

функций. Любому произвольному моменту времени t будут соответствовать вероятности отказа системы в интервале от 0 до 1 в зависимости от момента начала отсчета времени. Таким образом, интегральная функция вероятности отказа системы теряет смысл. Оправданным является определение вероятностей отказа системы на определенных отрезках времени τ , значения которых остаются независимыми от начала отсчета времени.

Библиографические ссылки

1. Воробьев В. Г., Константинов В. Д. Надежность и эффективность авиационного оборудования. М. : Транспорт, 1995.
2. Сугак Е. В., Василенко Н. В., Назаров Г. Г. Надежность технических систем. Красноярск : МПП «Раско», 2001.
3. Базовский И. Надежность. Теория и практика : пер. с англ. М. : Мир, 1965.

4. Александровская Л. Н., Аронов Н. З. Безопасность и надежность технических систем. М. : Универс. книга ; Логос, 2008.

5. Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г. Математические модели и методы расчета схемной надежности функциональных систем самолетов ГА // Вестник СибГАУ. Вып. 3(20). 2008. С. 78–82.

6. Бойко О. Г. Правомерность использования интегральных функций распределения вероятности в расчетах надежности // Вестник СибГАУ. Вып. 4(21). 2008. С. 109–111.

7. Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г. Математические модели и методы расчета надежности сложных систем // Вопросы современной науки и практики. 2009. № 8(22). С. 64–72.

8. Авиационные правила : АП-25. Нормы летной годности самолетов. М. : МАК, 1994.

9. ОСТ 1 00132–84. Надежность изделий авиационной техники. Методы количественного анализа безотказности функциональных систем при проектировании самолетов и вертолетов. М. : Изд-во стандартов, 1984.

O. G. Boyko, L. G. Shaimardanov

THE PAPER IS ABOUT INTEGRAL, DIFFERENTIAL BREAKDOWN PROBABILITIES FUNCTION BREAKDOWN PROBABILITY AT A RANDOM TIME PIECE CORRELATION IN COMPLICATED SYSTEMS AND AGGREGATES CALCULATION

The traditional approach to solution the reliability task is viewed from the positions of satisfaction conditions of probabilities multiplying theorem usage, ordinarity and stationarity of systems and aggregates breakdowns stream. The alternative approach to reliability task solution is proposed.

Keywords: breakdown integral function, differential breakdown function, breakdown probability at a piece, reliability study.

© Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г., 2010

УДК 629.7.017.1

В. В. Лукасов

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ВОЗДУШНОМ СУДНЕ В ПОЛЕТЕ

Показана возможность прогнозирования перехода особой ситуации в полете в аварийную с использованием статистического метода теории вероятностей.

Ключевые слова: авиационная техника, экипаж, аварийная ситуация, признак, вероятность появления состояния, вероятность проявления признака.

Анализ инцидентов, авиационных происшествий и катастроф, произошедших с летательными аппаратами (ЛА), показывает, что все они происходят по вине человека или техники. При подготовке и выполнении полета на человека или технику влияют различные факторы, которые в ряде случаев приводят к тяжелым последствиям. Рассмотрим эти факторы.

На авиационную технику влияет качество серийного производства, выполнение требований летной и техни-

ческой эксплуатации, своевременное и полное проведение технического обслуживания и ремонта (ТОиР) и грамотность техники пилотирования.

На экипаж оказывает влияние обученность, регулярность выполнения полетов, качество подготовки к полету, физическое и психологическое состояние членов экипажа.

Выполнение полета можно разделить на этапы, в ходе которых возможны ошибочные действия членов экипа-

жа на взлете, на маршруте, при заходе на посадку, при посадке.

Возникновение аварийных ситуаций возможно на этих этапах и по вине органов управления воздушного движения.

Кроме этого, аварийные ситуации могут возникнуть и в случаях, когда летательный аппарат попадает в сложные метеорологические условия.

Как показывает опыт эксплуатации летательных аппаратов, проявление одного отказа, неисправности или ошибочного действия не приводит к тяжелым последствиям, и только их сочетание или наложение может привести к аварийной ситуации.

За десятки лет эксплуатации был накоплен большой статистический материал, который дает возможность проанализировать, сделать выводы, определить причины, принять меры по предупреждению аналогичных случаев или выполнить своевременные действия, приводящие к выходу из аварийной ситуации. При выполнении полета экипаж заинтересован в возможности самостоятельно определить причину, предвидеть дальнейший ход развития аварийной ситуации и принять единственное правильное решение, т. е. он в любой ситуации должен быть готовым к самостоятельным правильным действиям.

Возможны два варианта развития событий:

– признак или несколько признаков, которые дают полную информацию о состоянии, т. е. явно указывают на неисправность или отказ;

– признак или несколько признаков, по которым трудно однозначно сказать, какой отказ или неисправность возникли; в этом случае невозможно (нельзя) правильно действовать, а значит усугубить аварийную ситуацию. В полете же все решают секунды.

Наиболее часто встречаются аварийные ситуации второго варианта. Именно к этим случаям и предлагается применить методы теории вероятностей. Одним из них является метод Байеса, или теорема гипотез.

Чтобы применить этот метод, необходимо определить независимые случайные величины (для нас это факторы, отрицательно влияющие на выполнение полетного задания), определить закономерные повторения их в количественном значении на основе статистических данных и по формуле Байеса рассчитать вероятность возникновения конкретной аварийной ситуации.

Формула Байеса имеет вид

$$P(S_i / k_j) = P(S_i) \frac{P(k_j / S_i)}{P(k_j)}, \quad (1)$$

где $P(S_i)$ – вероятность появления состояния S_i , определяемая по статистическим данным; $P(k_j / S_i)$ – вероятность проявления признака аварийного состояния k_j у объектов с состоянием S_i ; $P(k_j)$ – вероятность появления признака аварийного состояния k_j во всех объектах независимо от состояния объекта.

Обобщенная формула Байеса относится к случаю, когда обследование проводится по комплексу признаков K , включающему признаки k_1, k_2, \dots, k_v . Каждый из признаков k_j имеет τ_j разрядов ($k_{j1}, k_{j2}, \dots, k_{j\tau_j}, \dots, k_j \tau_j$). В результате обследования становится известной реализация признака

$$K_j^* = k_{j_s}, \quad (2)$$

и всего комплекса признаков K^* (индекс * означает конкретное значение (реализацию) признака). Формула Байеса для комплекса признаков выглядит следующим образом:

$$P(S_i / K^*) = P(S_i) P(K^* / S_i) / P(K^*), \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (3)$$

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

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

Вероятность проявления комплекса признаков K^* определяется по выражению

$$P(K^*) = \sum_{s=1}^n P(S_C) P(K^* / S_C). \quad (4)$$

Для комплекса признаков обобщенная формула Байеса может быть записана в виде

$$P(S_i / K^*) = \frac{P(S_i) P(K^* / S_i)}{\sum_{s=1}^n P(S_C) P(K^* / S_C)}, \quad (5)$$

а

$$\sum_{i=1}^n P(S_i / K^*) = 1, \quad (6)$$

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

Теорема гипотез является основой для применения, но прямое ее использование не дает требуемого результата. Чтобы его достичь, необходимо развить теорему, углубить ее путем преобразования, трансформации обобщенной формулы Байеса, определения условий применения, построения требуемых расчетных математических моделей, составления алгоритма поиска неисправностей.

Раскрывая теорему гипотез, определим *возможные варианты* сочетаний признаков и неисправных состояний:

I – проявление одного признака в одной аварийной ситуации;

II – проявление одного признака в двух аварийных ситуациях;

III – проявление двух признаков в одной аварийной ситуации;

IV – проявление двух признаков в двух аварийных ситуациях;

V – проявление двух признаков в трех аварийных ситуациях;

VI – проявление трех признаков в двух аварийных ситуациях.

В каждом варианте необходимо рассматривать предполагаемые аварийные ситуации с учетом их возможного проявления. Для этого целесообразно определить условия, при которых признаки будут рассматриваться как случаи – I, а неисправные состояния как вариации – II.

Условия предопределяют необходимость выполнения следующих операций.

Выполнение расчета по случаям обозначим:

I а – при одновременном проявлении всех признаков;

И б – при неявном проявлении (непроявлении) первого признака; неявное проявление признака означает, что признак слабо выражен;

И в – при неявном проявлении (непроявлении) второго признака;

И г – при неявном проявлении (непроявлении) обоих признаков.

Рассмотрим в каждом случае вариации (II) для следующих состояний:

II а – для первого рассматриваемого неисправного состояния (S_1);

II б – второго рассматриваемого неисправного состояния (S_2);

II в – третьего рассматриваемого неисправного состояния (S_3).

Эти условия применимы только для того варианта, в котором одновременно имеется два и более признака, две и более аварийной ситуации.

Каждую аварийную ситуацию необходимо рассматривать по всем четырем случаям: I а, I б, I в и I г – проявления или непроявления признаков.

Для удобства и большей наглядности предлагается строить диагностическую матрицу общего вида (см. таблицу), которая состоит из столбцов, где размещены конкретные признаки, а в последнем – вероятности $P(k_j/S_i)$, и строк, в которых содержатся значения вероятности аварийных ситуаций.

Для получения необходимых расчетных зависимостей из обобщенной формулы Байеса используется приведенная таблица.

Рассмотрим получение выражений для наиболее сложного V варианта.

Вариант V – проявление двух признаков (k_1 и k_2) в трех неисправных состояниях (S_1, S_2 и S_3).

Вариант V будем рассматривать в 4-х случаях при проявлении или непроявлении двух признаков, и в 3-х вариациях, т. е. для трех неисправных состояний.

Вариация II а – для первой аварийной ситуации (S_1): для случая I а – одновременное проявление двух признаков (k_1 и k_2) в аварийной ситуации S_1 . Используя обобщенную формулу Байеса (5), получим следующее выражение $P(S_1/k_1k_2)$:

$$P(S_1 / k_1k_2) = \frac{P(S_1)P(k_1 / S_1)P(k_2 / S_1)}{P(S_1)P(k_1 / S_1)P(k_2 / S_1) + P(S_2)P(k_1 / S_2) \times P(k_2 / S_2) + P(S_3)P(k_1 / S_3)P(k_2 / S_3)} \quad (7)$$

В числителе: произведение значения $P(S_i)$ – вероятность появления аварийной i -й ситуации (применительно к рассматриваемому случаю S_1) $P(S_1)$, на значение $P(K^*/S_i)$ – вероятность проявления комплекса признаков (для нашего случая – одновременное проявление признаков k_1 и k_2), в аварийной ситуации (для рассматриваемого случая S_1) – $P(k_1k_2/S_1)$, или $P(k_1/S_1) P(k_2/S_1)$. Исходя из этих обозначений, в числителе получим выражение $P(S_1) P(k_1k_2/S_1)$ или $P(S_1) P(k_1/S_1) P(k_2/S_1)$.

В знаменателе: сумма произведения значения $P(S_c)$ – вероятность появления сочетаний аварийных ситуаций (для рассматриваемого случая S_1, S_2 и S_3 – определяют количество слагаемых), $P(S_1), P(S_2)$ и $P(S_3)$, на значение $P(K^*/S_c)$ – вероятность проявления комплекса признаков (в рассматриваемом случае – одновременное проявление признаков k_1 и k_2), в сочетании аварийных ситуаций (S_1, S_2 и S_3) – $P(k_1/S_1) P(k_2/S_1) + P(k_1/S_2) P(k_2/S_2) + P(k_1/S_3) P(k_2/S_3)$. В результате в знаменателе получаем выражение $P(S_1) P(k_1/S_1) P(k_2/S_1) + P(S_2) P(k_1/S_2) P(k_2/S_2) + P(S_3) P(k_1/S_3) P(k_2/S_3)$.

После сведения рассмотренных выражений получим расчетную зависимость (7).

Аналогичными действиями получены следующие выражения: для случая I б – при неявном проявлении первого признака в аварийной ситуации S_1 – $P(S_1 / \bar{k}_1k_2)$; для случая I в – при неявном проявлении второго признака в аварийной ситуации S_1 – $P(S_1 / k_1\bar{k}_2)$; для случая I г – при неявном проявлении обоих признаков в аварийной ситуации S_1 – $P(S_1 / \bar{k}_1\bar{k}_2)$.

Проделав подобные действия с вариацией II б, получим выражение для второй аварийной ситуации (S_2), и с вариацией II в – для третьей аварийной ситуации (S_3).

Полученные выражения вида (7) представляют собой математическую модель определения аварийной ситуации, которая позволит выработать для каждого случая единственно правильное действие и даст возможность в усложненной обстановке помочь экипажу выйти из этой ситуации с минимальным риском.

Диагностическая матрица общего вида

Аварийные ситуации S_i	Вероятность проявления признака k_j			$P(S_i)$
	по k_1	по k_2	по k_3	
	$P(k_1/S_i)$	$P(k_2/S_i)$	$P(k_3/S_i)$	
S_1	$P(k_1/S_1)$	$P(k_2/S_1)$	$P(k_3/S_1)$	$P(S_1)$
S_2	$P(k_1/S_2)$	$P(k_2/S_2)$	$P(k_3/S_2)$	$P(S_2)$
S_3	$P(k_1/S_3)$	$P(k_2/S_3)$	$P(k_3/S_3)$	$P(S_3)$

V. V. Lukasov

PROGNOSTICATION OF DEVELOPMENT OF EMERGENCY SITUATION ON AN AIR SHIP ON WING

Possibility of prognostication of transition of abnormal case while in flight to an emergency case with the use of statistical method of theory of probability value.

Keywords: aerotechnics, crew, emergency case, indication, state exhibiting probability, indication display probability.

© Лукасов В. В., 2010