Лекция №11

3.4. Статистический анализ состояния БзП за определенный период эксплуатации

Анализ состояния безопасности полетов за определенный период эксплуатации проводится по статистическим данным об АП и инцидентах, отказах авиатехники, ошибках личного состава.

С помощью этих данных методами математической статистики возможно решать задачи, составляющие существо количественного анализа БзП, а именно: оценивать реально достигнутый уровень безопасности полетов, определять степень опасности опасных факторов, производить их ранжировку по вкладу в общий уровень аварийности, оценивать эффективность различных профилактических мероприятий по повышению БзП.

Оценивание достигнутого уровня БзП может быть произведено с помощью ранее изученных показателей, таких, как Q – уровень риска; $T_{\text{АП}}$ – средний налет на одно авиационное происшествие; $P_{\text{БП}}$ – вероятность отсутствия АП за рассматриваемый налет t_{Σ}. По данным эксплуатации непосредственно могут быть вычислены статистические оценки этих показателей:

$$Q^* = \frac{n_{\text{АП}}}{N} \text{ или } Q_t^* = \frac{n_{\text{АП}}}{t_{\Sigma}};$$

$$T_{\text{АП}}^* = \frac{t_{\Sigma}}{n_{\text{АП}}}, \qquad P_{\text{БП}}^* = \mathrm{e}^{-n_{\text{АП}}}. \tag{9.2}$$

Эти оценки являются приближенными, так как число АП, положенное в основу их расчета, случайно: оно могло быть как меньше, так и больше зарегистрированного значения.

Точность расчета показателей БзП можно оценивать, определив доверительные интервалы, в которых с заданной степенью достоверности, характеризуемой доверительной вероятностью β, находятся истинные значения этих показателей. Из соотношений (9.2) видно, что для этого необходимо определить доверительный интервал для величины $n_{\text{АП}}$. Последний может быть вычислен при условии, что распределение заданного числа АП как редких событий является пуассоновским:

$$Q_n = \frac{a^n}{n!}\mathrm{e}^{-a}, \tag{9.3}$$

где a – неизвестный параметр распределения. За его приближенное значение может быть принято $a^* = n_{\text{АП}}$.

Распределение оценки a^*, как известно из теории вероятностей, тесно связано с χ^2–распределением. Это обстоятельство позволяет выразить доверительный интервал для a^*, а следовательно, и для $n_{\text{АП}}$ через значение χ^2. Математическая статистика дает для этого случая соотношение

$$\frac{1}{2}\chi^2_{\frac{1+\beta}{2}}(f_1) \le n_{\text{АП}} \le \frac{1}{2}\chi^2_{\frac{1-\beta}{2}}(f_2), \tag{9.4}$$

где $f_1 = 2n_{\text{АП}}$; $f_2 = 2(n_{\text{АП}}+1)$ – числа степеней свободы, в функции которых по справочной литературе определяют величины χ^2 при заданной доверительной вероятности β.

Известно, что при $f \geq 30$ можно полагать, что величина χ^2 имеет распределение, весьма близкое к нормальному закону. Это обстоятельство дает возможность находить χ^2 при $f \geq 30 (n_{\text{АП}} \geq 15)$ через конечные соотношения. В частности, при β = 0,95 они имеют вид:

$$\chi^2_{0,975}(f_1) = \frac{1}{2}(\sqrt{2f_1} - 1{,}96)^2;$$
$$\chi^2_{0,025}(f_1) = \frac{1}{2}(\sqrt{2f_2} + 1{,}96)^2. \tag{9.5}$$

При известных границах $n_{\text{АП}_1}$ и $n_{\text{АП}_2}$, используя соотношения (9.2), можно определить доверительные границы для показателей БзП:

$$Q_1 = \frac{n_{\text{АП}_1}}{N},\ Q_2 = \frac{n_{\text{АП}_2}}{N} \text{ или } Q_{t1} = \frac{n_{\text{АП}_1}}{t_\Sigma}, Q_{t2} = \frac{n_{\text{АП}_2}}{t_\Sigma},$$
$$T_{\text{АП}_1} = \frac{t_\Sigma}{n_{\text{АП}_2}},\quad T_{\text{АП}_2} = \frac{t_\Sigma}{n_{\text{АП}_1}}, \tag{9.6}$$
$$P_{\text{БП}_1} = \mathrm{e}^{-n_{\text{АП}_2}},\quad P_{\text{БП}_2} = \mathrm{e}^{-n_{\text{АП}_1}}.$$

Такой же подход может быть применен для определения доверительных границ для вероятностей отсутствия инцидентов или опасного отказа в одном полете, для среднего времени налета на один инцидент или опасный отказ и вероятностей отсутствия этих событий за рассматриваемый период. При этом считается, что потоки инцидентов или опасных отказов являются пуассоновскими с распределением вероятностей возникновения определенного числа указанных событий, соответствующих (9.3).

Важной задачей анализа состояния безопасности полетов является сравнение фактического уровня БзП с заданным (нормированным). В математическом плане решение этой задачи при предположении о пуассоновском законе распределения числа АП (9.3) сводится к статистическому сравнению оценочного значения параметра распределения a^* с заданными значениями $a_з$.

Пусть требуемый уровень безопасности полетов для ЛА занормирован величиной среднего полета на одно авиационное происшествие $T_{\text{АП}_з}$. Из опыта эксплуатации ЛА данного типа известно, что за налет t_Σ произошло $n_{\text{АП}}$. Тогда оценочное значение параметра распределения $a^* = n$ и заданное (нормированное) будет равно:

$$a_з = \frac{t_\Sigma}{T_{\text{АП}_з}}.$$

При статистическом сравнении a^* и $a_з$ возможно принятие следующих гипотез (выводов): нулевой гипотезы $a = a_з$ – фактический уровень БзП соответствует заданному ($T_{\text{АП}} = T_{\text{АП}_з}$); альтернативной гипотезы $a > a_з$ – фактический уровень БзП меньше заданного ($T_{\text{АП}} < T_{\text{АП}_з}$); альтернативной гипотезы $a < a_з$ – фактический уровень БзП больше заданного ($T_{\text{АП}} > T_{\text{АП}_з}$).

Нулевая гипотеза на уровне значимости α отвергается в пользу альтернативной гипотезы $a > a_з$ при $a_з < \frac{1}{2}\chi^2_{1-\alpha}(f_1)$, где $f_1 = 2n$, и в пользу альтернативной гипотезы $a < a_з$ при $a_з > \frac{1}{2}\chi^2_\alpha(f_2)$, где $f_2 = 2(n+1)$. Выбор одной из двух альтернативных гипотез $a < a_з$ или $a > a_з$ при сравнении фактического уровня БзП с заданным определяется соотношением a^* и $a_з$.