian).
3. Guziy A.G., Onufrienko V.V. Metodologiya aktivnogo upravleniya urovnem bezopasnosti predstoyashih polyotov v aviakompanii. *Trudy obshchestva nezavisimyyh rassledovateley*. 2005. № 17. Pp. 52-62. (In Russian).
4. Guziy A.G., Lobachyov E.N., Lushkin A.M. Teorema Bayesa dlya otsenivaniya tekushego urovnya bezopasnosti polyotov po apriornoj informatsii i rezultatam kontrolya za pokazatelyami avariynosti. *Problemy bezopasnosti poliotov*. 2009. № 6. Pp. 3-12. (In Russian).
5. Guziy A.G., Lushkin A.M., Sthukin A.V. Metodologitsgeskiy podhod k optimizatsii upravleniyu urovnem bezopasnosti polyotov po kriteriyueffektivnosti. *Trudy obshchestva nezavisimyyh rassledovateley*. 2013. № 25. Pp. 189-195. (In Russian).

## Сведения об авторе

Лушкин Александр Михайлович, 1965 г.р., окончил Актюбинское ВЛУ ГА (1986), Академию ГА (2003), кандидат технических наук, член-корреспондент Международной академии проблем Человека в авиации и космонавтике, инспектор по международным летным стандартам FAA Academy, член Общества исследователей авиационных происшествий, заместитель генерального директора по безопасности полетов и качеству ОАО «Авиакомпания «ЮТэйр», автор более 60 научных работ, область научных интересов – системное управление безопасностью полетов.