

В. В. Лукасов, Н. В. Никушкин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ MATHCAD ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ПО МЕТОДИКЕ ТЕОРЕМЫ ГИПОТЕЗ

Рассмотрено применение теоремы гипотез в технических приложениях диагностирования на примерах авиационной техники. Представлен алгоритм и пример решения в среде программного обеспечения MathCad.

Ключевые слова: авиационная техника, техническое диагностирование, распознавание, диагностический признак, исправность, неисправность.

Авиационная техника представляет собой сложную совокупность систем, узлов и элементов, оказывающих взаимное влияние друг на друга. Это приводит к тому, что процесс функционирования изделия очень трудно описать формализованно, четко установив взаимовлияние их составных частей. Кроме того, большинство параметров, характеризующих работу отдельных систем, узлов и элементов, имеют определенное поле допусков и подвержены влиянию большого числа факторов, учесть которые в полном объеме достаточно трудно. Все это приводит к тому, что решение задачи технического диагностирования изделия в целом значительно затруднено, а порой и нереально.

Отказы или неисправности устраняются на земле. Как показывает практика, большая часть времени тратится на поиск причины неисправности. Для решения этой проблемы применяются методы распознавания, которые подразделяются на вероятностные и детерминистические.

При *вероятностных методах* распознавания требуется построить решающее правило, с помощью которого по имеющейся совокупности признаков объект был бы отнесен к одному из возможных состояний.

При *детерминистических методах* распознавания задача формируется на геометрическом языке и сводится к разделению пространства признаков на области состояний (диагнозов).

Среди вероятностных методов наиболее часто используется теорема гипотез, одним из выражений которой является формула Байеса.

Если имеется состояние S_i и простой признак k_j , встречающийся при этом диагнозе, то вероятность совместного появления событий (наличие у объекта состояния S_i и признака k_j) будет

$$P(S_i / k_j) = P(S_i) P(k_j / S_i) = P(k_j) P(S_i / k_j). \quad (1)$$

Из этого равенства вытекает формула Байеса:

$$P(S_i / k_j) = P(S_i) \frac{P(k_j / S_i)}{P(k_j)}. \quad (2)$$

Прежде чем перейти к преобразованию формулы Байеса, определимся с ее составляющими: $P(S_i)$ – вероятность появления состояния S_i , определяемая по выражению с использованием статистических данных:

$$P(S_i) = N_i / N. \quad (3)$$

$P(k_j / S_i)$ – вероятность проявления признака k_j у объектов с состоянием S_i . Если среди N_i объектов, находящихся в состоянии S_i , у $N_{i,j}$ проявился признак k_j , то

$$P(k_j / S_i) = \frac{N_{i,j}}{N_i}. \quad (4)$$

Вероятность отсутствия признака k_j у изделий с состоянием S_i равна

$$P(\bar{k}_j / S_i) = 1 - P(k_j / S_i). \quad (5)$$

$P(k_j)$ – вероятность появления признака k_j во всех объектах независимо от состояния объекта:

$$P(S_i) = N_i / N. \quad (6)$$

В авиации существует специфика, в соответствии с которой самолет может выполнять полет только в исправном состоянии, хотя могут быть еще работоспособные, правильно функционирующие и неисправные состояния. Исходя из этого принимаем, что существует одно исправное состояние объекта и множество неисправных. В дальнейшем будем придерживаться этого положения.

В практической деятельности проявление одного признака позволяет специалисту безошибочно определить состояние объекта, но когда признаков много и проявляется их различное сочетание, точное определение состояния объекта вызывает затруднение.

Комбинации различных признаков многообразны. Определить вероятность появления состояния с одной из комбинаций можно используя интерпретацию формулы Байеса (для комплекса признаков), которая имеет вид

$$P(S_i / K^*) = P(S_i) \cdot P(K^* / S_i) / P(K^*) \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (7)$$

где $P(S_i / K^*)$ – вероятность диагноза S_i после того, как стали известны результаты обследования по комплексу признаков K ; $P(S_i)$ – предварительная вероятность диагноза S_i (по предшествующей статистике).

Перейдем к определению $P(K^* / S_i)$. Если комплекс признаков состоит из v признаков, то

$$P(K^* / S_i) = P(k_1^* / S_i) P(k_2^* / S_i) \dots P(k_v^* / S_i), \quad (8)$$

где $k_j^* - k_{jS}$ – разряд признака, выявившийся в ходе эксплуатации. Для диагностически независимых признаков

$$P(K^* / S_i) = P(k_1^* / S_i) P(k_2^* / S_i) \dots P(k_v^* / S_i). \quad (9)$$

В практических задачах, особенно при большом числе признаков, можно принимать условие независимости признаков даже при наличии существенной корреляции между ними.

Вероятность проявления комплекса признаков K^* определяется по выражению

$$P(K^*) = \sum_{s=1}^n P(S_s) P(K^* / S_s). \quad (10)$$

Для комплекса признаков обобщенная формула Байеса может быть записана так:

$$P(S_i / K^*) = \frac{P(S_i)P(K^* / S_i)}{\sum_{s=1}^n P(S_s)P(K^* / S_s)}, \quad (11)$$

где $P(K^* / S_i)$ определяется равенством (9) или (10). Из соотношения (10) вытекает

$$\sum_{i=1}^n P(S_i / K^*) = 1, \quad (12)$$

т. е. одно из состояний обязательно реализуется, а реализация одновременно двух состояний невозможна.

Метод Байеса сложен для выполнения расчетов, так как имеет много переменных, учитывающих различные факторы. Поэтому его редко применяют в практической деятельности.

Применение программных средств помогает существенно упростить порядок расчета и сократить время на его выполнение. Для выполнения расчетов создают диагностическую матрицу, представляющую собой карту (таблицу) признаков отказов и неисправностей и неисправных состояний (k и S). Карты составляются на основании статистического анализа, данные для которой могут быть представлены лабораторией надежности и технической диагностики авиапредприятия.

Число исследуемых значений определяется количеством вероятных (возможных) проявлений признаков отказов и неисправностей и неисправных состояний.

Методика расчета выполняется на основе метода Байеса – теоремы гипотез, представленной в виде обобщенного алгоритма – расчета вероятности безотказной работы (любой системы) в среде программного обеспечения MathCad.

Пошаговый алгоритм методики определения неисправных состояний методом Байеса заключается в следующем:

1. Записывается выражение вероятности появления неисправного состояния, выражение (3).

2. Производится выборка из массива данных для расчета вероятности появления неисправных состояний по j -му признаку и определяется вероятность проявления признака в неисправных состояниях:

$$P_{kS_{i,j}} = \frac{kS_{i,j}}{N_{i,j}}. \quad (13)$$

3. Оценивается вероятность неоявления признака в неисправных состояниях:

$$P_{0kS} = 1 - P_{kS}. \quad (14)$$

4. По обобщенной формуле Байеса определяются вероятности появления неисправных состояний с проявлением признаков неисправных состояний:

$$P_{Smkn_j} = \frac{P_{S_i} \cdot \Pi(P_k S_j)}{\sum_j (P_{S_{i,j}} \cdot \Pi(P_k S_j))}, \quad (15)$$

где в числителе – произведение вероятностей появления неисправных состояний P_{S_i} на вероятность произведений появления неисправных состояний по каждому проявляющемуся признаку $\Pi(P_k S_j)$; в знаменателе – сумма произведений вероятностей появления неисправных состояний на произведение вероятностей появления неис-

правных состояний по каждому проявляющемуся признаку.

Используя выражение (15), можно получить вероятности получения неисправных состояний по любому количеству проявляющихся признаков и их сочетаниям.

Рассмотрим пример расчета на самом простом варианте – вероятность проявления двух признаков в двух неисправных состояниях для следующего условия:

количество неисправных состояний $S_\Sigma = 10$;
количество признаков неисправных состояний $k_\Sigma = 12$;
общее количество изделий $N = 50$;
 $i - 1 \dots S_\Sigma$.

Для большей наглядности и упрощения расчетов целесообразно составить таблицу, где в столбцах разместятся признаки, а в строках – неисправные состояния. Она наглядно покажет, сочетание каких признаков (двух и более) проявятся в сочетаниях неисправных состояний (двух и более). Для нашего примера – 2 неисправных состояния (S_1 и S_2) и 2 проявившихся признака (k_3 и k_4).

Выражения вероятности проявления (непроявления) признаков k_j в неисправных состояниях S_i (8) записываются как

$$P_{kS_{3,1}} = \frac{k_j S_{3,1}}{N_{i_3}}; P_{kS_{3,2}} = \frac{k_j S_{3,2}}{N_{i_3}}; P_{kS_{4,1}} = \frac{k_j S_{4,1}}{N_{i_4}};$$

$$P_{kS_{4,2}} = \frac{k_j S_{4,2}}{N_{i_4}}; P_{0kS} = 1 - P_{kS},$$

где $P_{kS_{3,1}}$ – вероятность проявления признака k_3 в неисправном состоянии S_1 ; $P_{kS_{3,2}}$ – вероятность проявления признака k_3 в неисправном состоянии S_2 ; $P_{kS_{4,1}}$ – вероятность проявления признака k_4 в неисправном состоянии S_1 ; $P_{kS_{4,2}}$ – вероятность проявления признака k_4 в неисправном состоянии S_2 ; P_{0kS} – вероятность неоявления признака k в неисправном состоянии S .

Вероятности проявления (непроявления) признаков в неисправных состояниях запишем следующим образом:

– вероятность проявления признаков k_3 и k_4 в неисправном состоянии S_1 :

$$P_{S_1 k_3 k_4} = \frac{P_{S_1} \cdot P_{kS_{3,1}} \cdot P_{kS_{4,1}}}{P_{S_1} \cdot P_{kS_{3,1}} \cdot P_{kS_{4,1}} + P_{S_2} \cdot P_{kS_{3,2}} \cdot P_{kS_{4,2}}}$$

– вероятность проявления признаков k_3 и k_4 в неисправном состоянии S_2 :

$$P_{S_2 k_3 k_4} = \frac{P_{S_2} \cdot P_{kS_{3,2}} \cdot P_{kS_{4,2}}}{P_{S_1} \cdot P_{kS_{3,1}} \cdot P_{kS_{4,1}} + P_{S_2} \cdot P_{kS_{3,2}} \cdot P_{kS_{4,2}}}$$

– вероятность неоявления k_3 и проявления признака k_4 в неисправном состоянии S_1 :

$$P_{S_1 0k_3 k_4} = \frac{P_{S_1} \cdot P_{0kS_{3,1}} \cdot P_{kS_{4,1}}}{P_{S_1} \cdot P_{0kS_{3,1}} \cdot P_{kS_{4,1}} + P_{S_2} \cdot P_{0kS_{3,2}} \cdot P_{kS_{4,2}}}$$

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

$$P_{S_2 0k_3 k_4} = \frac{P_{S_2} \cdot P_{0kS_{3,2}} \cdot P_{kS_{4,2}}}{P_{S_1} \cdot P_{0kS_{3,1}} \cdot P_{kS_{4,1}} + P_{S_2} \cdot P_{0kS_{3,2}} \cdot P_{kS_{4,2}}}$$

– вероятность проявления k_3 и неоявления признака k_4 в неисправном состоянии S_1 :

$$P_{S_1 k_3 0k_4} = \frac{P_{S_1} \cdot P_{kS_{3,1}} \cdot P_{0kS_{4,1}}}{P_{S_1} \cdot P_{kS_{3,1}} \cdot P_{0kS_{4,1}} + P_{S_2} \cdot P_{kS_{3,1}} \cdot P_{0kS_{4,1}}}$$

– 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:

$$P_{\text{приб}} = 1 - e^{-(3-3_0)^3}, \quad (1)$$

где 3 – затраты средств на обеспечение безопасности; 3_0 – начальные (ранее осуществленные) затраты средств в безопасность.

Зависимости, построенные по формуле (1), приведены на рис. 2. Чем больше уровень предварительных затрат 3_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 3_0 различен по отраслям и видам деятельности.