

УДК 629.017.083.74

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ АВИАКОМПАНИИ

Е.С. ПРОЗОРОВ

В статье приведены основанные на применении теории вероятности и математической статистики методы решения ряда основных задач: формирование и оценка текущего уровня безопасности; прогнозирование уровня безопасности; ранжирование объектов (самолетов, пилотов) по уровню безопасности; оценка наличия (отсутствия) управляющих воздействий, возникающих в контексте организации корпоративной системы управления безопасностью полетов. При этом в качестве основного источника информации рассматриваются прогнозные события данных средств объективного контроля.

Ключевые слова: авиакомпания, безопасность полётов, уровень безопасности, средства объективного контроля, теория вероятности, математическая статистика, управляющее воздействие, ранжирование, прогноз.

Согласно положениям РУБП ИКАО [1] в авиакомпании предполагаются регулярные управляющие и упреждающие воздействия с целью поддержания приемлемого уровня безопасности полётов. Соответственно необходим регулярный процесс получения информации от подразделений организации для ее последующей оценки и анализа. При этом возникает необходимость формирования пороговых уровней безопасности, которые могут быть наложены как на деятельность организации, так и на отдельные объекты (воздушные суда, авиационный персонал). Кроме того, необходим механизм учета наличия (отсутствия) управляющих воздействий в контексте цикла функционирования СУБП.

Таким образом, требуется решение следующих задач:

- формирование и оценка текущего уровня безопасности в минимальном контрольном временном диапазоне;
- прогнозирование уровня безопасности на заданный временной контрольный диапазон;
- ранжирование объектов (самолетов, пилотов) по уровню безопасности – какой объект безопаснее (лучше);
- оценки наличия (отсутствия) управляющих воздействий на уровне авиапредприятия за предыдущий контрольный временной диапазон.

Традиционно известным и важным регулярным источником информации являются средства объективного контроля (СОК), охватывающие два наиболее важных подразделения авиакомпании, именно, летную и инженерную службы. При этом СОК являются обязательным компонентом. Поэтому, используя информацию СОК, можно построить систему, решающую вышеперечисленные задачи.

Построение указанной системы предлагается на основе методов теории вероятности и математической статистики. То есть пороговые уровни безопасности, ранжирование объектов, оценка управляющих воздействия представляют собой *вероятности* (не абсолютные величины, коэффициенты и т.д.). При этом основной акцент ставится на предвестники инцидентов (прогнозные события) как индикатор текущего уровня безопасности.

Основные положения и определения

Переход количества в качество. Предполагается, что увеличение количества событий минимально опасной категории при заданном диапазоне, именно, количестве полетов (испытаний) за определенный временной период, увеличивает вероятность появления событий более высокой категории опасности.

Независимое испытание – полет воздушного судна.

Событие – любое негативное событие, как то неисправность (отказ) оборудования либо ошибка экипажа.

Маркированный полет – полет, в котором имело место одно и более событий.

Наблюдаемая относительная частота события есть отношение числа маркированных полетов к общему числу полетов за заданный период

$$P_{\text{набл}} = N_{\text{м полетов}} \div N_{\text{полетов}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{м полетов}}$ – число маркированных полетов, в которых имели место события; $N_{\text{полетов}}$ – число всех полетов (испытаний).

Устойчивость относительной частоты – при увеличении количества испытаний, относительная частота колеблется около положительного числа – вероятности, т.е. неограниченно приближается к вероятности (теорема Бернулли)

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_{n \rightarrow \infty} \left(\left| \frac{m}{n} - p \right| < \varepsilon \right) = 1, \quad (2)$$

где ε – сколь угодно малое положительное число.

Категория опасности события определяется последствиями и допускаемой частотой появления в заданном диапазоне.

Приемлемый уровень безопасности определяется приемлемой вероятностью отсутствия событий в заданном диапазоне.

Генеральная совокупность – теоретическая совокупность бесконечно большого количества полетов.

Выборка – совокупность полетов (испытаний) в течение заданного периода, минимальный размер которого, как правило, составляет месяц.

Случайная величина – величина, которая в результате полета (испытания) принимает наперед неизвестное значение, зависящее от случайных причин, которые заранее не могут быть учтены.

Дискретная случайная величина – случайная величина, принимающая отдельные изолированные значения с определенными вероятностями.

Закон (функция) распределения случайной величины – соответствие между возможными значениями случайной величины и их вероятностями, заданное аналитически, позволяющее делать прогноз возможных значений случайной величины в будущем.

Статистическая гипотеза – гипотеза о законе (функции) распределения генеральной совокупности.

Исходные определения

Традиционно и общепринято, пороговое значение уровня безопасности $S_{\text{порог}}$ задается как относительная величина – количество событий данного класса $N_{\text{соб}}$ в контрольном часовом диапазоне $T_{\text{контр}}$ (1000 ч полетного времени)

$$S_{\text{порог}} = \frac{N_{\text{соб}}}{T_{\text{контр}}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{соб}}$ – количество событий; $T_{\text{контр}}$ – контрольный часовой диапазон.

Отношение $S_{\text{порог}}$ имеет вид события/часы.

Целесообразно осуществить отображение $P_{\text{тек}}$ (вида полеты/полеты) на $S_{\text{порог}}$. Количество маркированных полетов по определению совпадает с количеством событий

$$N_{\text{м доп полетов}} = N_{\text{соб}} \quad (4)$$

и является постоянно заданной величиной.

Определим $N_{\text{т полетов}}$ как количество полетов, укладываемых по времени в $T_{\text{контр}}$, за контролируемый период (месяц) следующим образом:

1) определяем среднее время полета

$$T_{\text{полета}} = N_{\text{часов}} \div N_{\text{полетов}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{часов}}$ – количество часов полетного времени; $N_{\text{полетов}}$ – количество полетов;

2) определяем $N_{\text{т полетов}}$, укладываемых по времени в $T_{\text{контр}}$

$$N_{m \text{ полетов}} = T_{\text{контр}} \div T_{\text{полета}}, \quad (6)$$

где $T_{\text{контр}}$ – контрольный часовой диапазон; $T_{\text{полета}}$ – среднее время полета.

Как видно, количество полетов $N_{m \text{ полетов}}$, покрывающее контрольный диапазон $T_{\text{контр}}$, является переменной величиной, так как количество часов полетного времени различно в каждом контрольном периоде (месяце), при том, что $T_{\text{контр}}$ является постоянно заданной величиной.

Оценка текущего уровня безопасности

Под *пороговым уровнем безопасности* понимается *вероятность* $P_{\text{порог}}$, определяемая как отношение допустимого количества маркированных полетов к числу всех полетов $N_{m \text{ полетов}}$ за контрольный диапазон $T_{\text{контр}}$

$$P_{\text{порог}} = N_{m \text{ доп полетов}} \div N_{m \text{ полетов}}, \quad (7)$$

где $N_{m \text{ доп полетов}}$ – допустимое количество маркированных полетов; $N_{m \text{ полетов}}$ – количество полетов за контрольный диапазон $T_{\text{контр}}$ (определено выше).

Наблюдаемое значение критерия $U_{\text{набл}}$ определяется как функция $P_{\text{тек}}, P_{\text{порог}}, N_{\text{полетов}}$

$$U_{\text{набл}} = F(P_{\text{тек}}, P_{\text{порог}}, N_{\text{полетов}}) \quad (8)$$

Критическая точка $U_{\text{кр}}$ определяется как аргумент матрицы значений функции Лапласа $\Phi(U_{\text{кр}})$ при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$ ($\Phi(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-z^2/2} dz$).

Если $U_{\text{набл}} < U_{\text{кр}}$, то нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу. Соответственно текущий уровень безопасности находится в приемлемом диапазоне.

Прогноз уровня безопасности

Представляя возможность появления (не появления) события в полете как дискретную случайную величину, можно задать закон распределения генеральной совокупности (бесконечного количества полетов). Зная закон распределения, можно определить вероятность наступления заданного количества событий $N_{\text{соб}}$ в заданном количестве полетов $N_{\text{полетов}}$ (независимых испытаний).

Пороговое допустимое количество событий и соответственно количество полетов определяется из вышеуказанного традиционного критерия – количество событий данного класса $N_{\text{соб}}$ в контрольном часовом диапазоне $T_{\text{контр}}$ (1000 ч полетного времени)

$$S_{\text{порог}} = \frac{N_{\text{соб}}}{T_{\text{контр}}}, \quad (9)$$

где $N_{\text{соб}}$ – количество событий; $T_{\text{контр}}$ – контрольный часовой диапазон.

Далее определяется $P_{\text{набл}}$. В зависимости от величины $P_{\text{набл}}$ используются два закона распределения случайной величины.

Именно:

- если $P_{\text{набл}} \leq 0,1$, то используем *асимптотическую формулу Пуассона*

$$P_n(N_{\text{соб}}) = \frac{(P_{\text{набл}})^{N_{\text{соб}}}}{N_{\text{соб}}!} \times e^{-P_{\text{набл}}}; \quad (10)$$

- если $P_{\text{набл}} > 0,1$, то используем *асимптотическую формулу Лапласа*

$$P_n(N_{\text{соб}}) = \frac{1}{\sqrt{N_{\text{полетов}} * P_{\text{набл}} * (1 - P_{\text{набл}})}} \times \varphi(x); \quad (11)$$

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times e^{-x^2/2}; \quad (12)$$

$$x = (N_{\text{соб}} - N_{\text{полетов}} * P_{\text{набл}}) / \sqrt{N_{\text{полетов}} * P_{\text{набл}} * (1 - P_{\text{набл}})}. \quad (13)$$

Вероятность $P_n(N_{\text{соб}})$ представляет собой как прогноз на следующий контрольный период. Можно принять неравенство

$$0,5 < P_n(N_{cob}) < 0,75 \quad (14)$$

как показатель, требующий анализа, а неравенство

$$P_n(N_{cob}) > 0,75 \quad (15)$$

как показатель превышения порогового уровня, требующий управляющих воздействий.

Таким методом можно прогнозировать уровень безопасности как по авиакомпании в целом, так и по отдельным объектам – самолетам и пилотам.

Ранжирование объектов по уровню безопасности

Как было указано, можно определять уровень безопасности по отдельным объектам – самолетам и пилотам. Соответственно при этом $P_{набл}$ будет формироваться по каждому объекту. Причем в данном случае целесообразно не ограничиваться одной выборкой за контрольный период (месяц), а статистически увеличивать размер выборки в соответствии с увеличением общего периода наблюдений. К примеру, в апреле размер выборки будет составлять четыре месяца и т.д. до конца года. В итоге объекты ранжируются по степени безопасности – вероятности возникновения определенного количества событий данного класса.

Оценка наличия управляющих воздействий

Как было сказано выше, согласно положениям ИКАО, в авиакомпании предполагаются постоянные управляющие и упреждающие воздействия, с целью поддержания приемлемого уровня безопасности полетов.

Решение этой задачи предполагается методом сравнения средних двух генеральных совокупностей, за два периода – текущий месяц (конец) и предыдущий. То есть необходимо проверить значимо или незначимо различаются указанные средние величины.

Под выборочными совокупностями X_{i-1} и X_i будем понимать распределение относительных частот

$$f = \frac{N_{cob}}{N_{полетов}}, \quad (16)$$

где N_{cob} – количество событий; $N_{т полетов}$ – количество полетов всех (пилотирование и оборудование) имевших место событий по объектам – самолетам, за предыдущий и текущий контрольный периоды (месяцы) соответственно.

Под объемом выборки n будем понимать соответственно количество самолетов (ВС). Под вариантами $f_{(X_{i-1})}$ и $f_{(X_i)}$ – относительную частоту событий на данном ВС за предыдущий и текущий контрольные периоды (месяцы) соответственно.

Объекты	BC_1	BC_2	BC_3	BC_4	...	BC_n
Варианты: частота событий X_{i-1}	$f_{(X_{i-1})1}$	$f_{(X_{i-1})2}$	$f_{(X_{i-1})3}$	$f_{(X_{i-1})4}$...	$f_{(X_{i-1})n}$
Варианты: частота событий X_i	$f_{(X_i)1}$	$f_{(X_i)2}$	$f_{(X_i)3}$	$f_{(X_i)4}$...	$f_{(X_i)n}$

Задача решается путем проверки статистической гипотезы о равенстве двух средних $M(X_{i-1}) = M(X_i)$ при конкурирующей гипотезе $M(X_{i-1}) \neq M(X_i)$. Для чего вычисляется наблюдаемое значение критерия

$$T_{набл} = d \times \sqrt{n} \div s_d, \quad (17)$$

где d – средняя разностей вариант с одинаковыми номерами; n – объем выборки; s_d – исправленное среднее квадратическое отклонение.

Далее при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$ и использовании распределения Стьюдента находим критическую точку $t_{крит}(\alpha)$.

Если

$$|T_{набл}| < t_{крит}(\alpha), \quad (18)$$

нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу, следовательно, средние величины указанных совокупностей различаются незначимо. В противном случае нулевая гипотеза отвергается, что означает значимое различие средних двух совокупностей.

Незначимое различие средних величин свидетельствует об отсутствии управляющих воздействий за заданный прошедший период.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Doc 9859 AN/474.** *Руководство по управлению безопасностью полётов (РУБП)*. 3-е изд. Монреаль: ИКАО, 2013.
2. **Гмурман В.Е.** *Теория вероятностей и математическая статистика*. 9-е изд., стер. М.: Высшая школа, 2003. 479 с.

ASSESSMENT AND FORECASTING OF FLIGHT SAFETY LEVEL OF AIRLINE

Prozorov E.S.

The article presents methods based on probability theory and mathematical statistics for solving a number of basic problems: formation and evaluation of the current flight safety level; forecasting the level of flight safety; ranking the objects (planes, pilots) in terms of flight safety; evaluation of the presence (or absence) of control actions arising in the context of the organization of corporate safety management system. At the same time as the main source of information are considered forward-looking events received from flight data.

Keywords: airline, flight safety, security level, means of objective control, probability theory, mathematical statistics, control action, ranking, forecast.

REFERENCES

1. **Doc 9859 AN/474.** *Rukovodstvo po upravljeniju bezopasnost'ju poljotov (RUBP)*. 3-e izd. Monreal': IKAO. 2013. (In Russian).
2. **Gmurman V.E.** *Teorija verojatnostej i matematičeskaja statistika*. 9-e izd., ster. M.: Vysshaja shkola. 2003. 479 p. (In Russian).

Сведения об авторе

Прозоров Евгений Сергеевич, 1966 г.р., окончил КПИ (1989), начальник отдела мониторинга полетной информации и оценки рисков для безопасности полетов авиакомпании «АЙ ФЛАЙ», область научных интересов – управление безопасностью полётов.