

УДК 621.396

Ю.Н. Кликушин, Н.К. Набиев, К.Т. Кошек
СКГУ им. М. Козыбаева, г. Петропавловск

**МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВ БУКСОВЫХ УЗЛОВ
НА ОСНОВЕ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Колесная пара – одна из самых ответственных деталей вагона, от исправной ее работы зависит безопасность движения поездов. При этом замена колесной пары или одного из ее элементов – буксы с роликовыми подшипниками, цельнокатаного колеса или оси – приводит к внеплановым ремонтам и, как следствие, к большим экономическим затратам.

При эксплуатации подвижных составов происходит изнашивание как ходовой части, так и рельсового полотна, но в большей степени это относится к колесам и буксовым узлам.

Авторами предлагается методика безразборной виброакустической диагностики технического состояния подшипников качения в собранной буксе на колесной паре с использованием метода идентификационных измерений, предложенного в работе [1].

Согласно предложенному методу для вибродиагностики подшипников буксовых узлов будем максимально использовать все характеристики сигналов.

Поскольку заранее неизвестно, какая из характеристик сигнала будет наиболее информативной в отношении того или иного качественного признака, рекомендуется:

- анализировать не только сам сигнал, но и его приращения;
- анализировать основные функции сигнала: спектральная функция, корреляционная функция, вероятностная функция;
- измерять как распределение временных интервалов (РВИ), так и распределение мгновенных значений (РМЗ) с помощью метода, предложенного в работе [1].

В области цифровой обработки сигналов [2] с применением компьютерной техники используются разные виды характеристик, среди которых наиболее информативными и характеризующими более точно состояние являются следующие характеристики.

Временная характеристика $x(t)$ характеризует изменение физической величины (виброскорость или виброускорение) во времени.

Спектральная функция определяется следующим выражением:

$$S(X) = \int_0^t x(t) \exp(-j2\pi ft) dt, \quad (1)$$

где f – частота сигнала.

Корреляционная функция характеризует стохастическую (случайную) связь между двумя мгновенными значениями случайного сигнала, разделенного заданным интервалом времени τ

$$R(X) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - m_X][x(t + \tau) - m_X] dt, \quad (2)$$

где T – время наблюдения,

τ – длительность интервала пребывания значений функции ниже заданного уровня,

$m_X = \bar{x}(t)$ – математическое ожидание или среднее значение.

Вероятностная функция сигнала:

$$P(X) = f_x(x)|_b^a, \quad (3)$$

где a, b - границы интервала,

$f_x(x)|_b^a$ - плотность вероятности случайной величины X на интервале $[a, b]$.

Вместе с тем, эффективно для обработки сигнала использовать не только сам сигнал, но и его приращения:

$$\Delta x(t) = x_n(t) - x_{n-1}(t). \quad (4)$$

Поскольку $\Delta x(t)$ является функцией времени, то для нее также возможно применение характеристик, определяемых выражениями (1) – (3). Тогда к функции приращения следует применить характеристики, определяемые выражениями:

- $R(\Delta X)$ – корреляционная характеристика приращения функции $\Delta x(t)$,
- $S(\Delta X)$ – спектральная характеристика приращения функции $\Delta x(t)$,
- $P(\Delta X)$ – вероятностная характеристика приращения функции $\Delta x(t)$.

Полученный ряд характеристик сигнала как самых информативных полностью характеризует состояние объекта в вибродиагностике. Однако необходим универсальный аппарат для их обработки с целью получения необходимой информации для их идентификации и распознавания.

В предлагаемой методике методологии идентификационных измерений сигналов все характеристики распознаются путем преобразования с получением идентификационных параметров согласно методике, предложенной в [1].

Идентификационные параметры распределения мгновенных значений сигнала

$$Id^{\ominus}M_{(F)} = IdPM[X(t)] = IdP[X_1^H \dots X_R^H], \quad (5)$$

где $IdPM[.]$ – условное обозначение операции идентификационного преобразования распределения мгновенных значений сигнала,

$[X_1^H \dots X_R^H]$ – массив дискретизированных значений характеристик сигнала,

R – количество выборок,

F – вид характеристики сигнала (временная характеристика, спектральная, корреляционная, вероятностная).

Идентификационные параметры распределения временных интервалов сигнала

$$Id^{\ominus}B_{(F)} = IdPB[X(t)] = IdP[X_1^K \dots X_R^K], \quad (6)$$

где $IdPB[.]$ – условное обозначение операции идентификационного преобразования распределения временных интервалов сигнала,

$[X_1^K \dots X_R^K]$ – массив квантованных значений характеристик сигнала.

R – количество выборок,

F – вид характеристики сигнала (временная характеристика, спектральная, корреляционная, вероятностная).

Как следует из вышеизложенного, для обработки используется большое количество динамически изменяющихся параметров. Следовательно, будем применять математический аппарат статистического моделирования, где все параметры будут объединены в таблицы, а определение состояния подшипников будет связано с работой над данными, представленными в виде таблиц.

При решении задачи вибродиагностики подшипников буксовых узлов колесных пар необходимо иметь набор реализаций дефектов с одинаковым объемом выборки и постоянством условий их формирования. Каждая диаграмма записывается на диск, например в текстовом формате, и сопровождается качественным отличительным признаком в виде

названия дефекта или эталона.

По определенным в (5) и (6) идентификационным параметрам формируем базу данных идентификационных параметров эталонных сигналов и характеристик (табл. 1, 2).

Например, применительно к измерениям вибросигнала подшипников буксовых узлов колесных пар формируется реляционная модель базы данных эталонных измерений вибросигнала (с различными введенными дефектами).

Таблица 1

Реляционная модель базы данных эталонных сигналов
по измерениям распределения временных интервалов

Имя файла	Дефект подшипника	Измерения распределения временных интервалов			
		Функции сигнала			
		<i>Time-1</i> $F=<TI>$	<i>Hist-1</i> $F=<HI>$	<i>Corr-1</i> $F=<CI>$	<i>Spec-1</i> $F=<SI>$
File-name1.txt	Дефект 1	$IdB_{1(TI)}^{\ominus}$	$IdB_{1(HI)}^{\ominus}$	$IdB_{1(CI)}^{\ominus}$	$IdB_{1(SI)}^{\ominus}$
...
File-nameI.txt	Дефект I	$IdB_{i(TI)}^{\ominus}$	$IdB_{i(HI)}^{\ominus}$	$IdB_{i(CI)}^{\ominus}$	$IdB_{i(SI)}^{\ominus}$
...
File-nameN.txt	Дефект N	$IdB_{N(TI)}^{\ominus}$	$IdB_{N(HI)}^{\ominus}$	$IdB_{N(CI)}^{\ominus}$	$IdB_{N(SI)}^{\ominus}$

Примечание. F – функции сигнала $X(t)$, $IdB_{i(F)}^{\ominus}$ – идентификационный параметр измерений, $i=1 \dots N$ – количество дефектов.

Таблица 2

Реляционная модель базы данных по измерениям распределения мгновенных значений

Имя файла	Дефект подшипника	Измерения распределения мгновенных значений			
		Функции сигнала			
		<i>Time-1</i> $F=<TI>$	<i>Hist-1</i> $F=<HI>$	<i>Corr-1</i> $F=<CI>$	<i>Spec-1</i> $F=<SI>$
File-name1.txt	Дефект 1	$IdM_{1(TI)}^{\ominus}$	$IdM_{1(HI)}^{\ominus}$	$IdM_{1(CI)}^{\ominus}$	$IdM_{1(SI)}^{\ominus}$
...
File-nameI.txt	Дефект I	$IdM_{i(TI)}^{\ominus}$	$IdM_{i(HI)}^{\ominus}$	$IdM_{i(CI)}^{\ominus}$	$IdM_{i(SI)}^{\ominus}$
...
File-nameN.txt	Дефект N	$IdM_{N(TI)}^{\ominus}$	$IdM_{N(HI)}^{\ominus}$	$IdM_{N(CI)}^{\ominus}$	$IdM_{N(SI)}^{\ominus}$

Примечание. $IdM_{i(F)}^{\ominus}$ – идентификационный параметр измерений.

После создания баз данных эталонных измерений по той же схеме проводят измерение идентификационных параметров $Id^H M$ и $Id^H B$ исследуемого вибросигнала $X_H(t)$. Полученные численные и классификационные оценки идентификационных параметров исследуемого сигнала последовательно сравниваются со всеми эталонами по принципу «один – со всеми». При этом для числовых параметров вычисляются отклонения $\Delta Id_i M$ и $\Delta Id_i B$

$$\Delta Id_i^P = \frac{Id^H - Id_i^{\ominus}}{Id_i^{\ominus}} 100\% . \quad (7)$$

По идентификационной шкале эталонных сигналов [1] (табл. 3) составляется реляционная модель классификационной части базы данных эталонных вибросигналов дефектов

и исследуемых вибросигналов подшипников буксовых узлов колесных пар.

Таблица 3

Идентификационная шкала эталонных сигналов

Имя отметки	Коши (kosh)	Лапл (lapl)	Гамма (gamma)	Норм (gaus)	Симп (simp)	Равн (even)	Аркс (asin)	2Мод (2mod)
Порядковые №	1	2	3	4	5	6	7	8
Отметки шкалы	0	10	20	30	51	75	92	100

Для указанных эталонов значения идентификационных чисел известны заранее и хранятся внутри программы (базы данных) как некие константы. Диапазон идентификационных чисел эталонов (в данном примере от 0 до 100) охватывает полный диапазон существования любых других сигналов, как случайных так и периодических, а также их смесей [1].

Полученные идентификационные параметры $IdM_{i<F>}^{\ominus}$ путем интерполяции будем сравнивать с отметкой шкалы таблицы 3 и в результате полученные значения будут являться комплексными эталонными характеристиками $\pm \langle A_{i(F)}^{\ominus} \rangle$. Знак «±» перед лингвистической характеристикой определяется

$$\langle \pm \rangle = \begin{cases} +1, & \text{если } 0 < IdB_{iF}^{\ominus} < 1, \\ -1, & \text{если } IdB_{iF}^{\ominus} > 1. \end{cases} \quad (8)$$

Для исследуемого сигнала полученные идентификационные параметры $IdM_{i<F>}^{II}$ и $IdB_{i<F>}^{II}$ путем интерполяции сравниваются с отметкой шкалы таблицы 3, и в результате полученным значением будет являться комплексная характеристика $\pm \langle A_{i(F)}^{II} \rangle$ исследуемого сигнала. Знак «±» перед лингвистической характеристикой определяется

$$\langle \pm \rangle = \begin{cases} +1, & \text{если } 0 < IdB_{iF}^{II} < 1, \\ -1, & \text{если } IdB_{iF}^{II} > 1. \end{cases} \quad (9)$$

Классификационные параметры исследуемого сигнала и эталонов сравниваются между собой по принципу дихотомии «равен – не равен»

$$d_{i<F>}^M = \begin{cases} 1, & \text{если } \pm \langle A_{i<F>}^{\ominus} \rangle = \pm \langle A_{i<F>}^{II} \rangle, \\ 0, & \text{если } \pm \langle A_{i<F>}^{\ominus} \rangle \neq \pm \langle A_{i<F>}^{II} \rangle. \end{cases} \quad (10)$$

Таким образом, формируются массивы в виде баз данных результатов сравнения (табл. 4), которые служат предметом дальнейшего анализа.

По таблице сравнения эталонных и исследуемых вибросигналов составляем интегральные оценки по выражениям:

- Интегральная оценка критерия минимума ΔIdM

$$\overline{MeanIdM} = \frac{\sum_{i=1}^H \Delta IdM_{i<F>}}{H}. \quad (11)$$

- Интегральная оценка критерия минимума ΔIdB

$$\overline{MeanIdB} = \frac{\sum_{i=1}^H \Delta IdB_{i<F>}}{H}. \quad (12)$$

- Интегральная оценка критерия максимума $MeanP$

$$MeanP = \frac{\sum_{i=1}^H d_{i<F>}}{H} . \quad (13)$$

- Интегральная оценка критерия минимума $Mean$

$$Mean = \frac{MeanIdM + MeanIdB + MeanP}{3} . \quad (14)$$

Таблица 4

Реляционная модель базы данных сравнения идентификационных параметров измерений распределений мгновенных значений

Имя файла	Исследуемый сигнал	Измерения распределения мгновенных значений			
		Функции сигнала			
		Time-1 F=<T1>	Hist-1 F=<H1>	Corr-1 F=<C1>	Spec-1 F=<S1>
File-name1.txt	Mess1.txt	$d_{i<F>}^M$	$d_{i<F>}^M$	$d_{i<F>}^M$	$d_{i<F>}^M$
...	
File-nameI.txt		$d_{i<F>}^M$	$d_{i<F>}^M$	$d_{i<F>}^M$	$d_{i<F>}^M$
...	
File-nameN.txt		$d_{N<F>}^M$	$d_{N<F>}^M$	$d_{N<F>}^M$	$d_{N<F>}^M$

Анализ полученной базы данных проводится с целью выработки правильного диагностического решения о принадлежности исследуемого сигнала одному из эталонов. Это задача распознавания. Сложность этой процедуры состоит в изначальной неопределенности выбора критериев, предназначенных для отбора тех или иных решений.

Таблица 5

Реляционная модель базы данных интегральных оценок

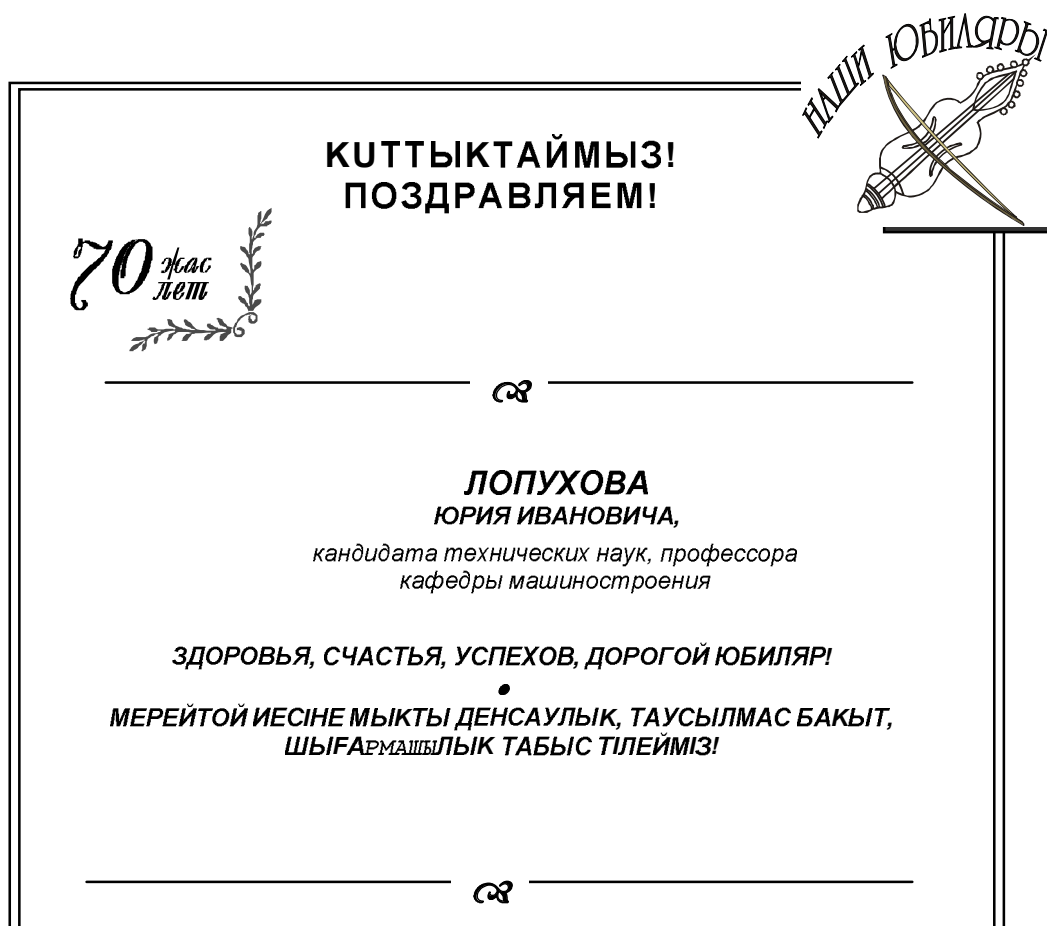
Имя файла эталона	Исследуемый сигнал	Интегральные оценки			
		$MeanIdM$	$MeanIdB$	$MeanP$	$Mean$
File-name1.txt	Mess1.txt	$MeanIdM_1$	$MeanIdB_1$	$MeanP_1$	$Mean_1$
...	
File-nameI.txt		$MeanIdM_i$	$MeanIdB_i$	$MeanP_i$	$Mean_i$
...	
File-nameN.txt		$MeanIdM_N$	$MeanIdB_N$	$MeanP_N$	$Mean_N$

Таким образом, рассмотрено применение метода идентификационных измерений для диагностики подшипников буксовых узлов колесных пар с нахождением всех идентификационных эталонных исследуемых вибросигналов, и решение задачи постановки диагноза (распознавания) требует участия эксперта, необходимого для устранения неоднозначности в принятии решения. Такие задачи решаются в эргатических системах управления, особенность которых в том, что в контур управления, т.е. в управляющую систему, включен сам человек-оператор [3].

Список литературы

1. Кликушин Ю.Н. Методы и средства идентификационных измерений сигналов / Ю.Н. Кликушин, К.Т. Кошеков. – Петропавловск: Изд-во СКГУ им. М.Козыбаева, 2007. – 186 с.
2. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. – М.: Мир, 1983. – Кн. 1-2.
3. Мухин В.И. Исследование систем управления. – М.: Изд-во Экзамен, 2006. – 2 изд., доп. и перераб. – 479 с.

Получено 4.02.10



УДК 621.8:625.7-192

Ж.О. Кульсеитов, В.Н. Сидоренко, А.М. Жандарбекова
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭРЛАНГА