

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ ПО ДЛИТЕЛЬНОСТЯМ ИМПУЛЬСОВ И ПАУЗ ОГИБАЮЩЕЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

**Шевченко С.А., канд. техн. наук**

*(Харьковский национальный технический университет  
сельского хозяйства им. Петра Василенко)*

*Обосновано использование среднеквадратических значений длительностей импульсов и пауз огибающей акустической эмиссии в качестве диагностических параметров подшипника. Преимуществами этих параметров являются помехоустойчивость, малый объем вычислений, инвариантность к нелинейному преобразованию сигнала по амплитуде.*

**Постановка проблемы.** Отказы тракторов и специальных лесных машин приводят к увеличению сроков и себестоимости работ. Повысить эксплуатационную надежность и уменьшить расходы можно, осуществляя диагностирование машин и упреждающую замену элементов. Для этого необходимо совершенствовать методики диагностирования, основанные, в частности, на измерении акустической эмиссии (АЭ).

**Анализ исследований и публикаций.** В [1] приведены результаты исследований по акустико-эмиссионному диагностированию питтинга упорного подшипника при ускоренных испытаниях. В качестве диагностических параметров использованы среднеквадратическое значение напряжения на выходе усилителя и две скорости счета акустической эмиссии, измеренные при пересечении сигналом двух пороговых уровней.

В [2] исследовали влияние искусственно созданного дефекта на дорожке роликового подшипника на акустическую эмиссию в зависимости от нагрузки и частоты вращения. Измеряли среднеквадратическое и максимальное значения и длительность всплеска эмиссии. Однако методика измерения длительности не формализована, что затрудняет измерения при многократных пересечениях порога дискриминации, свойственных сигналам АЭ.

В работе [3] исследовали акустико-эмиссионные признаки усталостного разрушения поверхности трибосистемы трения. Периодически измеряли спектр эмиссии (до 800 кГц) и строили графическое изображение в координатах «время-частота-интенсивность», а также пиковые значения АЭ (в 9-и полосах частот).

В [4] обосновано, что акустико-эмиссионные диагностические признаки трибосистем качения должны быть инвариантными к масштабированию сигнала по амплитуде и чувствительны к группированию импульсов АЭ во времени.

**Нерешенной частью проблемы** является обоснование акустико-эмиссионных диагностических параметров, которым присущи также следующие свойства:

- высокая степень сжатия первичной информации с датчика акустической эмиссии при малом объеме вычислений;
- помехоустойчивость;
- инвариантность к нелинейному преобразованию сигнала по амплитуде.

Это позволит отказаться от автоматического регулирования усиления сигнала АЭ, применяя вместо этого усилитель с нелинейной передаточной характеристикой вида  $\sqrt[a]{X}$ ,  $a > 1$  или аналогичной.

**Целью** данной работы является обоснование акустико-эмиссионного диагностического параметра, соответствующего указанным выше требованиям.

**Изложение основного материала.** Как и в [4], предлагаемый диагностический признак основан на том, что при прохождении шарика по месту разрушения поверхности кольца происходит всплеск интенсивности эмиссии. При этом целесообразно измерять временные параметры, т.к. измерение энергетических параметров затруднено [4].

Для уменьшения количества обрабатываемой информации целесообразно выделять огибающую сигнала акустической эмиссии, поскольку именно в ней заключена информация о вариациях мощности эмиссии, и выпрямлять её.

Как численную характеристику группирования импульсов предлагается использовать усредненную длительность импульсов (превышений сигналом порога дискриминации) и пауз между ними. Этот порог не может быть фиксированным (т.к. это приведет к влиянию чувствительности датчика и затухания сигнала АЭ на результаты измерений) и должен подстраиваться под мощность сигнала АЭ. Порог дискриминации целесообразно выбирать, определяя закон распределения амплитуд огибающей и решая уравнение

$$A = F^{-1}(k) , \quad (1)$$

где  $A$  – порог дискриминации импульсов АЭ, В;  $F^{-1}$  – функция, обратная к эмпирическому закону распределения амплитуд огибающей акустической эмиссии;  $k$  – заданный квантиль распределения.

По мере развития дефектов поверхностей качения будет увеличиваться длительность импульсов акустической эмиссии. Длительность пауз между импульсами также будет увеличиваться, поскольку все большая часть пересечений порога дискриминации будет соответствовать всплескам эмиссии при контактировании дефектных участков. В качестве усредненных численных характеристик длительностей импульсов и пауз целесообразно использовать их среднеквадратические значения.

Для вычисления частичных показателей технического состояния среднеквадратические значения импульсов и пауз нормируем к периоду контактирования дефектного участка дорожки качения с телами качения, что

позволит в значительной мере компенсировать влияние частоты вращения подвижного кольца подшипника на результат диагностирования:

$$T_Z = \frac{2T}{Z}, \quad (2)$$

$$D_\tau = \frac{\sqrt{M[\tau^2]}}{T_Z}, \quad D_g = \frac{\sqrt{M[g^2]}}{T_Z}, \quad (3)$$

где  $T_Z$  – период контактирования дефектного участка дорожки качения с телами качения, с;  $T$  – период вращения подвижного кольца подшипника, с;  $Z$  – количество тел качения;  $D_\tau$  – частичный показатель технического состояния подшипника, определенный по длительностям пауз АЭ;  $M[\tau^2]$  – математическое ожидание квадрата длительности пауз АЭ, с<sup>2</sup>;  $D_g$  – частичный показатель технического состояния подшипника, определенный по длительностям импульсов АЭ;  $M[g^2]$  – математическое ожидание квадрата длительности импульсов АЭ, с<sup>2</sup>.

Показатель  $D_g$  характеризует протяженность дефектного участка дорожки качения. Показатель  $D_\tau$  характеризует относительный рост интенсивности АЭ при контактировании тела качения с дефектным участком дорожки качения – т.е. интенсивность разрушения дорожки качения. Поскольку по мере развития дефекта поверхности увеличиваются оба частичных показателя, то техническое состояние подшипника качения определим как их произведение:

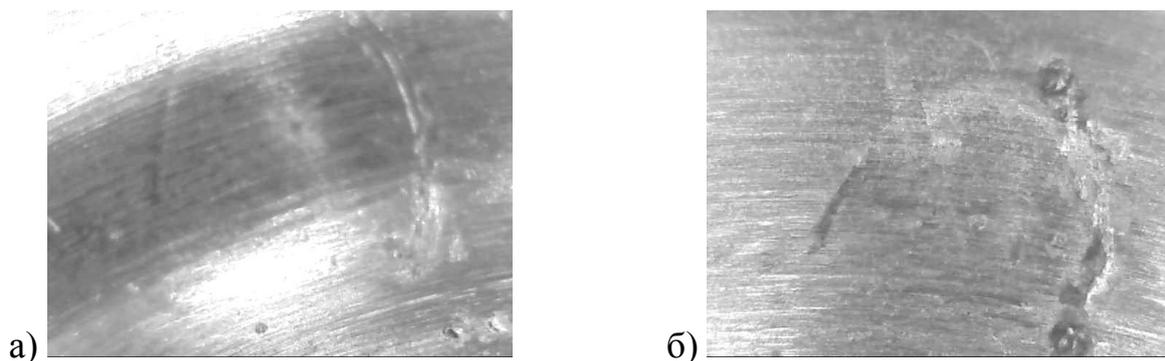
$$D = D_\tau D_g, \quad (4)$$

$D$  – показатель технического состояния подшипника качения.  
Преобразуя (3) с учетом (2), получим:

$$D = \frac{\sqrt{M[\tau^2]} \sqrt{M[g^2]}}{\left(\frac{2T}{Z}\right)^2}. \quad (5)$$

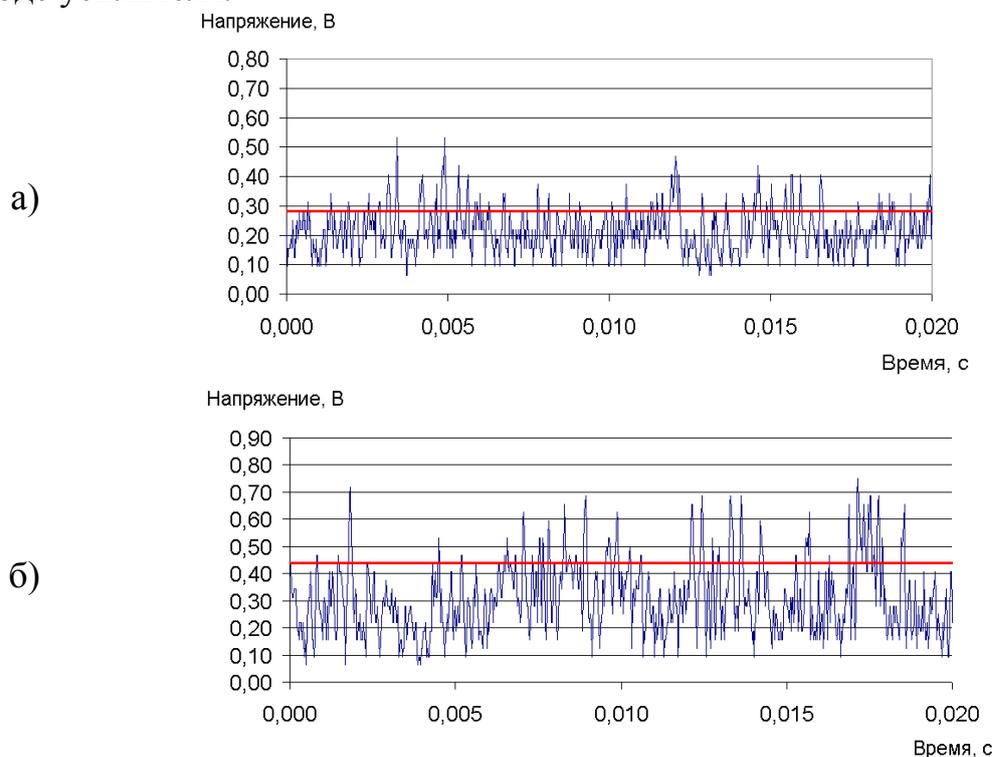
Экспериментальное исследование осуществлено на стенде [5], в съемный подшипниковый узел которого устанавливался упорный шарикоподшипник 8100. Измерения АЭ осуществлялись дважды – нового подшипника и того же подшипника после искусственного инициирования и развития питтинга (путем вдавливания шарика в дорожку качения и работы под нагрузкой 4900Н на

протяжении 5 часов). Фото, сделанное с помощью USB-микроскопа, показано на рис. 1 (продольный размер дефектного участка – 1 мм).



а) – инициирование питтинга, б) – после работы под нагрузкой  
Рисунок 1 – Дефект на дорожке качения.

На рисунке 2 приведены осциллограммы выпрямленного напряжения на выходе усилителя.



а) - новый подшипник; б) - подшипник после инициирования и развития питтинга

Рисунок 2 – Осциллограммы акустической эмиссии подшипника (напряжение на выходе усилителя)

Результаты статистической обработки 10-и измерений акустической эмиссии нового подшипника и 10-и измерений эмиссии подшипника после инициирования и развития питтинга приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты статистической обработки измерений АЭ

Параметр	Новый подшипник			Подшипник после искусственного инициирования и развития питтинга		
	$D$	$D_{\tau}$	$D_g$	$D$	$D_{\tau}$	$D_g$
Среднее значение	0,0005	0,0078	0,0625	0,0011	0,0105	0,1051
Коэффициент вариации	0,19	0,11	0,12	0,23	0,15	0,15
Минимум	0,00033	0,0065	0,0511	0,00088	0,0085	0,0849
Максимум	0,00062	0,0095	0,0744	0,00177	0,0138	0,1310

В процессе испытаний предложенный показатель технического состояния увеличился вдвое, а интервалы разброса его значений не перекрывались, что подтверждает возможность его применения.

**Выводы.** Предложенный показатель обладает устойчивостью по отношению к импульсным помехам, поскольку они искажат лишь малую часть пауз огибающей и существенно не повлияют на усредненный результат. Поскольку предложенный показатель основан на измерении временных интервалов, а порог дискриминации выбирается по заданному квантилю распределения АЭ, то нелинейное преобразование сигнала по амплитуде не повлияет на результат вычисления показателя технического состояния. Поскольку вычисление показателя технического состояния сводится, преимущественно, к определению гистограммы амплитуд сигнала эмиссии и сравнению их с пороговым значением, то общий объем вычислений пропорционален длительности сигнала и сравнительно невелик.

Перспективным направлением дальнейших исследований является получение зависимостей изменения предложенного показателя технического состояния по мере развития питтинга (до достижения предельного состояния) и обоснование допустимого значения показателя.

## Список литературы

1. Libor Nohal, Pavel Mazal, Filip Hort. Analysis of Surface Initiated Damage in Thrust Bearings with Acoustic Emission // 30th European Conference on Acoustic Emission Testing & 7th International Conference on Acoustic Emission. University of Granada, 12-15 September 2012. -7 p.
2. Abdullah M. Al-Ghamdi, D. Zhechkov, D. Mba. The use of Acoustic Emission for bearing defect identification and estimation of defect size. European Working Group on Acoustic Emission – 2004. –P. 396–407.
3. P.Mazal, V. Koula, F. Hort, F. Vlašic. Applications Of Continuous Sampling Of AE Signal For Detection Of Fatigue Damage. –NDT in Progress, 2010. –№4. –8 p.

4. Шевченко С.А. Класифікація та обґрунтування вимог до акустико-емісійних ознак дефектів пар тертя механізмів // Вісник ХНТУСГ. Проблеми технічної експлуатації машин. -Харків: ХНТУСГ, 2012. -Вип. 122. - С. 86-90.
5. Войтов В.А., Шевченко С.А. Обоснование структуры комплекса для исследования акустико-эмиссионных признаков дефектов подшипников качения // Вісник ХНТУСГ. Проблеми технічної експлуатації машин. - Харків: ХНТУСГ, 2011. -Вип. 109. - С. 50-54.

#### **Анотація**

### **ДІАГНОСТУВАННЯ ПІДШИПНИКА КОЧЕННЯ ЗА ТРИВАЛІСТЯМИ ІМПУЛЬСІВ І ПАУЗ ОБВІДНОЇ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ**

Шевченко С.А.

*Обґрунтовано використання середньоквадратичних значень тривалостей імпульсів і пауз обвідної акустичної емісії як діагностичних параметрів підшипника. Перевагами цих параметрів є завадостійкість, малий об'єм обчислень, інваріантність до нелінійного перетворення сигналу по амплітуді.*

#### **Abstract**

### **DIAGNOSIS OF ROLLING BEARING ON THE DURATION OF THE PULSES AND PAUSES THE OF ENVELOPE ACOUSTIC EMISSION**

Shevchenko S.A.

*Justified of using RMS values of pulses and pauses as diagnostic parameters of a rolling bearing. Choosing the discrimination threshold is carried out according the law of the amplitude distribution of the envelope of acoustic emission. Advantage of these parameters are high compression of the primary information, immunity, low volume calculations, the invariance to a nonlinear transformation of a signal amplitude.*