

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

КЛАССИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
МЕТОДОМ БАЙЕСА

Методические указания к практическим занятиям

САМАРА 2012

УДК 629.872.3.004.05

Составители Киселёв Юрий Витальевич  
Киселев Денис Юрьевич

Рецензент: к-т. техн. наук, доцент. А.Н.Суслин

**Классификация состояний технических систем методом Байеса** [Текст]: методические указания к практическим занятиям/ Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост. Ю. В. Киселев, Д. Ю. Киселев, - Самара, 2012. – 16 с.

Изложены основы метода Байеса, приведён пример использования этого метода для классификации авиационной техники. Даны варианты заданий для выполнения расчётных работ.

Методические указания предназначены для студентов специальностей и направлений подготовки «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей» и «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов».

Разработаны на кафедре ЭАТ.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)»

## 1. Цель работы

Целью настоящей работы является освоение студентами диагностирования состояния технических систем методом Байеса.

## 2. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть.
2. В соответствии с заданным вариантом произвести расчёты.
3. Произвести оценку и дать заключение об эффективности заданной системы признаков.
4. Подготовить отчёт о выполненной работе.

## 3. Теоретическая часть

Метод Байеса является одним из наиболее простых и мощных методов. Этот метод основан на вычислении условной вероятности появления такого события как диагноз  $D_i$  при появлении конкретной реализации комплекса признаков  $K^*$  [1,2].

Рассмотрим первоначально основные положения этого метода на простейшем случае, когда имеется диагноз  $D_i$  и один бинарный признак  $K_j$ , встречающийся при появлении этого диагноза.

Определим некоторые понятия

1.  $P(D_i)$  - априорная (до опытная) вероятность появления диагноза  $D_i$ . Эту вероятность определяют по статистическим данным на начальном этапе применения метода исходя из следующих соображений. Если при обследовании  $N$  объектов диагноза установлено, что из них  $N_i$  имеют диагноз  $D_i$ , то вероятность появления этого диагноза определяется соотношением

$$P(D_i) = \frac{N_i}{N}.$$

2.  $P(K_j/D_i)$  - априорная условная вероятность появления признака  $K_j$  у объектов имеющих техническое состояние (диагноз)  $D_i$ . Эта вероятность так же определяется на начальном этапе по имеющимся статистическим данным. Если из  $N$  обследованных объектов  $N_{ij}$  находилось в диагнозе  $D_i$ , а из них  $N_{ij}$  объектов имели

признак  $K_j$ , то условная вероятность появления признака  $K_j$  у объектов с диагнозом  $D_i$  вычисляется следующим образом

$$P(K_j / D_i) = \frac{N_{ji}}{N_i}$$

3.  $P(K_j)$  - априорная вероятность появления признака  $K_j$  у всех объектов независимо от их состояния. То есть, если из  $N$  объектов независимо от их технического состояния у  $N_j$  был обнаружен признак  $K_j$ , то эта вероятность определяется следующим соотношением

$$P(K_j) = \frac{N_j}{N}$$

Напомним некоторые положения теории вероятностей. Пусть мы имеем два события  $A$  и  $B$ . Известны вероятности появления этих событий  $P(A)$  и  $P(B)$ , а также условная вероятность появления события  $A$  при уже состоявшемся событии  $B$   $P(A/B)$  и условная вероятность появления события  $B$  при уже состоявшемся событии  $A$   $P(B/A)$ . Тогда вероятность одновременного появления событий  $A$  и  $B$   $P(A,B)$  определяется следующей формулой

$$P(A,B) = P(A) P(B/A) = P(B) P(A/B).$$

Воспользовавшись этой формулой и данными выше понятиями можно записать вероятность одновременного появления диагноза  $D_i$  и признака  $K_j$  следующим образом

$$P(D_i, K_j) = P(D_i) P(K_j/D_i) = P(K_j) P(D_i/K_j).$$

В этом выражении величина  $P(D_i/K_j)$  - это условная вероятность существования диагноза  $D_i$  при обнаружении признака  $K_j$ , то есть это та величина, которая ищется при вероятностном подходе к решению задачи распознавания диагнозов. После соответствующих преобразований из последнего выражения получим формулу Байеса

$$P(D_i/K_j) = \{P(D_i) P(K_j/D_i)\} / P(K_j). \quad (1)$$

Формула (1) получена для случая, когда при постановке диагноза используется один простой признак.

Для принятия решения о диагнозе при использовании набора (комплекса) признаков применяется *обобщенная формула Байеса*, которую можно получить из следующих соображений. Если диагностирование проводится по комплексу признаков, то в

результате обследования мы получаем конкретную реализацию каждого  $j$ -того признака  $K_j^*$  и, следовательно, конкретную реализацию комплекса признаков  $K^*$  в целом. В этом случае формула Байеса предстанет в виде:

$$P(D_i / K^*) = P(D_i) \frac{P(K^* / D_i)}{P(K^*)} \quad (2)$$

где  $P(D_i / K^*)$  - условная вероятность нахождения объекта диагностики в диагнозе  $D_i$  при условии, что в ходе обследования была получена реализация  $K^*$  комплекса признаков  $K$ ;  $P(K^*)$  - вероятность появления конкретной реализации  $K^*$  комплекса признаков  $K$  у всех диагностируемых объектов, независимо от их технического состояния;  $P(K^* / D_i)$  - условная вероятность появления конкретной реализации  $K^*$  комплекса диагностических признаков  $K$  для объектов, находящихся в диагнозе  $D_i$ .

Преобразуем последние выражения с учетом следующих соображений.

Примем, что система может находиться только в одном из  $n$  технических состояний, тогда

$$\sum_{i=1}^n P(D_i) = 1$$

Будем считать, что отдельные диагностические признаки, входящие в состав комплекса признаков, независимы. Такое допущение вполне справедливо для реальных условий при большом числе влияющих факторов. Тогда условную вероятность  $P(K^* / D_i)$  в соответствии с известными положениями теории вероятностей можно представить как произведение

$$\begin{aligned} P(K^* / D_i) &= P(K_1^* / D_i) P(K_2^* / D_i) \dots P(K_j^* / D_i) \dots P(K_l^* / D_i) = \\ &= \prod_{j=1}^l P(K_j^* / D_i) \end{aligned}$$

где  $P(K_j^* / D_i)$  - условная вероятность появления конкретной реализации  $K_j^*$   $j$ -того признака при нахождении объекта диагностики в диагнозе  $D_i$ ;  $j = 1 \dots l$ .

Вероятность же появления конкретной реализации комплекса признаков при нахождении объекта во всех диагнозах  $P(K^*)$  можно представить следующим образом

$$P(K^*) = \sum_{i=1}^n P(D_i)P(K^* / D_i) = \sum_{i=1}^n P(D_i) \prod_{j=1}^l P(K_j^* / D_i).$$

С учетом последних соотношений уравнение (2) перепишем в окончательном виде

$$P(D_i / K^*) = \frac{P(D_i) \prod_{j=1}^l P(K_j^* / D_i)}{\sum_{i=1}^n P(D_i) \prod_{j=1}^l P(K_j^* / D_i)} \quad (3)$$

Полученное уравнение называется *обобщённой формулой Байеса*.

В большинстве практических задач, особенно при большом числе признаков, можно принимать условие независимости признаков даже при наличии существенных корреляционных связей между ними и тогда

$$P(K^* / D_i) = P(K_1^* / D_i)P(K_2^* / D_i) \dots P(K_l^* / D_i) \quad (4)$$

Для определения вероятности диагноза по методу Байеса составляется исходная диагностическая матрица (табл. 1.1), которая формируется на основе предварительного статистического материала. В этой таблице содержатся вероятности появления  $s$ -тых разрядов  $j$ -тых признаков при различных диагнозах  $D_i$  -  $P(K_{js}/D_i)$ . Если признаки двухразрядные (простые признаки "да-нет"), то в табл. 1.1 достаточно указать вероятность появления признака  $P(K_j/D_i)$ . Вероятность отсутствия признака

$$P(\bar{K}_j / D_i) = 1 - P(K_j / D_i) \quad (5)$$

Сумма вероятностей всех реализаций признака  $K_j$  равна единице

$$\sum_{s=1}^{m_j} P(K_{js} / D_i) = 1, 0.$$

При методе Байеса используется следующее правило: объект с комплексом признаков  $K^*$  относится к тому диагнозу (классу),

который имеет наибольшую вероятность. То есть выбирается такой диагноз, у которого  $P(D_i/K^*) > P(D_j/K^*)$ , при  $j = 1, 2, \dots, l; i \neq j$ . При двух разрядных признаках  $K_1$  и  $K_2$  диагностическая матрица будет выглядеть следующим образом:

Таблица 1.1

Диагностическая матрица

Диагнозы $D_i$	Признаки				$P(D_i)$
	$K_1$		$K_2$		
	$P(K_{11}/D_i)$	$P(K_{12}/D_i)$	$P(K_{21}/D_i)$	$P(K_{22}/D_i)$	
$D_1$					
...					
...					
...					
$D_n$					

#### 4. Пример

При наблюдении за газотурбинными двигателями проверяются два признака:  $K_1$  - повышение температуры газа за турбиной более чем на  $50^\circ\text{C}$  и  $K_2$  - увеличение времени выхода на максимальную частоту вращения более чем на 5 с. Появление этих признаков связано либо с неисправностью топливного регулятора (состояние  $D_1$ ), либо с увеличением радиального зазора в турбине (состояние  $D_2$ ). Общее число обследованных двигателей  $N = 200$ . Известно, что из этих 200 двигателей число двигателей отработавших свой ресурс в исправном состоянии (диагноз  $D_3$ )  $N_3 = 146$ , число двигателей имевших неисправность топливного регулятора (диагноз  $D_1$ )  $N_1 = 12$ , число двигателей имевших увеличенный радиальный зазор в турбине (диагноз  $D_2$ )  $N_2 = 34$ .

При нормальном состоянии двигателя (диагноз  $D_3$ ) признак  $K_1$  не наблюдался ( $N_{13} = 0$ ), а признак  $K_2$  наблюдался у 6 двигателей ( $N_{23} = 6$ ). В состоянии  $D_1$  признак  $K_1$  встречался у 2 двигателей ( $N_{11} = 2$ ), а признак  $K_2$  - у 4 двигателей ( $N_{21} = 4$ ). В состоянии  $D_2$  признак  $K_1$  встречался у 13 двигателей ( $N_{12} = 13$ ), а признак  $K_2$  - у 17 двигателей ( $N_{22} = 17$ ).

Требуется составить решающее правило определения состояния двигателя (постановки диагноза) при возможных сочетаниях проверяемых признаков.

1. Определим априорные вероятности диагнозов  $P(D_i)$  и априорные условные вероятности появления признаков при нахождении двигателя в одном из диагнозов  $P(K_j/D_i)$ . В нашем случае  $i=3, j=2$ .

$$P(D_1) = \frac{N_1}{N} = \frac{12}{200} = 0,06; P(D_2) = \frac{N_2}{N} = \frac{34}{200} = 0,17;$$

$$P(D_3) = \frac{N_3}{N} = \frac{146}{200} = 0,73.$$

$$P(K_1/D_1) = \frac{N_{11}}{N_1} = \frac{2}{12} = 0,17; P(K_2/D_1) = \frac{N_{21}}{N_1} = \frac{4}{12} = 0,33;$$

$$P(K_1/D_2) = \frac{N_{12}}{N_2} = \frac{13}{34} = 0,38; P(K_2/D_2) = \frac{N_{22}}{N_2} = \frac{17}{34} = 0,5;$$

$$P(K_1/D_3) = \frac{N_{13}}{N_3} = \frac{0}{146} = 0; P(K_2/D_3) = \frac{N_{23}}{N_3} = \frac{6}{146} = 0,4.$$

2. Сведем исходные данные в диагностическую таблицу (табл. 1.2). При этом вероятности отсутствия признаков  $P(\bar{K}_j/D_i)$  вычислим по формуле (5).

Таблица 1.2

Вероятности признаков и априорные вероятности состояний

$D_i$	$P(K_1/D_i)$	$P(\bar{K}_1/D_i)$	$P(K_2/D_i)$	$P(\bar{K}_2/D_i)$	$P(D_i)$
$D_1$	0,17	0,83	0,33	0,67	0,06
$D_2$	0,38	0,62	0,5	0,5	0,17
$D_3$	0,0	1,0	0,04	0,96	0,73

3. Найдём вероятности нахождения двигателя в различных состояниях, когда обнаружены оба признака  $P(D_i/K_1K_2)$ . Считая признаки независимыми, применим формулы (3) и (4). Вероятность состояния  $D_1$  при наличии признаков  $K_1$  и  $K_2$ :

$$P(D_1 / K_1 K_2) = \frac{P(D_1) \cdot P(K_1 / D_1) \cdot P(K_2 / D_1)}{P(D_1) \cdot P(K_1 / D_1) \cdot P(K_2 / D_1) +$$

$$+ P(D_2) \cdot P(K_1 / D_2) \cdot P(K_2 / D_2) + P(D_3) \cdot P(K_1 / D_3) \cdot P(K_2 / D_3)}$$

$$= \frac{0,06 \cdot 0,17 \cdot 0,33}{0,06 \cdot 0,17 \cdot 0,33 + 0,17 \cdot 0,38 \cdot 0,05 + 0,73 \cdot 0,04 \cdot 0} = 0,095.$$

Аналогично получим  $P(D_2 / K_1 K_2) 0,905$ ;  $P(D_3 / K_1 K_2) 0$ .

4. Определим вероятности состояний двигателя, если обследование показало, что повышение температуры не наблюдается (признак  $K_1$  отсутствует), но увеличивается время выхода на максимальную частоту вращения (признак  $K_2$  наблюдается). Используем те же формулы (3) и (4):

$$P(D_1 / \bar{K}_1 K_2) = \frac{P(D_1) \cdot P(\bar{K}_1 / D_1) \cdot P(K_2 / D_1)}{P(D_1) \cdot P(\bar{K}_1 / D_1) \cdot P(K_2 / D_1) +$$

$$+ P(D_2) \cdot P(\bar{K}_1 / D_2) \cdot P(K_2 / D_2) + P(D_3) \cdot P(\bar{K}_1 / D_3) \cdot P(K_2 / D_3)}$$

$$= \frac{0,06 \cdot 0,83 \cdot 0,33}{0,06 \cdot 0,83 \cdot 0,33 + 0,17 \cdot 0,62 \cdot 0,5 + 0,73 \cdot 1 \cdot 0,04} = 0,167.$$

Аналогично получим  $P(D_2 / \bar{K}_1 K_2) 0,536$ ;  $P(D_3 / \bar{K}_1 K_2) 0,297$ .

5. Вычислим вероятности состояний, когда признак  $K_1$  наблюдается, а признак  $K_2$  — отсутствует

$$P(D_1 / K_1 \bar{K}_2) = \frac{P(D_1) \cdot P(K_1 / D_1) \cdot P(\bar{K}_2 / D_1)}{P(D_1) \cdot P(K_1 / D_1) \cdot P(\bar{K}_2 / D_1) +$$

$$+ P(D_2) \cdot P(K_1 / D_2) \cdot P(\bar{K}_2 / D_2) + P(D_3) \cdot P(K_1 / D_3) \cdot P(\bar{K}_2 / D_3)}$$

$$= \frac{0,06 \cdot 0,17 \cdot 0,67}{0,06 \cdot 0,17 \cdot 0,67 + 0,17 \cdot 0,38 \cdot 0,5 + 0,73 \cdot 0 \cdot 0,96} = 0,175.$$

Соответственно  $P(D_2 / K_1 \bar{K}_2) 0,825$ ;  $P(D_3 / K_1 \bar{K}_2) 0,0$ .

6. Для случая, когда не наблюдаются оба признака:

$$P(D_1/\bar{K}_1 \bar{K}_2)=0,04; P(D_2/\bar{K}_1 \bar{K}_2)=0,07; P(D_3/\bar{K}_1 \bar{K}_2)=0,89.$$

Сведём результаты в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Результаты диагноза

$D_i$	$P(D_i/K_1 K_2)$	$P(D_i/\bar{K}_1 K_2)$	$P(D_i/K_1 \bar{K}_2)$	$P(D_i/\bar{K}_1 \bar{K}_2)$
$D_1$	0,10	0,17	0,18	0,04
$D_2$	0,90	0,54	0,82	0,07
$D_3$	0,00	0,29	0,00	0,89

7. Анализ полученных результатов позволяет составить следующие правила определения диагноза, в котором находится двигатель при обнаружении в ходе обследования различных сочетаний признаков  $K_1$  и  $K_2$ :

- При обнаружении обоих признаков  $K_1$  и  $K_2$  (наблюдается повышенная температура газов и увеличенное время выхода на максимальную частоту вращения) двигатель находится в диагнозе  $D_2$  (т.е. в турбине имеется увеличенный радиальный зазор);
- При отсутствии обоих признаков наиболее вероятно нормальное состояние (вероятность 0,89);
- При наблюдении только признака  $K_1$  (повышенная температура газов) двигатель находится в диагнозе  $D_2$  (т.е. в турбине имеется увеличенный радиальный зазор);
- При наблюдении только признака  $K_2$  однозначно дать ответ о техническом состоянии двигателя нельзя, требуется проведение дополнительных обследований.

## 5. Задания на выполнение расчётной работы

### Общая постановка задачи

При техническом диагностировании объекта фиксируются два признака  $K_1$  и  $K_2$ . Появление этих признаков связано с неисправными состояниями объекта (диагнозы  $D_1$  и  $D_2$ ). В исправном состоянии (диагноз  $D_3$ ) признак  $K_1$  наблюдается в  $N_{13}$  случаях, а признак  $K_2$  – в  $N_{23}$  случаях. В неисправном состоянии  $D_1$  признак  $K_1$  наблюдается в  $N_{11}$  случаях, а признак  $K_2$  – в  $N_{21}$  случаях. В неисправном состоянии  $D_2$  признак  $K_1$  наблюдается в  $N_{12}$  случаях, а признак  $K_2$  – в  $N_{22}$  случаях. Известно, что  $N_3$  объектов отрабатывают свой ресурс в исправном состоянии,  $N_1$  объектов имеют после отработки ресурса состояние  $D_1$  и  $N_2$  объектов – состояние  $D_2$ . Общее количество наблюдаемых объектов  $N = 200$ .

Требуется составить решающее правило определения состояния двигателя (постановки диагноза) при возможных сочетаниях проверяемых признаков.

Варианты заданий приведены в таблицах 2.1 : 2.11.

### Варианты 00 – 09 исходных данных

Объект – маслосистема газотурбинного двигателя.

Признаки:  $K_1$  – повышенное давление масла в нагнетающей магистрали ( $>3$  кг/см<sup>2</sup>);

$K_2$  – увеличенный расход масла в системе суфлирования ( $>3$  кг/ч).

Состояния:  $D_1$  – неисправное состояние маслососа откачки;

$D_2$  – закоксовывание масляных форсунок;

$D_3$  – исправное состояние.

Таблица 2.1

	Варианты									
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
$N_{11}$	5	5	4	4	6	4	4	3	5	9
$N_{21}$	19	17	14	12	14	10	8	7	10	16
$N_{12}$	5	7	4	6	20	27	11	17	10	11
$N_{22}$	3	5	2	3	9	11	4	5	3	3
$N_{13}$	5	0	7	0	3	6	0	8	6	0
$N_{23}$	0	8	0	6	0	0	7	0	0	4
$N_1$	48	44	36	32	40	28	24	20	30	50
$N_2$	20	28	16	20	70	90	34	52	30	32

N <sub>3</sub>	132	128	148	148	90	82	142	128	140	118
----------------	-----	-----	-----	-----	----	----	-----	-----	-----	-----

### Варианты 10 – 19 исходных данных

Объект – авиационный двигатель.

Признаки: K<sub>1</sub> – помпаж двигателя;

K<sub>2</sub> – повышенный расход топлива (>0,9 кг<sub>топлива</sub>/кг<sub>тяги</sub> в час).

Состояния: D<sub>1</sub> – повреждение лопаток проточного тракта;

D<sub>2</sub> – нарушение регулировки топливной аппаратуры;

D<sub>3</sub> – исправное состояние.

Таблица 2.2

	Варианты									
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
N <sub>11</sub>	6	2	3	4	2	6	4	3	8	3
N <sub>21</sub>	11	3	4	7	4	8	5	4	10	4
N <sub>12</sub>	5	11	17	15	4	23	10	15	5	16
N <sub>22</sub>	3	8	10	9	2	12	5	7	2	6
N <sub>13</sub>	8	7	9	4	0	6	0	5	6	0
N <sub>23</sub>	0	0	0	0	7	0	8	0	0	5
N <sub>1</sub>	30	8	12	18	10	24	14	12	30	10
N <sub>2</sub>	12	28	40	34	10	50	22	32	10	32
N <sub>3</sub>	158	164	148	148	180	126	164	156	160	158

### Варианты 20 – 29 исходных данных

Объект – зубчатое соединение в коробке приводов ГТД.

Признаки: K<sub>1</sub> – посторонний шум в коробке приводов;

K<sub>2</sub> – металлическая стружка в магистрали откачки масла.

Состояния: D<sub>1</sub> – нарушение условий смазки шестерен;

D<sub>2</sub> – износ и поломка отдельных зубьев шестерен;

D<sub>3</sub> – исправное состояние.

Таблица 2.3

	Варианты									
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
N <sub>11</sub>	3	4	4	3	3	2	1	2	1	1
N <sub>21</sub>	10	10	11	11	10	7	7	14	11	11
N <sub>12</sub>	1	2	2	2	1	3	4	4	4	5
N <sub>22</sub>	1	1	1	1	1	2	2	1	3	4
N <sub>13</sub>	0	6	0	4	0	8	0	4	0	0
N <sub>23</sub>	10	0	6	0	6	0	8	0	7	4
N <sub>1</sub>	30	38	44	40	36	24	22	44	34	32

N <sub>2</sub>	4	8	10	12	6	14	18	16	20	22
N <sub>3</sub>	166	154	146	148	158	162	160	140	146	146

### Варианты 30 – 39 исходных данных

Объект – подшипник качения ГТД.

Признаки: K<sub>1</sub> – сокращённый выбег ротора двигателя (<30 с);

K<sub>2</sub> – увеличенная вибрация двигателя.

Состояния: D<sub>1</sub> – заклинивание тел качения подшипника.

D<sub>2</sub> – касание ротора о корпус из-за раскатки наружной обоймы;

D<sub>3</sub> – исправное состояние.

Таблица 2.4

	Варианты									
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
N <sub>11</sub>	12	15	19	7	11	8	9	6	11	11
N <sub>21</sub>	3	5	7	3	5	4	5	3	7	8
N <sub>12</sub>	10	18	10	12	14	11	7	17	17	15
N <sub>22</sub>	3	6	3	2	5	4	2	7	7	8
N <sub>13</sub>	9	6	0	8	0	7	0	0	8	7
N <sub>23</sub>	0	0	4	0	7	0	8	9	0	0
N <sub>1</sub>	30	40	50	20	32	24	28	18	36	38
N <sub>2</sub>	42	68	40	40	46	36	22	52	50	52
N <sub>3</sub>	128	92	110	140	122	140	150	130	114	110

### Варианты 40 – 49 исходных данных

Объект – авиационный газотурбинный двигатель.

Признаки: K<sub>1</sub> – колебание температуры газа за турбиной;

K<sub>2</sub> – колебания частоты вращения ротора.

Состояния: D<sub>1</sub> – неисправность топливного регулятора;

D<sub>2</sub> – увеличение радиального зазора в турбине;

D<sub>3</sub> – исправное состояние.

Таблица 2.5

	Варианты									
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
N <sub>11</sub>	4	5	4	4	3	4	4	4	5	5
N <sub>21</sub>	1	3	1	2	2	2	1	1	2	2
N <sub>12</sub>	4	2	1	6	4	3	3	2	2	1
N <sub>22</sub>	2	8	3	19	14	10	10	9	6	3
N <sub>13</sub>	0	16	0	0	10	8	0	10	13	0
N <sub>23</sub>	9	0	13	8	0	0	8	0	0	11

N <sub>1</sub>	10	12	10	10	8	10	8	8	10	10
N <sub>2</sub>	42	26	8	52	46	30	22	18	10	8
N <sub>3</sub>	148	162	182	138	146	160	170	174	180	182

### Варианты 50 – 59 исходных данных

Объект – ГТД.

Признаки: К<sub>1</sub> – вибрация передней опоры в полёте;  
К<sub>2</sub> – вибрация задней опоры в полёте.

Состояния: D<sub>1</sub> – нарушение смазки подшипников ротора;  
D<sub>2</sub> – нарушение балансировки ротора;  
D<sub>3</sub> – исправное состояние.

Таблица 2.6

	Варианты									
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
N <sub>11</sub>	2	2	2	1	3	3	2	1	2	3
N <sub>21</sub>	2	2	3	4	2	2	4	3	3	4
N <sub>12</sub>	10	8	6	7	7	3	3	2	2	10
N <sub>22</sub>	12	15	16	10	15	2	1	4	4	18
N <sub>13</sub>	0	13	0	13	14	9	0	11	13	0
N <sub>23</sub>	10	0	11	0	0	0	13	0	0	13
N <sub>1</sub>	10	8	10	10	8	10	8	8	10	10
N <sub>2</sub>	30	28	34	32	20	8	2	6	8	28
N <sub>3</sub>	160	164	156	158	172	182	190	186	182	162

### Варианты 60 – 69 исходных данных

Объект – авиационный ГТД.

Признаки: К<sub>1</sub> – нарушение регулировки топливного насоса;  
К<sub>2</sub> – засорении каналов и жиклёров командного топлива.

Состояния: D<sub>1</sub> – падение тяги двигателя;  
D<sub>2</sub> – невыход двигателя на заданный режим;  
D<sub>3</sub> – исправное состояние двигателя.

Таблица 2.7

	Варианты									
	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
N <sub>11</sub>	1	2	1	1	4	3	1	1	1	2
N <sub>21</sub>	1	3	1	1	1	2	3	1	1	2
N <sub>12</sub>	4	6	6	3	19	4	6	11	21	38
N <sub>22</sub>	6	8	7	4	23	4	7	20	29	36
N <sub>13</sub>	0	5	4	0	4	0	5	5	0	3

N <sub>23</sub>	6	0	0	6	0	5	0	0	6	0
N <sub>1</sub>	2	6	4	2	28	8	10	2	4	6
N <sub>2</sub>	8	14	10	12	32	10	12	26	48	64
N <sub>3</sub>	190	180	186	186	146	182	178	172	148	130

### Варианты 70 – 79 исходных данных

Объект – насос гидросистемы самолёта.

Признаки: K<sub>1</sub> – течь масла из штуцера дренажной линии;  
K<sub>2</sub> – повышенные вибрации корпуса насоса.

Состояния: D<sub>1</sub> – износ подшипников ;

D<sub>2</sub> – износ или разрушение сальника приводного валика;

D<sub>3</sub> – исправное состояние двигателя.

Таблица 2.8

	Варианты									
	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
N <sub>11</sub>	2	2	2	2	4	2	2	1	1	1
N <sub>21</sub>	5	5	4	3	5	8	7	4	4	3
N <sub>12</sub>	12	3	5	5	5	4	3	2	6	5
N <sub>22</sub>	3	1	1	1	2	2	1	1	2	2
N <sub>13</sub>	0	9	7	0	7	0	9	5	0	7
N <sub>23</sub>	6	0	0	9	0	8	0	0	7	0
N <sub>1</sub>	16	18	14	12	22	28	24	14	16	12
N <sub>2</sub>	28	8	10	6	12	10	6	4	12	10
N <sub>3</sub>	156	174	176	182	166	162	170	182	172	178

### Варианты 80 – 89 исходных данных

Объект – аксиально-поршневые гидронасосы.

Признаки: K<sub>1</sub> – течь из дренажного штуцера при работе насоса ;  
K<sub>2</sub> – течь и из дренажного штуцера при неработающем насосе.

Состояния: D<sub>1</sub> – повреждение манжетного уплотнения вала;

D<sub>2</sub> – повреждение уплотнительных колец;

D<sub>3</sub> – исправное состояние.

Таблица 2.9

	Варианты									
	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
N <sub>11</sub>	2	4	2	5	4	2	2	8	11	2
N <sub>21</sub>	1	5	4	12	6	4	10	4	4	6
N <sub>12</sub>	18	10	9	16	18	1	3	2	2	8
N <sub>22</sub>	20	11	5	12	10	1	3	4	6	3

N <sub>13</sub>	9	0	7	15	22	0	9	9	0	7
N <sub>23</sub>	0	13	0	0	0	9	0	0	7	0
N <sub>1</sub>	6	18	10	30	20	10	20	10	16	18
N <sub>2</sub>	24	20	10	20	27	0	0	18	20	10
N <sub>3</sub>	170	162	180	150	156	190	180	172	164	168

### Варианты 90 – 99 исходных данных

Объект – газотурбинный двигатель.

Признаки: K<sub>1</sub> – увеличение уровня вибрации в полете;

K<sub>2</sub> – нестабильные показания давления масла в маслосистеме.

Состояния: D<sub>1</sub> – нарушение смазки подшипников ротора;

D<sub>2</sub> – нарушение балансировки ротора;

D<sub>3</sub> – исправное состояние.

Таблица 2.10

	Варианты									
	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
N <sub>11</sub>	2	2	2	2	4	2	2	1	1	1
N <sub>21</sub>	5	5	4	3	5	8	7	4	4	3
N <sub>12</sub>	4	6	6	3	19	4	6	11	21	38
N <sub>22</sub>	6	8	7	4	23	4	7	20	29	36
N <sub>13</sub>	10	0	8	7	0	13	0	9	0	6
N <sub>23</sub>	0	14	0	0	10	0	12	0	7	0
N <sub>1</sub>	16	18	14	12	22	28	24	14	16	12
N <sub>2</sub>	8	14	10	12	32	10	12	26	48	64
N <sub>3</sub>	176	168	176	176	146	162	164	160	136	124

### Варианты 100 – 109 исходных данных

Объект – топливная система самолёта.

Признаки: K<sub>1</sub> – завышенное показание расходомера;

K<sub>2</sub> – заниженное показание расходомера.

Состояния: D<sub>1</sub> – попадание влаги в штексельный разъём;

D<sub>2</sub> – не отрегулированы «0» и «max» шкалы;

D<sub>3</sub> – исправное состояние расходомера.

Таблица 2.11

	Варианты									
	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
N <sub>11</sub>	3	8	6	9	5	3	7	1	7	15
N <sub>21</sub>	1	3	2	4	2	1	2	1	1	6
N <sub>12</sub>	5	4	6	3	6	2	3	9	6	3

$N_{22}$	2	2	2	2	4	1	2	5	4	1
$N_{13}$	10	0	8	7	0	13	0	9	0	6
$N_{23}$	0	14	0	0	10	0	12	0	7	0
$N_1$	6	16	14	20	12	8	16	2	14	30
$N_2$	14	12	20	10	18	6	8	22	16	8
$N_3$	180	172	166	170	170	186	176	176	170	162

## **Список использованной литературы**

1. Биргер И.А. Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 204 с.
2. Пивоваров В.А. Повреждаемость и диагностирование авиационных конструкций. М.: Транспорт, 1995. 207 с.

*Учебное издание*

КЛАССИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
МЕТОДОМ БАЙЕСА

Методические указания

Составители: Юрий Витальевич Киселёв  
Денис Юрьевич Киселев

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего профессионального образования  
«Самарский государственный аэрокосмический  
университет имени академика С.П. Королева  
(национальный исследовательский университет)»  
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.