

– вероятность проявления k_3 и не проявления признака k_4 в неисправном состоянии S_2 :

$$P_{S_2 k_3 0 k_4} = \frac{P_{S_2} \cdot P_{k_{S_2,2}} \cdot P_{0 k_{S_2,2}}}{P_{S_1} \cdot P_{k_{S_1,1}} \cdot P_{0 k_{S_1,1}} + P_{S_2} \cdot P_{k_{S_2,2}} \cdot P_{0 k_{S_2,2}}}.$$

Введя в эти выражения значения статистических данных, получим необходимый результат.

Аналогичным образом можно составить выражения для более сложных вариантов сочетания проявления при-

знаков в неисправных состояниях, например, 2×3 , 3×2 , 3×3 , 3×4 , 4×3 , 4×4 и т. д.

По рассмотренному алгоритму расчета реализована программа «Методика определения неисправных состояний методом Байеса» кафедрами ТЭЛАД и КЛАД института гражданской авиации СибГАУ в среде программного обеспечения MathCad.

V. V. Lukasov, N. V. Nikushkin

MATHCAD SOFTWARE USAGE FOR DIAGNOSTICATING AEROTECHNICS ON THE METHOD OF THEOREM OF HYPOTHESES

The problem of the theorem of hypotheses application is solved in the technical applications of diagnosing on the examples of aero technique. An algorithm and example of solution is presented in the environment of MathCAD software.

Keywords: aerotechnique, technical diagnosing, recognition, diagnostic sign, sanity, fault.

© Лукасов В. В., Никушкин Н. В., 2009

УДК 629.735.064

О. Г. Бойко, Л. Г. Шаймарданов

ЭЛЕМЕНТЫ РИСК-АНАЛИЗА И БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ

Обозначена проблема анализа рисков катастроф самолетов гражданской авиации. Рассмотрен частный пример выполнения риск-анализа катастроф.

Ключевые слова: катастрофа, риск-анализ, затраты, прибыль, вероятность катастроф.

Безопасность является одной из основных характеристик всех видов человеческой деятельности. Особенно остро вопросы безопасности стоят в видах деятельности и отраслях, относимых к традиционно опасным. Авиационные перевозки справедливо считаются опасным видом транспорта. Отказы авиационной техники, ошибки экипажа и служб, обеспечивающих полеты, прямо связаны с риском катастроф. Вместе с этим, потери от катастроф в гражданской авиации существенно меньше, чем во многих других опасных отраслях. Это достигнуто благодаря постоянному вниманию и затратам средств как в надежность авиационной техники, так и в организацию и регламентацию деятельности всех служб, обеспечивающих выполнение полетов.

В обеспечение безопасности в различных видах деятельности в явной и неявной форме вкладываются средства. Возникает необходимость в постановке и решении вопроса о соотношении уровня затрачиваемых средств и достигнутого уровня безопасности. В работе [1] приведена кривая «затраты–прибыль» от вложения средств в обеспечение безопасности (рис. 1).

Справедливо отмечается, что характер кривой одинаков для всех видов деятельности. Отличие состоит в количественном соотношении затрат и прибыли. Высказано мнение о том, что в безопасность целесообразно вкладывать средства до тех пор, пока затраты не сравняются с прибылью.

Под прибылью понимается уменьшение потерь от аварий и катастроф, предотвращенных в результате проведенных мероприятий, на которые были затрачены средства. Критерий равенства затрат и прибыли экономически вполне оправдан. Морально-этический аспект не учитывается.

Характер кривой «затраты–прибыль» таков, что эффективность затрат уменьшается по мере их увеличения. Этим подчеркивается (отражается) предположение о том, что при сколь угодно больших затратах абсолютная безопасность не может быть достигнута. Опасность катастроф всегда сохраняется.

Рассмотренный характер кривой может быть представлен экспоненциальной зависимостью следующего вида:

$$P_{\text{приб}} = 1 - e^{-(3-Z_0)^3}, \quad (1)$$

где Z – затраты средств на обеспечение безопасности; Z_0 – начальные (ранее осуществленные) затраты средств в безопасность.

Зависимости, построенные по формуле (1), приведены на рис. 2. Чем больше уровень предварительных затрат Z_0 , тем интенсивнее увеличивается прибыль от дополнительных затрат. Но вместе с этим при меньшем диапазоне реализуемых затрат падает эффективность затрат. Следует полагать, что начальный уровень затрат Z_0 различен по отраслям и видам деятельности.

Предложенная модель (1) хотя и связывает прибыль с затратами, но не показывает механизм формирования затрат и прибыли. Попытка «вскрыть» этот механизм предпринята нами при рассмотрении влияния увеличения затрат на повышение надежности авиационной техники на потери от катастроф.

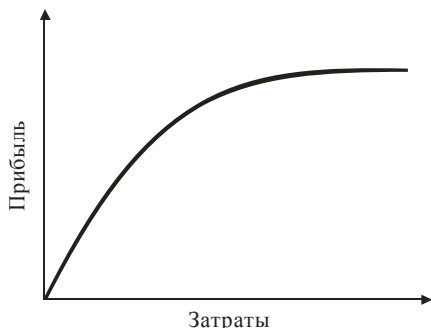


Рис. 1. Кривая «затраты–прибыль»

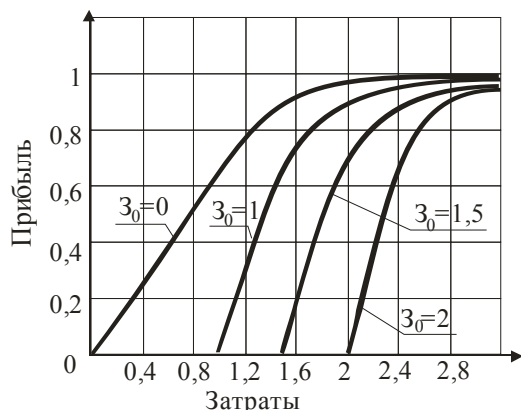


Рис. 2. Зависимость прибыли от затрат на безопасность при различных начальных затратах

Нами рассмотрена статистика 50 катастроф за последние годы с самолетами и вертолетами гражданской авиации на территории Российской Федерации: 97 % катастроф сопряжены с негативным влиянием человеческого фактора; 3 % катастроф вызваны отказами авиационной техники, связанными с конструктивно-производственными недостатками.

Из 97 % катастроф 94 % вызваны ошибочными действиями либо недисциплинированностью пилотов; 3 % определяются ошибками либо недобросовестностью, допущенными при техническом обслуживании.

Катастрофы (3 % от общего числа), связанные с конструктивно-производственными отказами, определяются отказами двигателей. Катастроф, вызванных отказами функциональных систем, не наблюдалось.

На катастрофах, связанных с отказами двигателей следует остановиться отдельно. Отказы двигателя на одномоторном (легком) самолете приводят к катастрофам при неблагоприятных условиях для совершения вынужденной посадки вне аэродрома. На магистральных многомоторных самолетах отказ двигателя без отягчающих последствий – событие не катастрофическое. Ушло в прошлое представление о том, что четырехмоторный самолет безопаснее двухмоторного, поскольку 4-моторный самолет сможет долететь на трех моторах, а 2-моторный

не сможет долететь на одном моторе. По требованиям ИКАО даже двухмоторный самолет с одним отказавшим двигателем должен иметь возможность лететь на одном двигателе в течение трех часов. Этого вполне достаточно для завершения полета по маршруту либо ухода на запасной аэродром.

Катастрофически опасными являются отказы двигателей, отягощенные нелокализуемыми пожарами либо разрушениями, наносящими системам самолета повреждения, при которых продолжение полета становится невозможным. В связи с этим изменилась концепция резервирования двигателей на самолете.

При современном уровне конструирования и производства надежность двигателей с большей или меньшей тягой одинакова. В этих условиях вероятность отказа двигателя с отягчающими (катастрофическими) последствиями возрастает с увеличением числа двигателей на самолете. В связи с этим, в самолетостроении наметилась тенденция к увеличению тяги двигателей и переходу к двухмоторным самолетам, естественно, там, где тяги двух существующих двигателей достаточно.

В производстве двигатели больших тяг существенно дороже, чем меньших. Стоимость одного килограмма тяги двигателя примерно пропорциональна третьей степени увеличения тяги. Приведенные данные обеспечивают возможность построения кривой «затраты–прибыль» в оценке безопасности полетов с обеспечением безопасности его силовой установки.

Рассмотрим формирование стоимости двигательной установки самолета. Стоимость одного килограмма тяги двигателя принимается пропорциональной степени k увеличения его тяги в n раз. Пусть базовый двигатель имеет тягу P_0 и стоимость C_0 . На самолете установлено m_0 базовых двигателей и тяга

$$T = P_0 m_0.$$

Стоимость базового варианта двигательной установки

$$C_0 = C_0 m_0.$$

При увеличении тяги двигателя в n раз стоимость одного килограмма тяги увеличивается в n^k раз, а стоимость двигателя в n^{k+1} раза. При фиксированной тяге T силовой установки на самолете будет установлено в n раз меньше двигателей. Тогда стоимость силовой установки с уменьшенным числом двигателей будет

$$C_n = C_0 \cdot n^k. \quad (2)$$

Для оценки потерь от катастроф зададимся вероятностью катастрофического отказа двигателя, равной 10^{-9} на один час полета. В действительности она меньше, но нормами летной годности [2] задано граничное значение вероятности катастрофической ситуации, вызванной отказами авиационной техники, равное 10^{-9} на один час полета. Будем считать, что потери, связанные с реализацией одной катастрофы, равны C_k , и что базовая силовая установка самолета содержит m_0 двигателей. Тогда вероятность отказа двигателя в течение часа полета

$$Q_0 = 1 - (1 - 10^{-9})^{m_0}.$$

Увеличение тяги двигателей в n раз во столько же уменьшает их число в силовой установке, и вероятность отказа будет равна

$$Q_n = 1 - (1 - 10^{-9})^{\frac{m_0}{n}}.$$

Тогда потери от катастрофы составят

$$C_{kn} = C_k Q_n = [1 - (1 - 10^{-9})^{\frac{m_0}{n}}] C_k. \quad (3)$$

Выражения (2) и (3) определяют в параметрической форме кривую «затраты на безопасность – потери от катастроф» по параметру n . Выразив его из выражения (2) в виде

$$n = \sqrt[k]{\frac{C_n}{C_0}},$$

подставив n в уравнение (3), окончательно получим

$$C_{nk} = [1 - (1 - 10^{-9})^{m_0 \sqrt[k]{\frac{C_0}{C_n}}}] C_k. \quad (4)$$

Поскольку C_0 и C_k нам не известны, характер изменения затрат и потерь удобнее исследовать по выражениям (2) и (3) в долях C_0 и C_{kn} .

Результаты выполненных расчетов для случаев увеличения стоимости 1 кг тяги пропорционально второй и третьей степени увеличения тяги двигателя, представлены на рис. 3. При $k = 2$ и $k = 3$ с увеличением затрат их эффективность по уменьшению потерь от катастроф интенсивно снижается, что хорошо согласуется с предложенной в работе [1] моделью «затраты–прибыль» применительно к безопасности полетов.

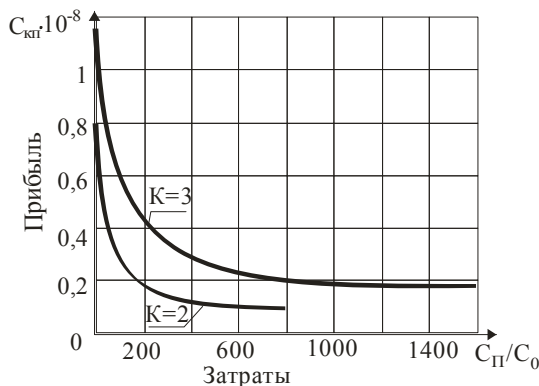


Рис. 3. Зависимость потерь от катастроф в функции затрат

Представляет существенный интерес рассмотрение отношения затрат и прибыли при неизменном числе m двигателей на самолете и увеличении тяги, поскольку при увеличении тяги двигателей в n раз стоимость каждого килограмма тяги увеличивается в n^k раз, а стоимость двигателя – в n^{k+1} раз. Стоимость силовой установки в этом случае будет

$$C_n = C_0 n^{k+1}. \quad (5)$$

При этом пропорционально n возрастает общая тяга силовой установки самолета. Вместе с тягой возрастает

полетная масса, пассажировместимость и потери от реализации катастрофы, т. е.

$$C_k = C_{n0} \cdot n.$$

Тогда потери от катастрофы с учетом ее риска будут

$$C_{kn} = n C_{k0} \cdot Q_n.$$

Поскольку двигателя два, окончательно выражение для расчета потерь определится в виде

$$C_{kn} = n C_{k0} [1 - (1 - 10^{-9})^2]. \quad (6)$$

Зависимость потерь от катастроф в функции затрат на увеличение тяги силовой установки приведены на рис. 4. В отличие от рис. 3, в данном случае потери от катастроф увеличиваются по мере увеличения затрат на силовую установку. Увеличение потерь в этом случае связано с ростом пассажировместимости самолета при неизменной надежности силовой установки. С увеличением тяги двигателей стоимость силовой установки растет значительно быстрее потерь из-за катастроф.

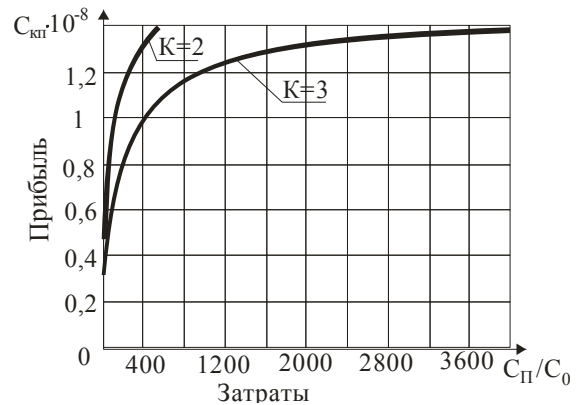


Рис. 4. Зависимость потерь от катастроф в функции затрат на увеличение тяги двигателей

При этом может сложиться ложное впечатление об уменьшении потерь от катастроф. На самом деле, такой характер зависимости потерь от затрат на силовую установку указывает на то, что начиная с некоторой величины затрат, т. е. тяги силовой установки, затраты возрастают настолько интенсивно, что этот путь следует признать тупиковым.

Библиографический список

1. Браун, Д. Б. Анализ и разработка систем обеспечения техники безопасности / Д. Б. Браун. М. : Машиностроение, 1997.
2. АП-25. Авиационные правила. Нормы летной годности самолетов. М. : МАК, 1994.

O. G. Boyko, L. G. Shaimardanov

THE RISK-ANALYSIS AND THE FLIGHT SAFETY ELEMENTS

The problem of risk-analysis of civil aviation airplanes is marked. The private example of making the risk-analysis of catastrophes is viewed.

Keywords: catastrophe, risk-analysis, expenditures, profit, probability of catastrophe.

© Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г., 2009