

РУХОМИЙ СКЛАД

УДК 629.4.067.3:629.4.027.11

*Петухов В. М., аспирант (УкрГАЗТ)*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ  
РАСПОЗНАВАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ БУКС СИСТЕМОЙ БДС**

*Постановка проблемы.* В настоящее время на транспорте все шире используется аппаратный контроль технического состояния подвижного состава при движении поезда [1]. Появление средств автоматического обнаружения неисправностей подвижного состава вызвано усложнением условий эксплуатации парка вагонов и локомотивов (увеличением скорости движения поездов, расстояния их безостановочного следования, осевых нагрузок и т. п.), повышением требований к эксплуатационной надежности наиболее ответственных узлов ходовых частей подвижного состава, стремлением обеспечить высокий уровень безопасности движения поездов.

Создание комплексной автоматизированной системы управления техническим обслуживанием и ремонтом грузовых и пассажирских вагонов (АСУ-В и АСУ-ЭРПВ) [2] немислимо без знания технического состояния единиц подвижного состава на управляемом полигоне, без предвидения объема и характера предстоящих ремонтно-профилактических работ, без прогнозирования на заданное время работоспособности вагонов и локомотивов.

Для решения этих задач разрабатывается система буксовых диагностических станций (БДС), которая, будучи объединенной с другими автоматическими системами контроля подвижного состава, в перспективе войдет как подсистема в АСУ-В и АСУ-ЭРПВ.

Интенсификация перевозочного процесса привела к росту количества неисправностей, которые могут привести к авариям или осложнениям в пропуске поездов. К таким неисправностям следует отнести в первую очередь неисправности букс. Однако, несмотря на большое разнообразие неисправностей этого важнейшего узла подвижного

состава, обнаружение которых требует применения специальных методов преобразования контролируемых физических параметров в электрические сигналы, удобные для дальнейшей обработки, теоретические основы построения алгоритмов распознавания можно обобщить.

Для решения этой задачи обнаружения неисправностей необходимо классифицировать некоторую категорию состояний объекта в соответствии с определенными требованиями. Эти требования в зависимости от разных факторов (тип ходовых частей вагона, категория и расположение станции на участке безостановочного следования поездов и др.) могут быть различными.

В тоже время при контроле букс важно не только установить наличие отклонения параметра, характеризующего состояние объекта, но и определить степень этого отклонения, т. е. для решения задачи требуется различать несколько классов состояний.

В общем виде процесс обнаружения неисправности может состоять из следующих операций: преобразование параметров контролируемого объекта в форму, удобную для дальнейшей обработки (в цифровой сигнал); формирование признаков (кода) состояния объекта; классификация состояний объекта в соответствии с определенными требованиями; прогнозирование работоспособности объекта и выдача рекомендаций.

Для решения этих задач необходимо изучить конструктивные особенности буксовых узлов, условия их работы, признаки (параметры), характеризующие техническое состояние буксы, поведение этих параметров при различных режимах движения поезда.

Выбор контролируемых параметров в значительной мере определяет сложность аппаратуры мониторинга букс, ее качественные показатели. Основным контролируемым параметром является температура подшипников и взаиморасположение элементов буксы.

Необходимо стремиться, чтобы при выбранных параметрах аппаратура обеспечивала минимальную вероятность ошибочного распознавания. Это возможно при высокой корреляции измеряемых параметров состоянию контролируемого объекта. Поэтому при выборе параметров следует вначале установить степень такой корреляции, т. е. по результатам  $N$  измерений определить коэффициент корреляции  $r_{ab}$  рассматриваемых величин  $a$  и  $b$  [3]

$$r_{ab} = \frac{\frac{1}{V} \sum_{i=1}^V (a_i - m_a)(b_i - m_b)}{\sqrt{\frac{1}{V} \sum_{i=1}^V (a_i - m_a)^2 \frac{1}{V} \sum_{i=1}^V (b_i - m_b)^2}}, \quad (1)$$

где  $m_a$  и  $m_b$  — средние значения рассматриваемых величин.

Задача формирования признаков сводится к выбору наиболее рационального кода, соответствующего каждому состоянию объекта. При этом необходимо стремиться, чтобы выбранные признаки были инвариантны к действующим в измерительном канале помехам, имели наименьшие дисперсии при максимально возможном различии средних значений признаков состояний разных классов (расстоянии между гипотезами). В случае, когда признаки распознавания коррелированы, важнейшие из них могут быть определены путем перехода к новым случайным переменным (с помощью линейных преобразований), при которых корреляция признаков исчезает.

Если при обнаружении неисправности применяют методы последовательных измерений, то важное значение приобретает не только выбор признаков, но их упорядочение. Цель упорядочения признаков состоит в том, чтобы на каждом предыдущем шаге процесса классификации использовался более информативный признак, чем на последующем. При этом более информативным считается тот признак, который приводит к меньшему проценту ошибок распознавания [4].

Составление алфавита признаков является исключительно важным этапом при проектировании аппаратуры автоматического контроля букв ибо если количество признаков определяет объем аппаратурных затрат (затраты прямо пропорциональны числу признаков в алфавите), то их качество (информативность) определяет выходные характеристики аппаратуры.

Для сравнительной оценки качества признаков распознавания греющихся букв необходимо установить критерии качества. В зависимости от способа описания признаков распознавания возможны различные критерии оценки их качества. В условиях вероятностного описания классов наиболее удобным представляется критерий, основанный на сравнении статистических характеристик признаков [5]. В качестве критерия сравнительной оценки признаков в этом случае целесообразно использовать величину

$$K_j = \frac{m_1[M_{2ji}]}{M_{2ji}}, \quad (2)$$

где  $m_1[M_{2ji}]$  — математическое ожидание дисперсии  $j$ -го признака по классам;  
 $\overline{M_{2ji}}$  — дисперсия математического ожидания распределения признаков при переходе от класса к классу.

В соответствии с определением

$$m_1[M_{2ji}] = \sum_{i=1}^m M_{2ji} \rho(\Omega_i), \quad (3)$$

где  $t$  — число классов распознавания;  
 $\rho(\Omega_i)$  — априорная вероятность появления объекта, принадлежащего к классу  $\Omega_i$ .

Дисперсия математического ожидания распределений признаков при переходе от класса к классу

$$\overline{M_{2ji}} = m_1 \{ [m_{ji} - m_1(m_{ji})]^2 \}, \quad (4)$$

где  $m_{ji}$  — математическое ожидание  $j$ -го признака  $i$ -го класса объектов;

$m_1(m_{ji})$  — математическое ожидание математических ожиданий значений

$j$ -го признака, принадлежащих разным классам.

Наилучшим следует считать тот из признаков, который минимизирует отношение (1):

$$\min K_j = \frac{m_1[M_{2ji}]}{M_{2ji}}. \quad (5)$$

Если  $K_1 < K_s$ , то качество признака  $X_1$  выше качества признака  $X_s$ . Иными словами, лучшим из двух считается признак распознавания, у которого больше «расстояние» между математическими ожиданиями значений признака, принадлежащих разным классам, и меньше дисперсия этих признаков.

Следующая задача заключается в аналитическом описании классов объектов распознавания (классов нормально греющихся и перегретых букв) на языке выбранных признаков. В рамках этой задачи необходимо выделить в пространстве признаков области  $D_i$ ,  $i=1, 2, \dots, m$ , соответствующие классам  $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_m$  объектов распознавания, найти априорные вероятности  $p(\Omega_i)$  принадлежности объекта к классу  $\Omega_i$ , функции плотности вероятности  $W_n(X_1, X_2, \dots, X_n)$  значений признаков распознавания  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , принадлежащих классу  $\Omega_i$ .

Если совокупность  $n$  признаков распознавания представить в виде  $n$ -мерного вектора  $X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  пространства признаков, то при правильном аналитическом описании классов объектов распознавания граница (разделяющая функция) между областями  $D_i$  соответствующих классам  $\Omega_i$ , выражается уравнением:

$$F_q(X) - F_g(X) = 0. \quad (6)$$

Далее требуется составить такие алгоритмы логической обработки сформированных признаков, которые обеспечили бы оптимальное (в соответствии с выбранным критерием оптимальности) решение задачи обнаружения неисправности буквы, т. е. критерий качества распознавания греющихся букв должен достигать экстремального значения.

Алгоритм принятия решения в пользу одного из классов состояний объектов распознавания зависит от метода решения. Возможны 2 метода: метод решения с постоянным размером выборки и метод последовательного решения.

В первом случае имеется  $n$  признаков ( $n = \text{const}$ )  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , которые принадлежат одному из классов состояний  $\Omega_i$ . Обозначим через  $H_i$  и  $H_j$  гипотезы того, что выборочные значения принадлежат априорно известным распределениям  $W_n(X_1, X_2, \dots, X_n / \Omega_i)$  и  $W_n(X_1, X_2, \dots, X_n / \Omega_j)$ , а через  $\gamma_i$  и  $\gamma_j$  — решения, состоящие в принятии соответствующих гипотез. Установление правила решения сводится к разделению  $n$ -мерного пространства признаков  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  на 2 непересекающиеся области  $A_i$  и  $A_j$ , т.е.

$$(X_1, X_2, \dots, X_n) \in A_i \rightarrow \gamma_i; (X_1, X_2, \dots, X_n) \in A_j \rightarrow \gamma_j. \quad (7)$$

Поскольку при классификации необходимо с помощью разделяющей функции разграничить пересекающиеся области пространства признаков в непересекающиеся области классов состояний, неизбежны ошибки

классификации. Различают ошибки двух родов: вероятность «ложной тревоги» (ошибка первого рода), т. е. вероятность принятия решения о неисправности объекта в то время, как он в действительности исправен:

$$\begin{aligned}
 P_{лм} &= P\{\gamma_j / H_i\} = P\{(X_1, X_2, \dots, X_n) \in A_j / \Omega_i\} = \\
 &= \int_{A_j} \dots \int W_n(X_1, X_2, \dots, X_n / \Omega_i) dX_1 dX_2, \dots, dX_n
 \end{aligned} \tag{8}$$

и вероятность «пропуска» неисправного объекта (ошибка второго рода), т. е. отнесение выборки к классу  $\Omega_i$ , хотя она отражает  $\Omega_j$ -й класс состояния:

$$\begin{aligned}
 P_{np} &= P\{\gamma_j / H_j\} = P\{(X_1, X_2, \dots, X_n) \in A_i / \Omega_j\} = \\
 &= \int_{A_i} \dots \int W_n(X_1, X_2, \dots, X_n / \Omega_j) dX_1 dX_2, \dots, dX_n
 \end{aligned} \tag{9}$$

Очевидно, что при заданном (постоянном) размере выборки невозможно одновременно сделать сколь угодно малыми вероятности «ложной тревоги» и «пропуска». Можно лишь изменять их соотношение, перемещая разделяющую функцию. Оптимальное уравнение разделяющей функции может быть получено на основе критерия Байеса, минимизирующего средний риск принятия неправильного решения. При использовании критерия Байеса разделяющая функция

$$\begin{aligned}
 D(X_1, X_2, \dots, X_n) &= \frac{P(\Omega_j)W_n(X_1, X_2, \dots, X_n / \Omega_j)}{P(\Omega_i)W_n(X_1, X_2, \dots, X_n / \Omega_i)} = \\
 &= \frac{P(\Omega_j)}{P(\Omega_i)} \lambda(X_1, X_2, \dots, X_n) = \frac{C_{ij} - C_{ii}}{C_{ji} - C_{jj}}
 \end{aligned} \tag{10}$$

где  $P(\Omega_j)$ ,  $P(\Omega_i)$  — априорные вероятности соответствующих классов состояний;

$\lambda(X_1, X_2, \dots, X_n)$  — функция правдоподобия;

$\begin{vmatrix} C_{ii} & C_{ij} \\ C_{ji} & C_{jj} \end{vmatrix}$  — матрица стоимостей потерь, у которой строки соответствуют гипотезам  $H_i$  и  $H_j$ , а столбцы — решениям  $\gamma_i$  и  $\gamma_j$ .

Минимальное значение среднего риска

$$R = P(\Omega_i)C_{ii} + P(\Omega_j)C_{ji} + P(\Omega_i)(C_{ij} - C_{ii})P_{лм} - P(\Omega_i)(C_{ji} - C_{jj})(1 - P_{нр}), \quad (11)$$

где  $P_{лм}, P_{нр}$  — вероятности «ложной тревоги» и «пропуска», определенные с помощью разделяющей функции(10).

Независимо от применяющегося критерия классификация по постоянному размеру выборки сводится к следующему:

- вычисляется отношение правдоподобия  $\lambda(X_1, \dots, X_n)$  при измеренном векторе признаков;

- принимается или отвергается гипотеза  $H_i$ , в зависимости от того, над или под разделяющей функцией расположена найденная точка.

При методе последовательной классификации количество признаков (размер выборки) может меняться. Процедура принятия решения сводится к выполнению условия

$$B < \lambda(X_1, \dots, X_n) < A. \quad (12)$$

Решение принимается в пользу гипотезы  $H_i$ , как только будет выполнено неравенство

$$\lambda(X_1, \dots, X_n) \geq A. \quad (13)$$

и в пользу гипотезы  $H_j$  при выполнении неравенства

$$\lambda(X_1, \dots, X_n) \leq B. \quad (14)$$

Если результат вычисления отношения правдоподобия при  $n$  признаках попадает между останавливающимися границами  $A$  и  $B$ , то формируется следующий  $(n+1)$ -й признак и процедура вычисления повторяется.

Останавливающие границы, обеспечивающие заданные вероятности «ложной тревоги» и «пропуска»:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{1 - P_{нр}}{P_{лм}}; \\ B &= \frac{P_{нр}}{1 - P_{лм}}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Таким образом, процесс обнаружения неисправностей буксы на ходу поезда сводится к последовательному выполнению следующих операций:

- преобразование параметров контролируемого объекта в форму, удобную для дальнейшей обработки;
- формирование признаков (кода) состояния объекта;
- классификация состояний объекта в соответствии с определенными требованиями;

Техническая реализация устройства, выполняющего указанные операции в заданной последовательности, показана на рисунке 1.

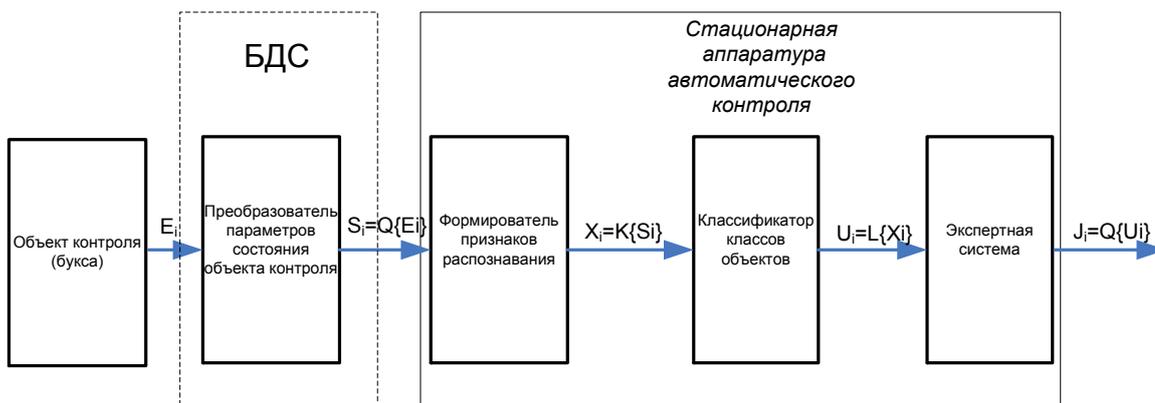


Рисунок 1 – Структурная схема построения системы БДС

Преобразователь параметров преобразует пространство состояний контролируемого объекта  $E$  в пространство электрических сигналов  $S$ , подлежащих дальнейшей обработке:

$$S_i = Q \{E_i\}, \quad (16)$$

где  $Q$  — оператор преобразования пространства состояний объекта в пространство сигналов.

Формирователь признаков (кода состояния объекта) преобразует пространство сигналов  $S$  в пространство признаков  $X$ , характеризующих состояние объекта:

$$X_i = R\{S_i\}. \quad (17)$$

где  $R$  — оператор преобразования пространства сигналов в пространство признаков.

Классификатор на основе анализа признаков состояния объекта выполняет функцию классификации, т.е. вырабатывает сигнал, указывающий на принадлежность вектора признаков соответствующему классу состояний:

$$\gamma_i = L(X_i), \quad (18)$$

где  $L$  — алгоритм работы классификатора.

Экспертная система, руководствуясь принятым классификатором решением  $\gamma_i$ , выдает информацию  $J_{Ei}$  о принадлежности состояния контролируемого объекта соответствующему классу состояний, т. е.

$$J_{Ei} = H(\gamma_i), \quad (19)$$

где  $H$  — оператор преобразования сигнала классификатора информатором.

Таким образом, обобщенная аналитическая запись процесса аппаратурного обнаружения неисправности

$$J_{Ei} = H\{L\{R[Q(E_i)]\}\}. \quad (20)$$

**Вывод.** Таким образом, анализ аппаратурного контроля технического состояния подвижного состава показывает, что независимо от вида неисправностей процесс их обнаружения поддается аналитическому описанию с помощью идентичных выражений.

Задача автоматического обнаружения неисправностей подвижного состава на ходу поезда сводится к оптимальной (в определенном смысле) классификации состояний контролируемого объекта и, следовательно, может быть решена на основе теории статистического распознавания образов.

*Список литературы*

1. Борзилов И.Д., Петухов В.М. Выбор автоматизированных средств контроля перегрева букс вагонов в пути следования// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.—2006. – №2. – С.48-51.
2. Борзилов И.Д., //Сб. наук. праць. - Донецьк: ДонІЗТ. – 2006. – Вып.7. – С.58-61.
3. Н.В.Смирнов, И.В. Дунин-Барковский Курс теории вероятности и математической статистики для технических приложений.—М.: Наука, 1965.—511с
4. Барабаш Ю. Л. и др. Вопросы статистической теории распознавания. М., «Советское радио», 1967, 400 с.
5. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. М: Высшая школа, 1977.-222 с.

УДК 504:621.436

*Каграманян А.О., к.т.н., доцент (УкрДАЗТ)  
Онищенко А.В., інженер (УкрДАЗТ)  
Рукавишников П.В., інженер (УкрДАЗТ)*

**НОРМУВАННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ВІД  
ТЕПЛОВИХ ДВІГУНІВ**

*Вступ.* На цей час основним виробником механічної енергії на транспорті є ДВЗ. Відповідно до законів термодинаміки в цих теплових машинах відбувається перетворення хімічної енергії палива в теплову з подальшим її перетворенням у механічну роботу на валу двигуна. При спалюванні органічних палив у ДВЗ відбувається викид забруднюючих речовин до атмосфери.

До основних шкідливих складових випускних газів відносяться оксиди (NO), двоокис (NO<sub>2</sub>) та оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), монооксид (CO) та двоокис вуглецю (CO<sub>2</sub>), вуглеводні C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, сажа. Остання не токсична, але її частки сорбують канцерогенний бензопирен і переносять його до живих кліток організму людини. CO<sub>2</sub> підсилює парниковий ефект в атмосфері, а також стимулює виділення окису азоту в крові й завдає шкоди нервовій системі людини. Зокрема, вихлопні газы, тепловозів являють собою дрібнодисперсний аерозоль, що складається з дисперсного середовища й дисперсної фази. В останню входять краплі води, палива, масла, тверді