

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Двигатели внутреннего сгорания»

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА АВТОТРАКТОРНЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ

Методические указания к практическим работам
для студентов специальности 1-37 01 01
«Двигатели внутреннего сгорания»

М и н с к 2 0 0 5

УДК 621.431.73.004.58 (075.8)

ББК 39.359я7

Т 38

Методические указания к практическим работам по дисциплине «Техническая диагностика автотракторных двигателей» для студентов специальности 1–37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» содержат вероятностно-статистические методы распознавания состояния технических объектов, известные в технической диагностике, и применение их к поршневым двигателям: метод Байеса, метод минимального риска, метод Неймана-Пирсона, метод определения диагностических весов для многозначных признаков.

Составитель В.А.Бармин

Рецензенты:

Л.А.Молибошко, Ю.В.Климов

© БНТУ, 2005

В в е д е н и е

Поршневые двигатели, автомобильные, тракторные, стационарные и транспортные дизели имеют широкое применение. Эксплуатация автомобильных и тракторных двигателей носит массовый характер. Определение технического состояния двигателя без разборки позволяет повысить его надёжность и улучшить техническое обслуживание. Следует учесть, что трудоёмкость ремонта двигателей массового производства превосходит трудоёмкость изготовления в 5 – 10 раз. Проведение профилактических работ и ремонта «по состоянию» даёт значительный экономический эффект.

Современная диагностическая аппаратура, существующая и разрабатываемая в последнее время, базирующаяся на последних достижениях науки и техники, позволяет с достаточной степенью точности определять значения диагностических параметров и на их основании оценивать техническое состояние двигателей внутреннего сгорания. При этом значительную роль играет статистическая информация, полученная в процессе эксплуатации двигателей. Разработанные теоретические методы распознавания в технической диагностике и теории информации позволяют путём обработки этой информации ставить точный диагноз по известным диагностическим параметрам и признакам.

В данной методической разработке приводятся статистический метод распознавания Байеса, методы статистических решений для одного диагностического параметра «метод минимального риска» и метод Неймана-Пирсона, метод определения диагностических весов для сложных m -разрядных признаков. Применение этих методов в практике эксплуатации двигателей позволяет значительно упростить процедуру постановки диагноза при возникновении неисправности в двигателе, а также сократить время на поиск места и причины этой неисправности. Кроме того, позволяет прогнозировать ресурс двигателя.

Рассматриваются алгоритмы реализации методов в виде примеров, а также варианты в приложении для расчётов по этим методам. Приведенные алгоритмы позволяют составлять программы и проводить расчеты на компьютере.

Практическая работа заканчивается оформлением отчёта, в котором отражаются цель работы, теоретические сведения о методе диагностирования и методические указания по выполнению расчетов.

Издание предназначено для использования на практических занятиях по дисциплине «Техническая диагностика автотракторных двигателей» студентами специальности «Двигатели внутреннего сгорания». Она может использоваться для студентов других технических специальностей, где применяются указанные методы для диагностирования технических систем.

Практическая работа № 1

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ БАЙЕСА

Цель работы

Знакомство с вероятностно - статистическим методом распознавания Байеса и применение его при обработке статистической информации, связанной с постановкой диагноза по проявляемым признакам при диагностировании двигателя.

Краткие теоретические сведения

Распознавание состояний осуществляют путем классификации, т. е. объект (систему) относят к определенному классу заранее известных диагнозов по комплексу проявляемых диагностических признаков.

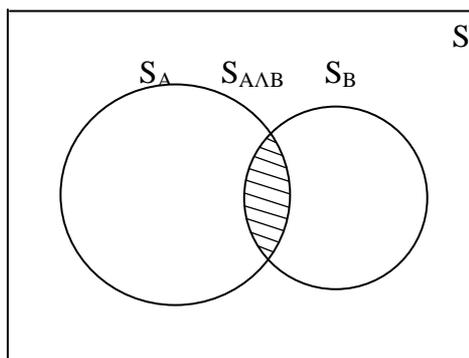
Если имеется возможность собрать большой объем информации о связях признаков с состояниями и о частоте

проявления этих состояний, то наиболее надежным и эффективным методом распознавания является метод Байеса.

Метод основан на следующем подходе: если имеется диагноз D_i и простой признак K_j , встречающийся при этом диагнозе, то вероятность совместного появления события выражается

$$P(D_i K_j) = P(D_i) P(K_j / D_i). \quad (1.1)$$

Геометрическая интерпретация метода состоит в следующем. Предположим, что имеется две мишени, показанные на рисунке.



Мишень А – система состояний, мишень В – система признаков. Соответственно площади этих мишеней выражаются S_A и S_B . При выстрелах по мишеням вероятность одновременного попадания в мишени А и В определяется

$$P(A \cap B) = S_{A \cap B} / S, \quad (1.2)$$

где $S_{A \cap B}$ – площадь перекрытия мишеней;

S – общая площадь поля (летающая пуля может с одинаковой вероятностью попасть в любую точку поля).

Разделив и умножив правую часть предыдущего равенства на величину S_A , получим

$$P(A \cap B) = \frac{S_{A \cap B}}{S_A} \cdot \frac{S_A}{S}.$$

Обозначим $\frac{S_A}{S} = P(A)$. Второе отношение площадей обозначим

$$\frac{S_{A \cap B}}{S_A} = P(B/A).$$

В отличие от равенства (1.2) совместная площадь $S_{A \cap B}$ областей A и B , благоприятная для одновременного появления событий A и B , относится не ко всей площади S , а только к S_A , где обязательно реализуется событие A . Это означает, что разброс попаданий при стрельбе ограничивается площадью S_A , где событие A обязательно происходит, а событие B может происходить или не происходить. Вероятность события B определяется как

$$P(B/A) = S_{A \cap B} / S_A.$$

Используя полученные соотношения, находим, что вероятность совместного появления событий:

$$P(AB) = P(A)P(B/A) \text{ (знак конъюнкции } \wedge \text{ обычно опускается).}$$

Подобным образом (разделив и умножив правую часть на площадь S_B) получим

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

Возвращаясь к уравнению (1.1), дополним его с учётом полученных соотношений

$$P(D_i | K_j) = P(D_i)P(K_j/D_i) = P(K_{js})P(D_i/K_j).$$

Отсюда вытекает формула Байеса

$$P(D_i | K_j) = [P(D_i) P(K_j/D_i)] / P(K_{js}),$$

где $P(D_i)$ – априорная вероятность диагноза D_i (определяется по статистическим данным);

$P(K_j/D_i)$ – вероятность появления признака K_j у объектов с состоянием D_i ;

$P(K_{js})$ – вероятность появления признака K_j во всех объектах независимо от их состояния, если из общего числа N объектов признак K_j проявился у N_j объектов, то

$$P(K_{js}) = N_j / N = \sum_i P(D_i) P(K_j/D_i),$$

где $P(K_j/D_i)$ – вероятность диагноза D_i после того, как стало известно наличие у рассматриваемого объекта признака K_j (апостериорная вероятность диагноза).

Пример использования метода Байеса

Для практического использования метода Байеса необходимо составить исходную диагностическую табл. 1.1.

Т а б л и ц а 1.1

Состояние	Вероятности проявления признаков				
	$P(K_1/D_i)$	$P(\bar{K}_1/D_i)$	$P(K_2/D_i)$	$P(\bar{K}_2/D_i)$	$P(D_i)$
D_1	0,1	0,9	0,8	0,2	0,1
D_2	0,5	0,5	0,3	0,7	0,2
D_3	0,9	0,1	0,2	0,8	0,7

Используя данные таблицы, определить вероятность диагнозов для различных ситуаций проявления диагностических признаков. Таких ситуаций может быть четыре:

- $\overline{K_1} K_2$ – появились признаки K_1 и K_2 ;
- $\overline{K_1} \overline{K_2}$ – признак K_1 отсутствует, K_2 присутствует;
- $K_1 \overline{K_2}$ – признак K_1 присутствует, K_2 отсутствует;
- $\overline{K_1} \overline{K_2}$ – отсутствуют оба признака.

Для ситуации $K_1 K_2$ имеем

$$P(D_1 / K_1 K_2) = \frac{0,1 \cdot 0,8 \cdot 0,1}{0,1 \cdot 0,8 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 0,3 \cdot 0,5 + 0,7 \cdot 0,2 \cdot 0,9} = 0,04;$$

$$P(D_2 / K_1 K_2) = \frac{0,2 \cdot 0,3 \cdot 0,5}{0,1 \cdot 0,8 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 0,3 \cdot 0,5 + 0,7 \cdot 0,2 \cdot 0,9} = 0,18;$$

$$P(D_3 / K_1 K_2) = \frac{0,7 \cdot 0,2 \cdot 0,9}{0,1 \cdot 0,8 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 0,3 \cdot 0,5 + 0,7 \cdot 0,2 \cdot 0,9} = 0,78.$$

Заметим, что значения всех знаменателей здесь одинаковы, что значительно упрощает расчеты. Для ситуации $\overline{K_1} K_2$

$$P(D_1 / \overline{K_1} K_2) = 0,62;$$

$$P(D_2 / \overline{K_1} K_2) = 0,26;$$

$$P(D_3 / \overline{K_1} K_2) = 0,12.$$

Для ситуации $K_1 \overline{K_2}$

$$P(D_1 / K_1 \overline{K_2}) = 0,003;$$

$$P(D_2 / K_1 \overline{K_2}) = 0,12;$$

$$P(D_3 / K_1 \overline{K_2}) = 0,88.$$

Для ситуации $\bar{K}_1 \bar{K}_2$

$$P(D_1 / \bar{K}_1 \bar{K}_2) = 0,12;$$

$$P(D_2 / \bar{K}_1 \bar{K}_2) = 0,48;$$

$$P(D_3 / \bar{K}_1 \bar{K}_2) = 0,4.$$

Сведём результаты расчетов в таблицу 1.2.

Т а б л и ц а 1.2

Состояние	Ситуации			
	$K_1 K_2$	$\bar{K}_1 K_2$	$K_1 \bar{K}_2$	$\bar{K}_1 \bar{K}_2$
D_1	0,04	0,62	0,003	0,12
D_2	0,18	0,26	0,12	0,48
D_3	0,78	0,12	0,88	0,40

Результаты показывают, что состоянию D_1 наиболее вероятно соответствует ситуация $\bar{K}_1 K_2$, состоянию D_2 – $\bar{K}_1 \bar{K}_2$, состоянию D_3 – $K_1 \bar{K}_2$.

Приведенный алгоритм реализуется на ЭВМ, что обеспечивает возможность машинного диагностирования. Важно лишь отслеживать априорные (полученные на основе исходной статистической информации) вероятности в диагностических матрицах и вовремя их корректировать.

Варианты заданий для выполнения работы по методу распознавания Байеса приведены в таблице прил. 1.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методические указания по выполнению практической работы.
2. Составить исходную диагностическую табл. 1.1.
3. Определить вероятность диагнозов для различных ситуаций проявления диагностических признаков.
4. Заполнить таблицу 1.2.
5. Провести анализ полученных результатов.
6. Оформить отчет.

Практическая работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИНТЕРВАЛОВ ПАРАМЕТРОВ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы

Приобретение практических навыков по обработке статистической информации для диагностирования двигателей.

Краткие теоретические сведения

Эффективность диагностирования двигателей в значительной степени зависит от правильного выбора параметров (или признаков), используемых для оценки технического состояния. Как правило, используют один или несколько параметров, которые с определенной достоверностью позволяют судить о состоянии объекта контроля. Полной совокупностью параметров следует считать такие, которые обеспечивают полный контроль работоспособности объекта. Это означает, что при отказе любого его функционального элемента в выбранной совокупности параметров обязательно найдется, по крайней мере, один такой, который выйдет в этом случае за пределы поля допуска. Таким образом, используемые для диагностирования параметры должны быть достаточно чувствительными к изменению состояния объекта, чтобы формировать признаки и диагнозы предотказного события или отказа.

В технической диагностике принято рассматривать простые и сложные признаки. Простой признак имеет два состояния: его наличие или отсутствие. Сложным признаком (разряда m) является результат наблюдений, который может быть выражен одним из m символов.

Обычно рассматривают:

-двухразрядный признак ($m=2$), обладающий двумя возможными состояниями. Например, признак K_j относится к изменению параметра X , для которого установлены два диагностических интервала: $X \leq 10$ и $X > 10$, т.е. K_1 соответствует значениям $X \leq 10$, а K_2 соответствует значениям $X > 10$;

-трехразрядный признак ($m=3$) имеет три возможных состояния: K_1 ; K_2 ; K_3 . Например, для параметра Y приняты три диагностических интервала: $Y \leq 5$; $5 < Y < 15$; $Y \geq 15$.

Тогда для признака, характеризующего этот параметр, возможны три значения:

$$\begin{aligned} K_1 &\text{ при } Y \leq 5; \\ K_2 &\text{ при } 5 < Y < 15; \\ K_3 &\text{ при } Y \geq 15. \end{aligned}$$

Одной из задач выбора параметров является обоснованное деление множества его возможных значений на диагностические интервалы, соответствующие изменяющемуся состоянию объекта диагностирования. Правильное определение диагностических интервалов применяемого параметра в значительной степени зависит от наличия связи между состоянием объекта и значением параметра и может быть реализовано на основании анализа данных эксплуатации двигателя. Степень важности с точки зрения диагностирования того или иного интервала выбранного параметра может быть определена по диагностическому весу конкретного интервала для рассматриваемого диагноза.

В качестве диагностического веса принята ожидаемая величина информации признака относительно диагноза [1]:

$$Z_{D_i}(K_j) = \log_2 \frac{P(K_j/D_i)}{P(K_j)}, \quad (2.1)$$

где $P(K_j/D_i)$ – вероятность реализации в интервале признака K_j для объектов с диагнозом D_i ; $P(K_j)$ – вероятность появления K_j признака у всех объектов с различными диагнозами.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методические указания по выполнению практической работы.
2. Предварительно определить границы диагностических интервалов.
3. Определить диагностические веса интервалов параметра.
4. Определить границы диагностических интервалов параметра.

Методические указания

В данной практической работе необходимо по результатам эксплуатации двигателя определить границы диагностических интервалов параметра, предлагаемого для диагностирования (например, содержание металла в работавшем масле). Параметр реагирует на изменение состояния объекта и в результате контроля этого параметра получен ряд его реализаций для группы двигателей с различными диагнозами: D_1 - объект исправен; D_2 - предотказные события объекта; D_3 - отказ. Диагнозы D_1 , D_2 , D_3 определены по другим, ранее используемым параметрам и признакам.

В общем случае множество реализаций контролируемого параметра для каждого диагноза может подчиняться любому закону распределения. Считаем, что все реализации параметра подчиняются нормальному закону распределения Гаусса. Тогда исходные данные могут быть интерпретированы в виде, представленном на рис. 2.1.

Границы интервалов ab , cd , ef определяются по наименьшему и наибольшему значениям реализаций параметра для конкретного диагноза. Точки a , b , c , d , e , f на ось OX , определяют границы интервалов ac , cb , be , ed , df . Полученные интервалы считаем предварительными.

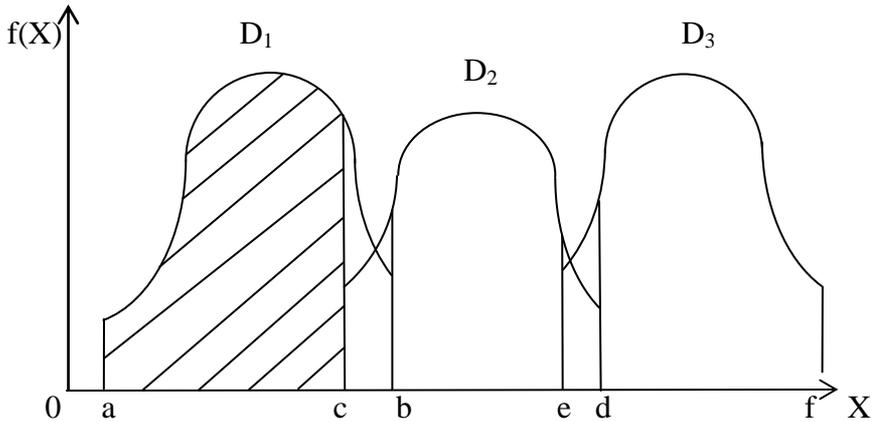


Рис. 2.1. График функции плотности распределения вероятностей параметра X по диагнозам D_i

Для определения диагностического веса выбранных интервалов используется формула (2.1).

Вероятность $P(K_j/D_i)$ реализации в интервале признака определяется как площадь под кривой функции плотности распределения вероятностей параметра $f(X)$ в границах рассматриваемого интервала (заштрихована на рис. 2.1)

$$P(K_{ac}/D_1) = \int_a^c f(X) dx = \int_a^c \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx .$$

Априорная вероятность реализации интервала признака $P(K_j)$ может быть определена по формуле

$$P(K_j) = \sum_{i=1}^m P(D_i)P(K_j/D_i) ,$$

где j – номер интервала признака ($j=1\dots m$);

i – номер диагноза ($i=1\dots n$);

$P(D_i)$ – априорная вероятность диагноза:

$$P(D_i) = N_i / N,$$

где N_i - количество двигателей с диагнозом D_i ;

N - суммарное количество двигателей под наблюдением.

Результаты расчетов сводятся в табл. 2.1 и 2.2.

Т а б л и ц а 2.1

Расчет априорных вероятностей

Диагноз D_i	Значение $P(K_j / D_i)$ для интервалов					$P(D_i)$
	$P(K_1/D_i)$	$P(K_2/D_i)$	$P(K_3/D_i)$	$P(K_4/D_i)$	$P(K_5/D_i)$	
D_1						
D_2						
D_3						
$P(K_j)$	$P(K_1)$	$P(K_2)$	$P(K_3)$	$P(K_4)$	$P(K_5)$	

Т а б л и ц а 2.2

Расчет диагностических весов интервалов

Диагноз D_i	$Z_{D_i}(K_j)$				
	$Z_{D_i}(K_1)$	$Z_{D_i}(K_2)$	$Z_{D_i}(K_3)$	$Z_{D_i}(K_4)$	$Z_{D_i}(K_5)$
D_1					
D_2					
D_3					

Границы диагностических интервалов исследуемого параметра могут быть определены графически. Для этого необходимо для каждого диагноза построить график изменения диагностического веса по интервалам (рис.2.2).

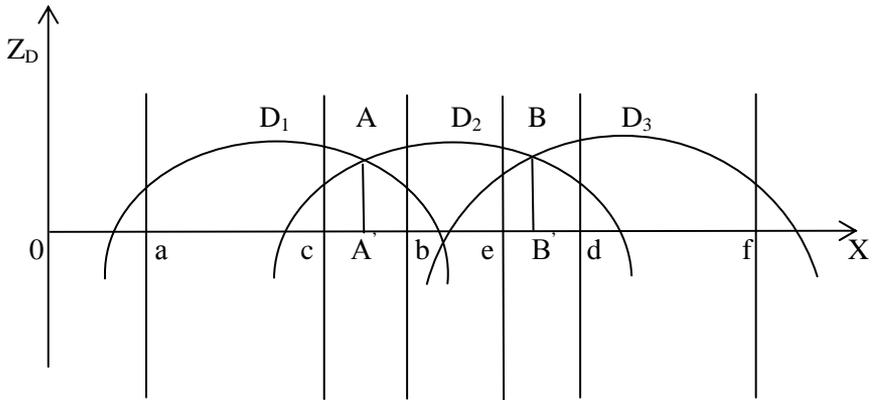


Рис. 2.2. Изменение диагностического веса по интервалам параметра X

В координатах ZOX по оси OX откладываются значения границ предварительно выбранных интервалов. По оси OZ откладываются значения диагностических весов интервалов для каждого диагноза (значения откладываются в середине соответствующего интервала). Соединив точки, полученные для каждого диагноза, плавной кривой, получают три графика изменения диагностического веса по интервалам для диагнозов D_1, D_2, D_3 .

В результате пересечения кривых для D_1 и D_2 получим точку A , а кривых D_2 и D_3 – точку B . Проекция этих точек на ось абсцисс A' и B' и будут искомыми границами диагностических интервалов. Эти границы определены из условия равенства диагностических весов интервалов для различных диагнозов. Таким образом, исследуемый параметр разбит на три диагностических интервала: $\{-\infty ; A'\}$, $\{A' ; B'\}$, $\{B' ; +\infty\}$. При попадании значения параметра в какой-либо интервал можно говорить о наличии соответствующего диагноза D_i .

Варианты исходных данных для выполнения практической работы приведены в таблице прил. 2

Практическая работа № 3

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ НАЛИЧИИ ОДНОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МИНИМАЛЬНОГО РИСКА

Цель работы

Ознакомиться со статистическим методом минимального риска для диагностирования технического состояния двигателя, построить кривые нормального распределения и определить граничное значение диагностического параметра X_0 .

Краткие теоретические сведения

Разрушение деталей двигателя во многих случаях начинается с выкрашивания поверхностного слоя под воздействием динамических нагрузок и сил трения. Образующиеся при этом продукты износа деталей уносятся циркулирующим в двигателе маслом, поэтому оно является носителем информации о происходящих процессах изнашивания. Количество продуктов износа, поступающих в масло, зависит, прежде всего, от скорости износа, поэтому интенсивность накопления этих продуктов в масле является весьма ценным диагностическим признаком технического состояния (ТС) деталей, приводов и т.д.

Для контроля ТС и диагностирования двигателя в настоящее время распространение получают такие физические методы, как дифференциально-магнитный метод диагностирования (ДМ-метод), метод спектрального анализа масла и др. Они основаны на анализе продуктов износа деталей омываемых маслом. Эти методы имеют как положительные аспекты, так и недостатки. К числу недостатков следует отнести отсутствие методики принятия решения по скорости повышения концентрации металлов и их количеству.

Кроме физических методов диагностирования состояния двигателя с помощью технических средств, в настоящее время все более широкое признание и популярность приобретают методы статистических решений.

Методы статистических решений успешно используются в задачах технической диагностики изделий машиностроения и отличаются от физических методов правилами принятия решения.

В настоящее время для оценки технического состояния двигателя могут применяться следующие методы статистических решений:

- метод минимального риска;
- метод минимального числа ошибок;
- метод минимакса;
- метод Неймана - Пирсона;
- метод наибольшего правдоподобия.

Процесс распознавания технического состояния двигателя с помощью методов статистических решений можно проводить при наличии одного диагностического параметра, при наличии зоны неопределенности, при наличии двух или нескольких состояний, а также при многомерных распределениях диагностических параметров.

Процесс распознавания технического состояния рассмотрим на примере наличия одного диагностического параметра двигателя, то есть содержание металла в масле.

Имеем два распределения случайных значений диагностического параметра, присущих исправным и неисправным однотипным двигателям, приведенных на рисунке 3.1.

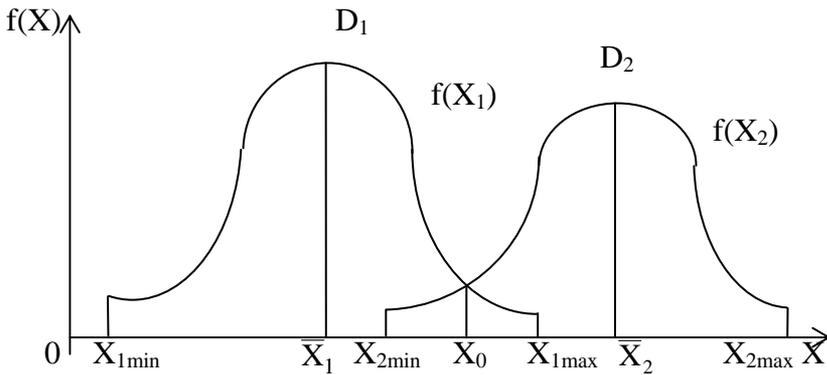


Рис. 3.1. Статистические плотности распределения вероятностей параметра X для исправного D_1 и неисправного D_2 состояний

На рисунке X - значение диагностического параметра (\bar{X}_1 - среднее значение диагностического параметра для исправного состояния; \bar{X}_2 - среднее значение диагностического параметра для неисправного состояния); X_{1min} и X_{2min} - минимальные значения диагностического параметра для исправного и неисправного состояний; X_{1max} и X_{2max} - максимальные значения диагностического параметра исправного и неисправного состояний; X_0 - граничное значение диагностического параметра.

Статистические решения с помощью перечисленных методов как для одного диагностического параметра, так и для нескольких всегда начинается с выбора правила принятия решений, т.е. в зоне пересечения распределений надо выбрать значение X_0 параметра X таким образом, что при $X > X_0$ следует принять решение о дальнейшей эксплуатации двигателя, а при $X < X_0$ он допускается к дальнейшей эксплуатации.

Тогда указанное правило принятия решения заключается в следующем:

$$\text{при } X < X_0 \quad X \in D_1 \quad \text{при } X > X_0 \quad X \in D_2. \quad (3.1)$$

Примером такого рода задач могут служить: определение граничного значения содержания металла в масле двигателя, предельного уровня его вибраций, величины люфта сопряжения, отвечающей предельному износу сопряженных элементов и т.д.

Из зависимостей, представленных на рисунке 3.1, видно, что области исправного D_1 и неисправного D_2 состояний пересекаются, следовательно, в принципе невозможно выбрать значение X_0 , при котором принятое правило решения (1.3.) не давало бы ошибочных результатов. Решение в дальнейшем должно сводиться к тому, чтобы выбор X_0 был в некотором смысле оптимальным, т.е. давал наименьшее число ошибочных решений.

При принятии решений возможными ошибками могут быть: «ложная тревога» (ошибка первого рода), когда исправный объект считается неисправным и «пропуск дефекта» (ошибка второго рода), когда неисправный объект признается исправным.

В теории контроля приняты обозначения: C_{21} – ложная тревога; C_{12} – пропуск дефекта (первая цифра нижнего индекса соответствует индексу принятого диагноза, вторая цифра – индексу действительного состояния).

Наиболее приемлемым из вышеуказанных методов статических (аналитических) решений для определения граничного значения диагностического параметра X_0 является метод минимального риска.

Значения X_0 в этом методе находится из соотношения

$$\frac{F(X_1/D_1)}{F(X_2/D_2)} = \frac{(C_{12} - C_{22})P_2}{(C_{21} - C_{11})P_1}, \quad (3.2)$$

где $F(X_1/D_1)$ – плотность нормального распределения вероятностей для исправного состояния;

$F(X_2/D_2)$ – плотность нормального распределения вероятностей для неисправного состояния;

C_{12} – условная стоимость пропуска дефекта;

C_{21} – условная стоимость ложной тревоги;

P_1 – априорная вероятность исправного состояния;

P_2 – априорная вероятность неисправного состояния;

$C_{11} < 0, C_{22} < 0$ – цены правильных решений (условные выигрыши).

Чтобы построить функциональную зависимость $F(X_1/D_1)$, необходимо собрать и обработать статистические данные, которые отражали бы отдельные значения диагностических параметров для исправных объектов. Практика показывает, что объем данных должен быть не менее 40 значений. Аналогично строится и $F(X_2/D_2)$. Функции плотности распределения вероятностей для X_1 и X_2 в рассматриваемом случае будут выглядеть так:

$$F(X_1/D_1) = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X_1 - \bar{X}_1)^2}{2\sigma_1^2}} ; \quad (3.3)$$

$$F(X_2/D_2) = \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X_2 - \bar{X}_2)^2}{2\sigma_2^2}} ,$$

где σ – среднее квадратическое отклонение для каждого из распределений;

e – основание натурального логарифма (2, 72);

X – текущее значение диагностического параметра;

\bar{X} – среднее значение диагностического параметра для каждого из распределений.

Оперируя условными стоимостями ошибок, следует иметь в виду, что для отказов, непосредственно влиявших на работоспособность двигателя, $C_{12}/C_{21} = 20 \dots 35$, а для «неопасных» отказов $C_{12}/C_{21}=1$.

В задачах технической диагностики значения P_1 и P_2 в большинстве случаев известны по статистическим данным. Необходимо помнить, что

$$P_1 + P_2 = 1,0.$$

Подставив (3.3) в соотношение (3.2) и решив уравнение, найдем X_0 :

$$X_0 = \frac{1}{2}(\bar{X}_1 + \bar{X}_2) - \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_2}{\bar{X}_2 - \bar{X}_1} \left(\ln \frac{P_2}{P_1} + \ln \frac{C_{12} - C_{22}}{C_{21} - C_{11}} \right).$$

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с общим положением диагностирования состояния двигателя с помощью методов статистических решений.
2. Изучить методические указания по выполнению практической работы.
3. Рассчитать параметры.
4. Построить функциональные зависимости плотности распределения вероятности диагностического параметра X для исправного D_1 и неисправного D_2 состояния.
5. Определить граничное значение диагностического параметра X_0 , обеспечивающего минимум среднего риска.

Методические указания

В качестве объекта исследования в данной практической работе рассматривается двигатель, у которого определяется содержание продуктов износа (металла) в работающем масле.

Диагностирование технического состояния двигателя определяется по одному диагностическому параметру X - содержание металла в масле.

Работоспособное состояние двигателя в основном определяется состоянием деталей цилиндропоршневой группы, кривошипно-шатунного механизма, газораспределительного механизма и других деталей, подверженных изнашиванию, металл которых попадает в масло.

Для построения кривых функций плотности нормального распределения вероятностей используются формулы (3.3), для которых предварительно рассчитываются параметры:

1) X_i - содержание металла в граммах на 1 тонну масла для i -го диагноза, значения берутся из таблицы прил. 2 согласно варианту;

2) ΔX_i - область (интервал) содержания металла в масле определяется по формуле

$$\Delta X_i = \frac{X_{i \max} - X_{i \min}}{k},$$

где k - количество интервалов дробления эмпирического ряда распределения, обычно задается в пределах 5 ... 8. Для расчетов в данной работе берём $k=5$;

3) $X_{j, \text{cp}}$ - среднее значение содержания (τ) металла в масле в j -м интервале:

$$X_{j, \text{cp}} = \frac{X_{j \min} + X_{j \max}}{2};$$

4) \bar{X}_i - математическое ожидание случайной величины для первой или второй кривой распределения

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^k (X_{j, \text{cp}} m_j)}{n},$$

где m_j – число испытаний, при котором X_i появилось в j -м интервале;

n – общее число испытаний

$$n = \sum_{j=1}^k m_j ;$$

5) σ_i – среднеквадратическое отклонение случайной величины:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^k ((X_{j,сп} - \bar{X}_i)^2 m_j) ;}$$

6) t – нормированное отклонение:

$$t = \frac{X_{j,сп} - \bar{X}_i}{\sigma_i} .$$

Тогда

$$F(X_i/D_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X_{j,сп} - \bar{X}_i)^2}{2\sigma_i^2}} = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} .$$

Величина $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$ табулирована и находится из таблицы прил. 3.

Содержание отчета

Отчет по практической работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Расчет параметров эмпирического распределения металла в масле двигателя по исходным данным, приведенным в таблице прил. 2.

4. График функций плотности распределения вероятностей диагностического параметра X для исправленного D_1 и неисправного D_2 состояний двигателя.

5. Расчет граничного значения диагностического параметра X_0 .

6. Выводы.

Практическая работа № 4

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПО ОДНОМУ ПАРАМЕТРУ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НЕЙМАНА - ПИРСОНА

Цель работы

Познакомиться с методом Неймана - Пирсона и применением его для диагностирования двигателя; определить величину X_0 и значение среднего риска.

Краткие теоретические сведения

Указанный метод является одним из методов статистических решений. Он применяется тогда, когда оценки стоимости ошибок неизвестны, и их достоверное определение связано с большими трудностями. Однако во всех случаях желательно при определённом (допустимом) уровне одной из ошибок минимизировать значение другой. Задача в этом случае заключается в обосновании выбора допустимого уровня ошибок с помощью предыдущего опыта или интуитивных соображений.

По данному методу минимизируется вероятность пропуска дефекта при заданном допустимом уровне вероятности ложной тревоги. Отсюда, вероятность ложной тревоги

$$P_1 \int_{X_0}^{\infty} f(X/D_1) dx \leq A, \quad (4.1)$$

где A – заданный допустимый уровень вероятности ложной тревоги;

P_1 – вероятность исправного состояния;

P_2 – вероятность неисправного состояния.

Обычно условие (4.1) относят к условной вероятности ложной тревоги, когда множитель P_1 отсутствует. В задачах технической диагностики значения P_1 и P_2 в большинстве случаев известны по статистическим данным.

Из рис. 3.1 видно, что увеличение вероятности ложной тревоги (значение X_0 перемещается влево) величина вероятности пропуска дефекта уменьшается. Её наименьшее значение будет соответствовать знаку равенства в условии (4.1):

$$P_1 \int_{X_0}^{\infty} f(X/D_1) dx = A. \quad (4.2)$$

Тогда условие (4.1) однозначно определяет величину X_0 и значение среднего риска.

В практических задачах принимают значение A – допустимого уровня ложной тревоги:

$$A = kP_2,$$

где k – коэффициент избыточности, зависящий от разрешающей способности диагностических средств, опасности дефекта, экономических затрат и других обстоятельств.

При дефектах с ограниченными последствиями можно принимать $k=1...3$. При опасных дефектах $k=3...10$. Для редко встречающихся ($P_2 < 0,01$), но крайне опасных дефектов коэффициент избыточности может достигать и больших значений.

В задачах технической диагностики можно использовать и другой подход: определять граничное значение X_0 , исходя из выбранной вероятности пропуска дефекта. В этом случае

$$P_2 \int_{-\infty}^{X_0} f(X/D_2) dx = B, \quad (4.3)$$

где B – заданное значение вероятности пропуска дефекта.

Величина B должна выбираться с учётом указанных выше соображений. Если дефект крайне нежелателен даже для единичного изделия, то можно принимать

$$B \leq \frac{1}{kN},$$

где N – общее число двигателей, находящихся в эксплуатации;

k – коэффициент избыточности ($1 \leq k < 10$). Во всех случаях, для реализации принципа невозможности маловероятных событий, величина B должна быть малой ($B < 0,01$). В методе Неймана-Пирсона граничное значение X_0 находится из уравнения (4.2) или (4.3).

При практическом решении подобных уравнений целесообразно использовать метод Ньютона, связывающий исходные $X_{0(n-1)}$ и последующие $X_{0(n)}$ приближения

$$X_{0(n)} = X_{0(n-1)} - \frac{\varphi(X_{0(n-1)})}{\frac{d\varphi(X_{0(n-1)})}{dX_0}}.$$

Полагая, что

$$\varphi(X_{0(n-1)}) = P_1 \int_{X_0}^{\infty} f(X_{0(n-1)}/D_0) dx - A;$$

$$\varphi'(X_{0(n-1)}) = -P_1 f(X_{0(n-1)}/D_1).$$

В качестве первого приближения можно принять

$$X_{0(1)} = (\bar{X}_1 + \bar{X}_2) / 2 ,$$

где \bar{X}_1, \bar{X}_2 - средние значения X для распределения $f(X/D_1)$ и $f(X/D_2)$.

При последовательном итерационном вычислении значения X_0 , мы стремимся к такому состоянию, при котором минимизируется средний риск.

При достаточной близости $X_{0(n)}$ и $X_{0(n-1)}$ принимается $X_0 = X_{0(n)}$.

Средний риск основывается на вероятности принятия ошибочного решения, слагаемого из вероятностей ложной тревоги и пропуска дефекта, а также стоимости этих ошибок. В общем случае средний риск (ожидаемая величина потери) выражается равенством

$$\begin{aligned} R = C_{11}P_1 \int_{-\infty}^{x_0} f(X/D_1)dx + C_{21}P_1 \int_{x_0}^{\infty} f(X/D_1)dx + \\ + C_{12}P_2 \int_{-\infty}^{x_0} f(X/D_2)dx + \\ + C_{22}P_2 \int_{x_0}^{\infty} f(X/D_2)dx , \end{aligned} \quad (4.4)$$

где C_{11}, C_{22} – стоимости правильных решений, которые по сравнению со стоимостями ошибочных решений принимаются отрицательными.

Величина X , предъявляемая для распознавания, является случайной и поэтому равенство (4.4) представляет собой математическое ожидание риска.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методические указания по выполнению практической работы.
2. Определить вероятность ложной тревоги.
3. Определить вероятность пропуска дефекта.
4. Методом Ньютона определить значение X_0 .
5. Вычислить значение среднего риска.
5. Провести анализ полученных результатов.
6. Оформить отчёт.

Л и т е р а т у р а

1. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978.-240 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятности: Учеб. для вузов. – 7-е изд. стер.- М.: Высш. шк., 2001. – 575 с.
3. Техническая диагностика: Лабораторные работы 1 – 3. – Киев: КНИГА, 1992. – 32 с.
4. Техническая диагностика: Лабораторные работы 4 – 6. – Киев: КНИГА, 1991. – 24 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица вариантов заданий для выполнения практической работы № 1

Номер задания	Состояние	Вероятности проявления признаков				
		$P(K_1/D_i)$	$P(\bar{K}_1/D_i)$	$P(K_2/D_i)$	$P(\bar{K}_2/D_i)$	$P(D_i)$
1	D_1	0,2	0,8	0,8	0,2	0,7
	D_2	0,6	0,4	0,3	0,7	0,2
	D_3	0,8	0,2	0,2	0,8	0,1
2	D_1	0,3	0,7	0,6	0,4	0,1
	D_2	0,7	0,3	0,1	0,9	0,2

Окончание прил. 1

Номер задания	Состояние	Вероятности проявления признаков				
		$P(K_1/D_i)$	$P(\bar{K}_1/D_i)$	$P(K_2/D_i)$	$P(\bar{K}_2/D_i)$	$P(D_i)$
3	D_3	0,9	0,1	0,3	0,7	0,7
	D_1	0,4	0,6	0,5	0,5	0,2
	D_2	0,8	0,2	0,3	0,7	0,1
4	D_3	0,7	0,3	0,4	0,6	0,7
	D_1	0,5	0,5	0,7	0,3	0,2
	D_2	0,6	0,4	0,1	0,9	0,2
	D_3	0,1	0,9	0,7	0,3	0,6
5	D_1	0,1	0,9	0,8	0,2	0,5
	D_2	0,2	0,8	0,3	0,7	0,2
	D_3	0,3	0,7	0,2	0,8	0,3
6	D_1	0,2	0,8	0,4	0,6	0,1
	D_2	0,3	0,7	0,3	0,7	0,2
	D_3	0,4	0,6	0,2	0,8	0,7
7	D_1	0,3	0,7	0,5	0,5	0,6
	D_2	0,4	0,6	0,4	0,6	0,3
	D_3	0,5	0,5	0,3	0,7	0,1
8	D_1	0,4	0,6	0,6	0,4	0,1
	D_2	0,5	0,5	0,4	0,6	0,2
	D_3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,7
9	D_1	0,5	0,5	0,7	0,3	0,7
	D_2	0,6	0,4	0,6	0,4	0,1
	D_3	0,7	0,3	0,5	0,5	0,2
10	D_1	0,6	0,4	0,8	0,2	0,4
	D_2	0,7	0,3	0,7	0,3	0,4
	D_3	0,8	0,2	0,6	0,4	0,2
11	D_1	0,7	0,3	0,9	0,1	0,8
	D_2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,1
	D_3	0,9	0,1	0,7	0,3	0,1
12	D_1	0,8	0,2	0,1	0,9	0,6
	D_2	0,9	0,1	0,9	0,1	0,3
	D_3	0,1	0,9	0,8	0,2	0,1
13	D_1	0,9	0,1	0,4	0,6	0,4
	D_2	0,7	0,3	0,9	0,1	0,3
	D_3	0,4	0,6	0,2	0,8	0,3
14	D_1	0,1	0,9	0,8	0,2	0,5
	D_2	0,4	0,6	0,3	0,7	0,2
	D_3	0,8	0,2	0,7	0,3	0,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица исходных данных для практических работ
№ 2, № 3 и № 4

№ п/п	Вариант 1			Вариант 2			Вариант 3			Вариант 4		
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
1	2,0	5,0	8,0	3,0	6,0	9,0	4,0	7,0	10,0	5,0	8,0	11,0
2	2,9	5,9	8,9	3,9	6,9	9,9	4,9	7,9	10,9	5,9	8,9	11,9
3	1,6	4,6	7,6	2,6	5,6	8,6	3,6	6,6	9,6	4,6	7,6	10,6
4	1,3	4,3	7,3	2,3	5,3	8,3	3,3	6,3	9,3	4,3	7,3	10,3
5	1,6	4,6	7,6	2,6	5,6	8,6	3,6	6,6	9,6	4,6	7,6	10,6
6	2,4	5,4	8,4	3,4	6,4	9,4	4,4	7,4	10,4	5,4	8,4	11,4
7	2,9	5,9	8,9	3,9	6,9	9,9	4,9	7,9	10,9	5,9	8,9	11,9
8	1,6	4,6	7,6	2,6	5,6	8,6	3,6	6,6	9,6	4,6	7,6	10,6
9	0,3	3,3	6,3	1,3	4,3	7,3	2,3	5,3	8,3	3,3	6,3	9,3
10	2,5	5,5	8,5	3,5	6,5	9,5	4,5	7,5	10,5	5,5	8,5	11,5
11	1,6	4,6	7,6	2,6	5,6	8,6	3,6	6,6	9,6	4,6	7,6	10,6
12	2,3	5,3	8,3	3,3	6,3	9,3	4,3	7,3	10,3	5,3	8,3	11,3
13	2,0	5,0	8,0	3,0	6,0	9,0	4,0	7,0	10,0	5,0	8,0	11,0
14	2,0	5,0	8,0	3,0	6,0	9,0	4,0	7,0	10,0	5,0	8,0	11,0
15	0,5	3,5	6,5	1,5	4,5	7,5	2,5	5,5	8,5	3,5	6,5	9,5
16	2,5	5,5	8,5	3,5	6,5	9,5	4,5	7,5	10,5	5,5	8,5	11,5
17	2,9	5,9	8,9	3,9	6,9	9,9	4,9	7,9	10,9	5,9	8,9	11,9
18	2,4	5,4	8,4	3,4	6,4	9,4	4,4	7,4	10,4	5,4	8,4	11,4
19	2,1	5,1	8,1	3,1	6,1	9,1	4,1	7,1	10,1	5,1	8,1	11,1
20	1,1	4,1	7,1	2,1	5,1	8,1	3,1	6,1	9,1	4,1	7,1	10,1
21	0,9	3,9	6,9	1,9	4,9	7,9	2,9	5,9	8,9	3,9	6,9	9,9
22	2,9	5,9	8,9	3,9	6,9	9,9	4,9	7,9	10,9	5,9	8,9	11,9
23	2,3	5,3	8,3	3,3	6,3	9,3	4,3	7,3	10,3	5,3	8,3	11,3
24	3,9	6,9	9,9	4,9	7,9	10,9	5,9	8,9	11,9	6,9	9,9	12,9
25	3,3	6,3	9,3	4,3	7,3	10,3	5,3	8,3	11,3	6,3	9,3	12,3
26	2,0	5,0	8,0	3,0	6,0	9,0	4,0	7,0	10,0	5,0	8,0	11,0
27	1,2	4,2	7,2	2,2	5,2	8,2	3,2	6,2	9,2	4,2	7,2	10,2
28	0,9	3,9	6,9	1,9	4,9	7,9	2,9	5,9	8,9	3,9	6,9	9,9
29	0,4	3,4	6,4	1,4	4,4	7,4	2,4	5,4	8,4	3,4	6,4	9,4
30	0,9	3,9	6,9	1,9	4,9	7,9	2,9	5,9	8,9	3,9	6,9	9,9
31	1,0	4,0	7,0	2,0	5,0	8,0	3,0	6,0	9,0	4,0	7,0	10,0
32	1,6	4,6	7,6	2,6	5,6	8,6	3,6	6,6	9,6	4,6	7,6	10,6
33	1,2	4,2	7,2	2,2	5,2	8,2	3,2	6,2	9,2	4,2	7,2	10,2
34	1,3	4,3	7,3	2,3	5,3	8,3	3,3	6,3	9,3	4,3	7,3	10,3
35	0,7	3,7	6,7	1,7	4,7	7,7	2,7	5,7	8,7	3,7	6,7	9,7
36	2,3	5,3	8,3	3,3	6,3	9,3	4,3	7,3	10,3	5,3	8,3	11,3

Продолжение прил. 2

№ п/п	Вариант 1			Вариант 2			Вариант 3			Вариант 4		
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
37	1,3	4,3	7,3	2,3	5,3	8,3	3,3	6,3	9,3	4,3	7,3	10,3
38	0,1	3,1	6,1	1,1	4,1	7,1	2,1	5,1	8,1	3,1	6,1	9,1
39	1,8	4,8	7,8	2,8	5,8	8,8	3,8	6,8	9,8	4,8	7,8	10,8
40	1,7	4,7	7,7	2,7	5,7	8,7	3,7	6,7	9,7	4,7	7,7	10,7

Продолжение прил. 2

№ п/п	Вариант 5			Вариант 6			Вариант 7			Вариант 8		
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
1	6,0	9,0	12,0	7,0	10,0	13,0	8,0	11,0	14,0	9,0	12,0	15,0
2	6,9	9,9	12,9	7,9	10,9	13,9	8,9	11,9	14,9	9,9	12,9	15,9
3	5,6	8,6	11,6	6,6	9,6	12,6	7,6	10,6	13,6	8,6	11,6	14,6
4	5,3	8,3	11,3	6,3	9,3	12,3	7,3	10,3	13,3	8,3	11,3	14,3
5	5,6	8,6	11,6	6,6	9,6	12,6	7,6	10,6	13,6	8,6	11,6	14,6
6	6,4	9,4	12,4	7,4	10,4	13,4	8,4	11,4	14,4	9,4	12,4	15,4
7	6,9	9,9	12,9	7,9	10,9	13,9	8,9	11,9	14,9	9,9	12,9	15,9
8	5,6	8,6	11,6	6,6	9,6	12,6	7,6	10,6	13,6	8,6	11,6	14,6
9	4,3	7,3	10,3	5,3	8,3	11,3	6,3	9,3	12,3	7,3	10,3	13,3
10	6,5	9,5	12,5	7,5	10,5	13,5	8,5	11,5	14,5	9,5	12,5	15,5
11	5,6	8,6	11,6	6,6	9,6	12,6	7,6	10,6	13,6	8,6	11,6	14,6
12	6,3	9,3	12,3	7,3	10,3	13,3	8,3	11,3	14,3	9,3	12,3	15,3
13	6,0	9,0	12,0	7,0	10,0	13,0	8,0	11,0	14,0	9,0	12,0	15,0
14	6,0	9,0	12,0	7,0	10,0	13,0	8,0	11,0	14,0	9,0	12,0	15,0
15	4,5	7,5	10,5	5,5	8,5	11,5	6,5	9,5	12,5	7,5	10,5	13,5
16	6,5	9,5	12,5	7,5	10,5	13,5	8,5	11,5	14,5	9,5	12,5	15,5
17	6,9	9,9	12,9	7,9	10,9	13,9	8,9	11,9	14,9	9,9	12,9	15,9
18	6,4	9,4	12,4	7,4	10,4	13,4	8,4	11,4	14,4	9,4	12,4	15,4
19	6,1	9,1	12,1	7,1	10,1	13,1	8,1	11,1	14,1	9,1	12,1	15,1
20	5,1	8,1	11,1	6,1	9,1	12,1	7,1	10,1	13,1	8,1	11,1	14,1
21	4,9	7,9	10,9	5,9	8,9	11,9	6,9	9,9	12,9	7,9	10,9	13,9
22	6,9	9,9	12,9	7,9	10,9	13,9	8,9	11,9	14,9	9,9	12,9	15,9
23	6,3	9,3	12,3	7,3	10,3	13,3	8,3	11,3	14,3	9,3	12,3	15,3
24	7,9	10,9	13,9	8,9	11,9	14,9	9,9	12,9	15,9	10,9	13,9	16,9
25	7,3	10,3	13,3	8,3	11,3	14,3	9,3	12,3	15,3	10,3	13,3	16,3
26	6,0	9,0	12,0	7,0	10,0	13,0	8,0	11,0	14,0	9,0	12,0	15,0
27	5,2	8,2	11,2	6,2	9,2	12,2	7,2	10,2	13,2	8,2	11,2	14,2
28	4,9	7,9	10,9	5,9	8,9	11,9	6,9	9,9	12,9	7,9	10,9	13,9
29	4,4	7,4	10,4	5,4	8,4	11,4	6,4	9,4	12,4	7,4	10,4	13,4
30	4,9	7,9	10,9	5,9	8,9	11,9	6,9	9,9	12,9	7,9	10,9	13,9

Продолжение прил. 2

№ п/п	Вариант 5			Вариант 6			Вариант 7			Вариант 8		
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
31	5,0	8,0	11,0	6,0	9,0	12,0	7,0	10,0	13,0	8,0	11,0	14,0
32	5,6	8,6	11,6	6,6	9,6	12,6	7,6	10,6	13,6	8,6	11,6	14,6
33	5,2	8,2	11,2	6,2	9,2	12,2	7,2	10,2	13,2	8,2	11,2	14,2
34	5,3	8,3	11,3	6,3	9,3	12,3	7,3	10,3	13,3	8,3	11,3	14,3
35	4,7	7,7	10,7	5,7	8,7	11,7	6,7	9,7	12,7	7,7	10,7	13,7
36	6,3	9,3	12,3	7,3	10,3	13,3	8,3	11,3	14,3	9,3	12,3	15,3
37	5,3	8,3	11,3	6,3	9,3	12,3	7,3	10,3	13,3	8,3	11,3	14,3
38	4,1	7,1	10,1	5,1	8,1	11,1	6,1	9,1	12,1	7,1	10,1	13,1
39	5,8	8,8	11,8	6,8	9,8	12,8	7,8	10,8	13,8	8,8	11,8	14,8
40	5,7	8,7	11,7	6,7	9,7	12,7	7,7	10,7	13,7	8,7	11,7	14,7

Продолжение прил. 2

№ п/п	Вариант 9			Вариант 10			Вариант 11			Вариант 12		
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
1	10,0	13,0	16,0	11,0	14,0	17,0	12,0	15,0	18,0	13,0	16,0	19,0
2	10,9	13,9	16,9	11,9	14,9	17,9	12,9	15,9	18,9	13,9	16,9	19,9
3	9,6	12,6	15,6	10,6	13,6	16,6	11,6	14,6	17,6	12,6	15,6	18,6
4	9,3	12,3	15,3	10,3	13,3	16,3	11,3	14,3	17,3	12,3	15,3	18,3
5	9,6	12,6	15,6	10,6	13,6	16,6	11,6	14,6	17,6	12,6	15,6	18,6
6	10,4	13,4	16,4	11,4	14,4	17,4	12,4	15,4	18,4	13,4	16,4	19,4
7	10,9	13,9	16,9	11,9	14,9	17,9	12,9	15,9	18,9	13,9	16,9	19,9
8	9,6	12,6	15,6	10,6	13,6	16,6	11,6	14,6	17,6	12,6	15,6	18,6
9	8,3	11,3	14,3	9,3	12,3	15,3	10,3	13,3	16,3	11,3	14,3	17,3
10	10,5	13,5	16,5	11,5	14,5	17,5	12,5	15,5	18,5	13,5	16,5	19,5
11	9,6	12,6	15,6	10,6	13,6	16,6	11,6	14,6	17,6	12,6	15,6	18,6
12	10,3	13,3	16,3	11,3	14,3	17,3	12,3	15,3	18,3	13,3	16,3	19,3
13	10,0	13,0	16,0	11,0	14,0	17,0	12,0	15,0	18,0	13,0	16,0	19,0
14	10,0	13,0	16,0	11,0	14,0	17,0	12,0	15,0	18,0	13,0	16,0	19,0
15	8,5	11,5	14,5	9,5	12,5	15,5	10,5	13,5	16,5	11,5	14,5	17,5
16	10,5	13,5	16,5	11,5	14,5	17,5	12,5	15,5	18,5	13,5	16,5	19,5
17	10,9	13,9	16,9	11,9	14,9	17,9	12,9	15,9	18,9	13,9	16,9	19,9
18	10,4	13,4	16,4	11,4	14,4	17,4	12,4	15,4	18,4	13,4	16,4	19,4
19	10,1	13,1	16,1	11,1	14,1	17,1	12,1	15,1	18,1	13,1	16,1	19,1
20	9,1	12,1	15,1	10,1	13,1	16,1	11,1	14,1	17,1	12,1	15,1	18,1
21	8,9	11,9	14,9	9,9	12,9	15,9	10,9	13,9	16,9	11,9	14,9	17,9
22	10,9	13,9	16,9	11,9	14,9	17,9	12,9	15,9	18,9	13,9	16,9	19,9
23	10,3	13,3	16,3	11,3	14,3	17,3	12,3	15,3	18,3	13,3	16,3	19,3
24	11,9	14,9	17,9	12,9	15,9	18,9	13,9	16,9	19,9	14,9	17,9	20,9

Продолжение прил. 2

№ п/п	Вариант 9			Вариант 10			Вариант 11			Вариант 12		
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
25	11,3	14,3	17,3	12,3	15,3	18,3	13,3	16,3	19,3	14,3	17,3	20,3
26	10,0	13,0	16,0	11,0	14,0	17,0	12,0	15,0	18,0	13,0	16,0	19,0
27	9,2	12,2	15,2	10,2	13,2	16,2	11,2	14,2	17,2	12,2	15,2	18,2
28	8,9	11,9	14,9	9,9	12,9	15,9	10,9	13,9	16,9	11,9	14,9	17,9
29	8,4	11,4	14,4	9,4	12,4	15,4	10,4	13,4	16,4	11,4	14,4	17,4
30	8,9	11,9	14,9	9,9	12,9	15,9	10,9	13,9	16,9	11,9	14,9	17,9
31	9,0	12,0	15,0	10,0	13,0	16,0	11,0	14,0	17,0	12,0	15,0	18,0
32	9,6	12,6	15,6	10,6	13,6	16,6	11,6	14,6	17,6	12,6	15,6	18,6
33	9,2	12,2	15,2	10,2	13,2	16,2	11,2	14,2	17,2	12,2	15,2	18,2
34	9,3	12,3	15,3	10,3	13,3	16,3	11,3	14,3	17,3	12,3	15,3	18,3
35	8,7	11,7	14,7	9,7	12,7	15,7	10,7	13,7	16,7	11,7	14,7	17,7
36	10,3	13,3	16,3	11,3	14,3	17,3	12,3	15,3	18,3	13,3	16,3	19,3
37	9,3	12,3	15,3	10,3	13,3	16,3	11,3	14,3	17,3	12,3	15,3	18,3
38	8,1	11,1	14,1	9,1	12,1	15,1	10,1	13,1	16,1	11,1	14,1	17,1
39	9,8	12,8	15,8	10,8	13,8	16,8	11,8	14,8	17,8	12,8	15,8	18,8
40	9,7	12,7	15,7	10,7	13,7	16,7	11,7	14,7	17,7	12,7	15,7	18,7

Продолжение прил. 2

№ п/п	Вариант 13			Вариант 14			Вариант 15			Вариант 16		
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
1	14,0	17,0	20,0	15,0	18,0	21,0	16,0	19,0	22,0	17,0	20,0	23,0
2	14,9	17,9	20,9	15,9	18,9	21,9	16,9	19,9	22,9	17,9	20,9	23,9
3	13,6	16,6	19,6	14,6	17,6	20,6	15,6	18,6	21,6	16,6	19,6	22,6
4	13,3	16,3	19,3	14,3	17,3	20,3	15,3	18,3	21,3	16,3	19,3	22,3
5	13,6	16,6	19,6	14,6	17,6	20,6	15,6	18,6	21,6	16,6	19,6	22,6
6	14,4	17,4	20,4	15,4	18,4	21,4	16,4	19,4	22,4	17,4	20,4	23,4
7	14,9	17,9	20,9	15,9	18,9	21,9	16,9	19,9	22,9	17,9	20,9	23,9
8	13,6	16,6	19,6	14,6	17,6	20,6	15,6	18,6	21,6	16,6	19,6	22,6
9	12,3	15,3	18,3	13,3	16,3	19,3	14,3	17,3	20,3	15,3	18,3	21,3
10	14,5	17,5	20,5	15,5	18,5	21,5	16,5	19,5	22,5	17,5	20,5	23,5
11	13,6	16,6	19,6	14,6	17,6	20,6	15,6	18,6	21,6	16,6	19,6	22,6
12	14,3	17,3	20,3	15,3	18,3	21,3	16,3	19,3	22,3	17,3	20,3	23,3
13	14,0	17,0	20,0	15,0	18,0	21,0	16,0	19,0	22,0	17,0	20,0	23,0
14	14,0	17,0	20,0	15,0	18,0	21,0	16,0	19,0	22,0	17,0	20,0	23,0
15	12,5	15,5	18,5	13,5	16,5	19,5	14,5	17,5	20,5	15,5	18,5	21,5
16	14,5	17,5	20,5	15,5	18,5	21,5	16,5	19,5	22,5	17,5	20,5	23,5
17	14,9	17,9	20,9	15,9	18,9	21,9	16,9	19,9	22,9	17,9	20,9	23,9
18	14,4	17,4	20,4	15,4	18,4	21,4	16,4	19,4	22,4	17,4	20,4	23,4

Окончание прил. 2

№ п/п	Вариант 13			Вариант 14			Вариант 15			Вариант 16		
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
19	14,1	17,1	20,1	15,1	18,1	21,1	16,1	19,1	22,1	17,1	20,1	23,1
20	13,1	16,1	19,1	14,1	17,1	20,1	15,1	18,1	21,1	16,1	19,1	22,1
21	12,9	15,9	18,9	13,9	16,9	19,9	14,9	17,9	20,9	15,9	18,9	21,9
22	14,9	17,9	20,9	15,9	18,9	21,9	16,9	19,9	22,9	17,9	20,9	23,9
23	14,3	17,3	20,3	15,3	18,3	21,3	16,3	19,3	22,3	17,3	20,3	23,3
24	15,9	18,9	21,9	16,9	19,9	22,9	17,9	20,9	23,9	18,9	21,9	24,9
25	15,3	18,3	21,3	16,3	19,3	22,3	17,3	20,3	23,3	18,3	21,3	24,3
26	14,0	17,0	20,0	15,0	18,0	21,0	16,0	19,0	22,0	17,0	20,0	23,0
27	13,2	16,2	19,2	14,2	17,2	20,2	15,2	18,2	21,2	16,2	19,2	22,2
28	12,9	15,9	18,9	13,9	16,9	19,9	14,9	17,9	20,9	15,9	18,9	21,9
29	12,4	15,4	18,4	13,4	16,4	19,4	14,4	17,4	20,4	15,4	18,4	21,4
30	12,9	15,9	18,9	13,9	16,9	19,9	14,9	17,9	20,9	15,9	18,9	21,9
31	13,0	16,0	19,0	14,0	17,0	20,0	15,0	18,0	21,0	16,0	19,0	22,0
32	13,6	16,6	19,6	14,6	17,6	20,6	15,6	18,6	21,6	16,6	19,6	22,6
33	13,2	16,2	19,2	14,2	17,2	20,2	15,2	18,2	21,2	16,2	19,2	22,2
34	13,3	16,3	19,3	14,3	17,3	20,3	15,3	18,3	21,3	16,3	19,3	22,3
35	12,7	15,7	18,7	13,7	16,7	19,7	14,7	17,7	20,7	15,7	18,7	21,7
36	14,3	17,3	20,3	15,3	18,3	21,3	16,3	19,3	22,3	17,3	20,3	23,3
37	13,3	16,3	19,3	14,3	17,3	20,3	15,3	18,3	21,3	16,3	19,3	22,3
38	12,1	15,1	18,1	13,1	16,1	19,1	14,1	17,1	20,1	15,1	18,1	21,1
39	13,8	16,8	19,8	14,8	17,8	20,8	15,8	18,8	21,8	16,8	19,8	22,8
40	13,7	16,7	19,7	14,7	17,7	20,7	15,7	18,7	21,7	16,7	19,7	22,7

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Плотность вероятности нормального распределения

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$$

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,3989	0,3989	0,3989	0,3988	0,3986	0,3984	0,3982	0,3980	0,3977	0,3973
0,1	0,3970	0,3965	0,3961	0,3956	0,3951	0,3945	0,3939	0,3932	0,3925	0,3918
0,2	0,3910	0,3902	0,3894	0,3885	0,3876	0,3867	0,3857	0,3847	0,3836	0,3825
0,3	0,3814	0,3802	0,3790	0,3778	0,3765	0,3752	0,3739	0,3726	0,3712	0,3697
0,4	0,3683	0,3668	0,3653	0,3637	0,3621	0,3605	0,3589	0,3572	0,3555	0,3538
0,5	0,3521	0,3503	0,3485	0,3467	0,3448	0,3429	0,3410	0,3391	0,3372	0,3352

Окончание прил. 3

0,6	0,3332	0,3312	0,3292	0,3271	0,3251	0,3230	0,3209	0,3187	0,3166	0,3144
0,7	0,3123	0,3101	0,3079	0,3056	0,3034	0,3011	0,2989	0,2966	0,2943	0,2920
0,8	0,2897	0,2874	0,2850	0,2827	0,2803	0,2780	0,2756	0,2732	0,2709	0,2685
0,9	0,2661	0,2637	0,2613	0,2589	0,2565	0,2541	0,2516	0,2492	0,2468	0,2444
1,0	0,2420	0,2396	0,2371	0,2347	0,2323	0,2299	0,2275	0,2251	0,2227	0,2203
1,1	0,2179	0,2155	0,2131	0,2107	0,2083	0,2059	0,2036	0,2012	0,1989	0,1965
1,2	0,1942	0,1919	0,1895	0,1872	0,1849	0,1826	0,1804	0,1781	0,1758	0,1736
1,3	0,1714	0,1691	0,1669	0,1647	0,1626	0,1604	0,1582	0,1561	0,1539	0,1518
1,4	0,1497	0,1476	0,1456	0,1435	0,1415	0,1394	0,1374	0,1354	0,1334	0,1315
1,5	0,1295	0,1276	0,1257	0,1238	0,1219	0,1200	0,1182	0,1163	0,1145	0,1127
1,6	0,1109	0,1092	0,1074	0,1057	0,1040	0,1023	0,1006	0,0989	0,0973	0,0957
1,7	0,0940	0,0925	0,0909	0,0893	0,0878	0,0863	0,0848	0,0833	0,0818	0,0804
1,8	0,0790	0,0775	0,0761	0,0748	0,0734	0,0721	0,0707	0,0694	0,0681	0,0669
1,9	0,0656	0,0644	0,0632	0,0620	0,0608	0,0596	0,0584	0,0573	0,0562	0,0551
2,0	0,0540	0,0529	0,0519	0,0508	0,0498	0,0488	0,0478	0,0468	0,0459	0,0449
2,1	0,0440	0,0431	0,0422	0,0413	0,0404	0,0396	0,0388	0,0379	0,0371	0,0363
2,2	0,0355	0,0347	0,0339	0,0332	0,0325	0,0317	0,0310	0,0303	0,0297	0,0290
2,3	0,0283	0,0277	0,0270	0,0264	0,0258	0,0252	0,0246	0,0241	0,0235	0,0229
2,4	0,0224	0,0219	0,0213	0,0208	0,0203	0,0198	0,0194	0,0189	0,0184	0,0180
2,5	0,0175	0,0171	0,0167	0,0163	0,0158	0,0154	0,0151	0,0147	0,0143	0,0139
2,6	0,0136	0,0132	0,0129	0,0126	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110	0,0107
2,7	0,0104	0,0101	0,0099	0,0096	0,0093	0,0091	0,0088	0,0086	0,0084	0,0081
2,8	0,0079	0,0077	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0067	0,0065	0,0063	0,0061
2,9	0,0060	0,0058	0,0056	0,0055	0,0053	0,0051	0,0050	0,0048	0,0047	0,0046
3,0	0,0044	0,0043	0,0042	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036	0,0035	0,0034
3,1	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026	0,0025	0,0025
3,2	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0020	0,0020	0,0019	0,0018	0,0018
3,3	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0013	0,0013
3,4	0,0012	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010	0,0010	0,0009	0,0009
3,5	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006
3,6	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004
3,7	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
3,8	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3,9	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001

Содержание

Введение.....	3
Практическая работа № 1 ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ БАЙЕСА.....	4
Практическая работа № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИНТЕРВАЛОВ ПАРАМЕТРОВ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ.....	10
Практическая работа № 3 ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ НАЛИЧИИ ОДНОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МИНИМАЛЬНОГО РИСКА.....	16
Практическая работа № 4 ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПО ОДНОМУ ПАРАМЕТРУ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НЕЙМАНА- ПИРСОНА.....	24
Литература.....	28
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	28

Учебное издание

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА АВТОТРАКТОРНЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ

Методические указания к практическим работам
для студентов специальности 1-37 01 01
«Двигатели внутреннего сгорания»

Составитель
БАРМИН Виталий Александрович

Редактор А.М Кондратович. Корректор М.П.Антонова
Компьютерная верстка А.А. Бусько

Подписано в печать 01.03.2005.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 2,1. Уч.-изд. л. 1,7. Тираж 100. Заказ 457.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0056957 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.