

МЕТОДИКА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ КОРРЕКЦИИ ПРОГНОЗНЫХ ОЦЕНОК ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ¹

д. т. н., проф. *А. Г. Гузий*, ВВИА им. Н.Е. Жуковского, ООО «Волга-Днепр-Москва»

Задача априорной оценки уровня безопасности полетов (БП) относится к разряду некорректных, ввиду многофакторной зависимости и динамичности состояния авиационно-транспортной системы (АТС), высокой степени неопределенности и вариабельности оцениваемых показателей БП, дефицита объективной информации об АТС в целом, ее компонентах и взаимосвязях, неполного объема и низкой достоверности расчетных и статистических данных, субъективности оценок и суждений специалистов при дефиците объективной информации о текущем и перспективном состоянии АТС [1, 2].

В начале жизненного цикла воздушного судна (ВС), т.е. на этапе сертификации типа ВС и на начальном этапе его эксплуатации, оценка уровня БП производится по аналогии с оценкой уровня надежности, главным образом, аналитическими методами - на основании расчетных данных и данных, полученных при испытаниях. На этапе массовой эксплуатации ВС происходит накопление статистических данных, которые после систематизации и анализа должны использоваться для уточнения ранее полученных показателей и для более достоверной оценки действительного (текущего) уровня БП. Следует учитывать, что условия эксплуатации меняются как в пространстве, так и во времени, следовательно, уровень БП – сложное динамичное свойство, отражающее состояние АТС под влиянием множества факторов, обуславливающих неопределенность и нестационарность. При эксплуатации малосерийной авиационной техники, особенно на начальном этапе эксплуатации, когда объем статистических данных недостаточен для анализа и оценивания достигнутого уровня БП, тем более для его прогнозирования, а также при автономной (корпоративной) эксплуатации авиационной техники в условиях децентрализации управления безопасностью полетов, наиболее эффективным и доступным является метод экспертных оценок показателей уровня БП [5].

Для обеспечения процесса управления БП, выполняемого в пределах требуемого (заданного) уровня, статистической оценки показателей достигнутого в прошлом уровня БП не достаточно. Для разработки мероприятий по предотвращению авиационных происшествий (АП) и придания им целевого характера необходимо оценивать показатели текущего состояния АТС и прогнозировать динамику на предстоящий период эксплуатации. Более того, заслуживает особого внимания возможность априорного оценивания эффективности вырабатываемых мероприятий по предотвращению АП (значимости и вероятности влияния факторов предотвращения АП) - для оптимизации управления уровнем БП.

Неопределенность текущего, а тем более прогнозируемого уровня БП обусловлена, в первую очередь, вариативностью параметров АТС. Поскольку исходная информация, получаемая при анализе статистических или экспертных данных, позволяет делать предположения о типе вероятностного распределения показателей БП по оси дискретных возможных значений этих показателей, целесообразно уточнять вероятностные оценки показателей, но не по окончании, а периодически, т.е. в течение периода прогнозирования, используя, к примеру, байесовскую процедуру уточнения [3]. При этом предусматриваются два этапа оценивания:

- априорное оценивание показателей уровня БП на основании: ранее выполненных расчетных данных (например, по фактору «ВС»), накопленных в процессе эксплуатации статистических данных и/или результатов экспертных исследований;

- апостериорное оценивание показателей уровня БП на основании уточнения априорных оценок по вновь полученной объективной информации за прошедшую часть

¹ Окончание. Начало «Проблемы безопасности полетов» № 10, 11.

периода прогнозирования, т.е. либо в плановом порядке - по прошествии месяца, квартала, полугодия, либо в экстренном порядке - после произошедших авиационных событий (АС).

Процесс априорного оценивания состояния АТС (A) через показатели уровня БП по отдельно рассматриваемым видам АС [6] позволяет выдвинуть n взаимно исключающих друг друга гипотез о нахождении АТС в одном из возможных состояний, характеризующихся некоторым i -ым возможным количеством одного из видов АС в прогнозируемом периоде, $i = 1, 2, \dots, n$. Причем, вся совокупность n состояний A_i , составляет полную группу несовместных событий [4], поэтому:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(A_i) = 1, \quad (1)$$

где $P(A_i)$ - априорная вероятность нахождения АТС в состоянии A_i , соответствующем уровню БП с некоторым количеством АС за прогнозируемый период (или налет, по которому оценивается уровень БП);

n – конечное число вариантов возможного количества АС рассматриваемого вида за прогнозируемый период.

Как показывает опыт практического использования байесовской процедуры уточнения, примененной к экспертному прогнозированию показателей уровня БП на 2006 г. в авиакомпании «Волга-Днепр», количество состояний n , получаемое при априорном экспертном оценивании, целесообразно расширить на один шаг дискретизации как в сторону увеличения значения показателя БП (A_{n+1}), так и в сторону его уменьшения (A_0) в пределах неотрицательных значений. Вероятность нахождения АТС в этих дополненных, непрогнозируемых (или отсутствующих в располагаемой статистике), но возможных состояниях АТС, можно оценивать:

а) при экспертном прогнозировании уровня БП - как относительную частоту состояний АТС, которые возможны (по количеству АС за прогнозируемый период), но не выделены ни одним из экспертов в виде утверждения (гипотезы) [5];

б) при статистической оценке уровня БП - как вероятность количества АС, возможного в оцениваемые периоды, но не имевшего места за всю эпоху наблюдения [7].

$$\bar{P}(A_0) = \bar{P}(A_{n+1}) = \frac{1}{2(N+2)}, \quad (2)$$

где N – количество экспертов (а) или количество оцененных периодов в эпохе наблюдения (б).

Пусть B - состояние АТС, соответствующее факту по статистическим данным за некоторую прошедшую часть периода прогнозирования (новая статистика).

События A и B – связанные, для которых, исходя из теоремы умножения вероятностей [4], справедливо соотношение:

$$P(A/B) \cdot P(B) = P(B/A) \cdot P(A), \text{ следовательно:}$$

$$P(A/B) = \frac{P(B/A) \cdot P(A)}{P(B)}. \quad (3)$$

Т.к. события A_i - несовместные, то по формуле полной вероятности [4]:

$$P(B) = \sum_{i=0}^{n+1} P(B/A_i) \cdot P(A_i). \quad (4)$$

С учетом (4) выражение (3), применительно к состоянию АТС A_i , имеет вид:

$$P(A_i/B) = \frac{P(B/A_i) \cdot P(A_i)}{\sum_{i=0}^{n+1} P(B/A_i) \cdot P(A_i)}, \quad (5)$$

где $P(A_i/B)$ - апостериорная вероятность того, что состояние АТС A_i - истинное состояние, с учетом новой статистики;

$P(B/A_i)$ - условная вероятность того, что состояние B будет наблюдаться, если A_i - истинное состояние АТС.

Таким образом, уточнение априорно оцененных показателей уровня БП по данным новой статистики прошедшей части периода прогнозирования сводится к определению апостериорного распределения вероятности $P(A_i/B)$ по оси A_i .

Пусть при экспертном прогнозировании уровня БП в авиакомпании на предстоящий год эксперты, индивидуально оценив перспективу состояния АТС с учетом влияющих факторов, указали ожидаемое количество инцидентов на эксплуатируемом типе ВС: 5, 8, 5, 10, 5, 7, 9, 4, 5, 6, 10, 6, 5, 6, 10, 6 (выявление и исключение промахов произведено [5], состав группы экспертов оптимизирован [8]).

Количество выдвинутых гипотез ($n=7$) по ожидаемому количеству инцидентов искусственно расширено в обе стороны. Возможные состояния АТС ($A_i, i=0,1,2,\dots,8$) составляют полную группу несовместных событий, характеризующихся соответствующим количеством инцидентов за год: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11. Результаты вычисления относительной частоты утверждений $\bar{P}(A_i)$ внесены в таблицу. При вычислении относительной частоты утверждений экспертов ($\bar{P}(A_1), \bar{P}(A_2), \dots, \bar{P}(A_7)$) округление результатов произведено в меньшую сторону, чтобы, сохраняя условие (1), величинам $\bar{P}(A_0)$ и $\bar{P}(A_8)$ присвоить отличные от нуля равные остаточные значения «0,01», не выполняя действие (2).

Допустим, что по результатам экспертного прогнозирования мероприятия по управлению уровнем БП не проводились, т.е. состояние АТС преднамеренных изменений не претерпело. В первом полугодии произошло 5 инцидентов (имеем состояние B - новая статистика состояния АТС через полгода). Определим априорную вероятность состояния B при условии истинности каждой из рассматриваемых гипотез (с учетом расширения): от состояния A_0 до состояния A_8 . Можно считать, что возникающие инциденты образуют поток событий, удовлетворяющий условиям ординарности и отсутствия последствия. Тогда для определения априорной вероятности состояния B (5 инцидентов за 0,5 года) при средней частоте инцидентов, составляющей определенную величину, может быть использовано распределение Пуассона, согласно которому:

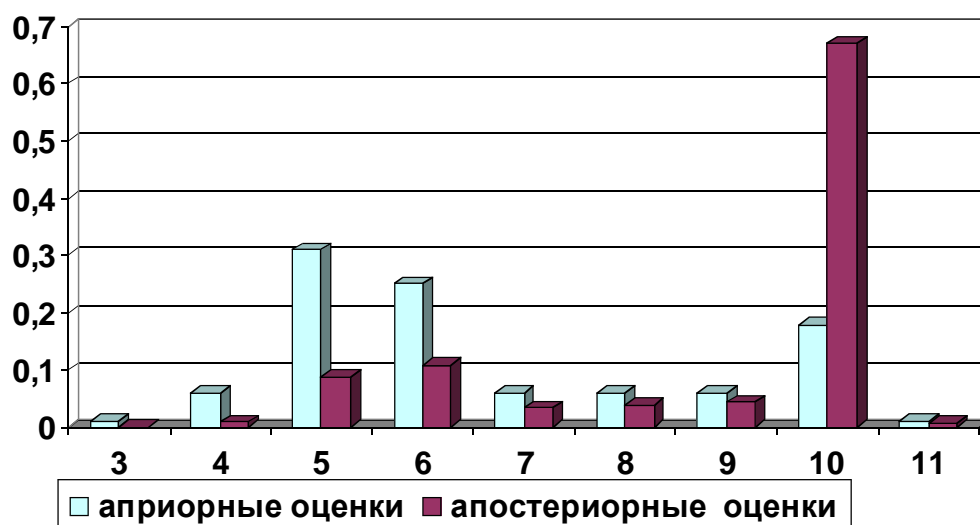
$$P(B/A_i) = e^{-0,5w_i} (0,5w_i)^5 / 5!, \quad (6)$$

где w_i - средняя частота инцидентов в год при соответствующих состояниях АТС A_i .

Вычисленные по (6) значения $P(B/A_i)$ внесены в таблицу.

Апостериорная оценка вероятностей пребывания АТС в состояниях A_i с учетом новой статистики (5 инцидентов за 0,5 года) выполняется по формуле (5) и уже имеющимся в таблице данным.

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$A_i \equiv w_i$	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\bar{P}(A_i)$	0,01	0,06	0,31	0,25	0,06	0,06	0,06	0,18	0,01
$P(B/A_i)$	0,014	0,036	0,067	0,101	0,131	0,156	0,171	0,872	0,172
$P(A_i/B)$	0,0006	0,0092	0,0886	0,1077	0,0335	0,0399	0,0438	0,6694	0,0073



На рисунке представлены полученные распределения: априорных оценок вероятностей состояний АТС $\bar{P}(A_i)$ и апостериорных (скорректированных по итогам первого полугодия) оценок $P(A_i / B)$.

Анализ априорных оценок уровня БП показывает, что наиболее вероятное (по прогнозу) состояние АТС - 5-6 инцидентов за год ($\bar{P} = 0,31 + 0,25$). Но возможно ($\bar{P} = 0,18$) резкое снижение уровня БП, тогда произойдет 10 (!) инцидентов. Уточнением (через полгода) выявляется явно выраженное смещение максимального значения вероятности к состоянию АТС, соответствующему 10-ти инцидентам, что совпадает с прогнозом 3-х из 16-ти экспертов.

В основу приведенного примера заложена реальная ситуация экспертного прогнозирования, хотя столь явно выраженная разница в экспертных оценках носит исключительный характер, свойственный для группы экспертов, значительно отличающихся по уровню компетентности. Более того, эта разница искусственно усугублена автором в целях наглядности приведенного примера.

Таким образом, процедура промежуточной коррекции прогнозных оценок вероятностных показателей уровня БП позволяет:

- оперативно оценивать динамику корпоративного уровня БП;
- повышать достоверность текущего и перспективного прогнозирования показателей БП на корпоративном уровне;
- оценивать эффективность проводимых мероприятий по предотвращению АП;
- оперативно распознавать наиболее достоверные варианты индивидуальных прогнозов, оценивать уровень компетентности экспертов и оптимизировать качественный состав экспертной группы [8];
- оптимизировать управление уровнем БП, отдавая приоритет мероприятиям (факторам), которые указаны авторами (экспертами) наиболее достоверных прогнозов (предварительно необходимо в программу экспертного исследования уровня БП внести выявление и количественную оценку факторов риска и факторов предотвращения авиационных происшествий, а также наладить учет, накопление и хранение аргументов и обоснований экспертных суждений, включая промахи [5]).

Однако, исходя из начального опыта практического применения экспертного прогнозирования и приведенного примера уточнения прогнозных оценок уровня БП, следует признать целесообразность оптимизации и параметрической индивидуализации периодичности процедуры уточнения прогнозных оценок, а также необходимость разработки программного обеспечения процедур экспертного прогнозирования, оптимизации состава экспертной группы и периодического уточнения прогнозных оценок уровня БП.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 06-08-01518-а.

Литература

1. ГОСТ В 23743-88. Изделия авиационной техники. Номенклатура показателей безопасности полета, надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности.
2. Безопасность полетов летательных аппаратов./ Под ред. В.С. Иванова. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2003.
3. *Петров В.П., Резников Д.О., Куксова В.И., Дубинин Е.Ф.* Применение теоремы Байеса для решения некорректных задач теории рисков и организации мониторинга аварий и катастроф.// Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций/ ВИНТИ, М., - 2006.- № 1.
4. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Высшая школа, 2002.
5. *Гузий А.Г., Чуйко А.А.* Методологический подход к экспертному прогнозированию уровня безопасности полетов. // Проблемы безопасности полетов/ ВИНТИ, М., - 2006.- № 10.
6. Правила расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в Российской Федерации. – М.: Авиаиздат, 1999.
7. *Червонный А.А., Лукьященко В.И., Котий Л.В.* Надежность сложных систем. – М.: Машиностроение, 1976.
8. *Гузий А.Г.* Формирование и оптимизация состава группы экспертов в области безопасности полетов и предотвращения авиационных происшествий. // Проблемы безопасности полетов/ ВИНТИ, М., - 2006.- № 11.