

УДК 534.86

**Бубнов Евгений Яковлевич**, доцент кафедры физики, канд.тех.наук, доцент  
e-mail: [kaf\\_phys@vsuwt.ru](mailto:kaf_phys@vsuwt.ru)

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород,  
Россия

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКОВ БУКС ВАГОНА ПО УПРУГИМ ПОЛЯМ

*Аннотация.* Построена теоретическая модель вибрационного поля, создаваемого одним видом дефекта подшипника на основе когерентной последовательности импульсов, и в рамках этой теории описаны информативные признаки диагностики. Проведены экспериментальные измерения упругих полей, создаваемых подшипником с неисправным узлом, и выполнено сравнение с расчетными оценками.

*Ключевые слова:* диагностика, подшипники, вибрационные поля, когерентная последовательность импульсов, теория, эксперимент

Определение дефектов изделий машиностроения является актуальной проблемой при диагностике их неисправностей и предупреждения аварий. Среди известных в настоящее время методов дефектоскопии вибрационная диагностика имеет перспективное применение, особенно в задачах безразборного определения технического состояния устройств. Важными изделиями диагностики являются подшипники качения, имеющие существенную трудоемкость разборки [1, 2]. Одним из недостатков работ является отсутствие теоретических обоснований предложенных методов.

Несмотря на то, что подшипники относятся к изделиям высокой точности исполнения, в процессе их эксплуатации происходит рост геометрических отклонений, в частности при больших нагрузках на роликах образуются микронарушения поверхности, приводящие к появлению локальных выбоин и окончательному разрушению изделия.

В докладе предложена математическая модель вибрационных сигналов для развивающегося дефекта одиночного ролика подшипников, эксплуатируемых в колесных буксах вагонов.

В процессе вращения дефектным роликом будет создаваться последовательность знакопеременных импульсов, форма огибающей которых определяется геометрическими размерами и упругими параметрами материала подшипника.

Тогда гипотетический вибрационный сигнал в общем случае можно описать следующей формулой:

$$s(t) = \sum_{k=1}^M A_0[t - (k-1)T_n] \sin(2\pi f_0 t - \varphi_{k0}) \quad (1)$$

где  $f_0$ —частота импульсов,  $A_0(t - (k-1)T_n)$ —огибающая импульсов, определяемая параметрами колебательной системы,  $T_n$ —период повторения импульсов за счет вращения дефектного ролика в обойме подшипника,  $\varphi_{k0}$ —начальные фазы импульсов,  $M$ —число импульсов в пачке. Заметим, что существенное влияние на спектральные характеристики

сигнала оказывают соотношения начальных фаз  $\varphi_{k0}$  от импульса к импульсу

Если начальные фазы импульсов изменяются случайным образом, то такая последовательность называется некогерентной. На рис.1 приведена возможная осциллограмма вибрационного сигнала, а на рис. 2 изображен амплитудный спектр такой пачки, который совпадает со спектром одиночного импульса длительностью  $t_n$ .

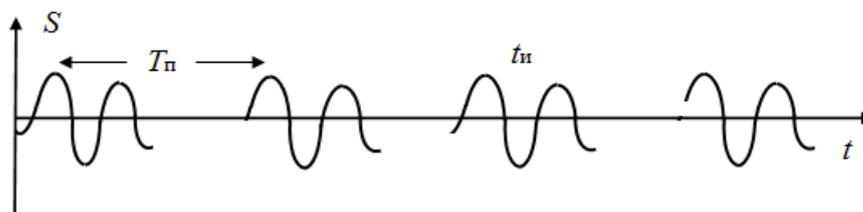


Рис.1. Осциллограмма некогерентных вибрационных импульсов

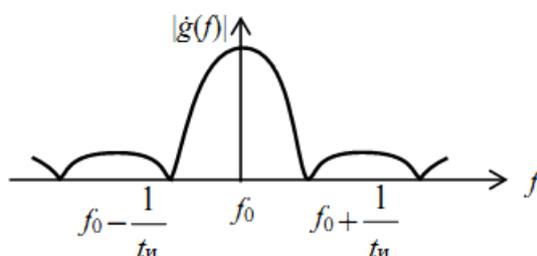


Рис. 2. Амплитудный спектр некогерентной последовательности импульсов

Спектр такой последовательности является сплошным с максимумом спектральной плотности на частоте  $f_0$ .

Если в формуле (1) изменения начальных фаз от импульса к импульсу происходят закономерным образом, то такая временная последовательность описывает класс когерентных импульсов. На рис.3 приведена осциллограмма когерентных импульсных колебаний, в которой начальные фазы от импульса к импульсу изменяются на  $\pi/4$ .

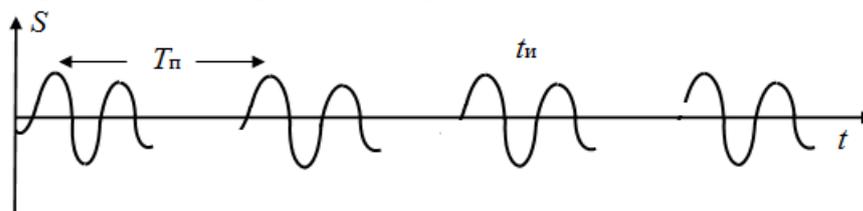


Рис.3. Осциллограмма когерентных вибрационных импульсов

Отличительной чертой когерентной пачки является то, что его амплитудный спектр является дискретным (рис. 4), а частоты дискрет рассчитываются по формуле :

$$f_k = f_0 \pm kF_n \quad (2)$$

где  $F_n$  – частота повторения импульсов ( $F_n=1/T_n$ ).

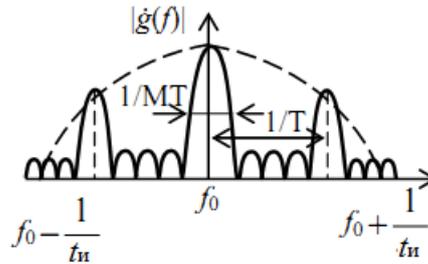


Рис. 4. Амплитудный спектр когерентной последовательности импульсов

Таким образом, когерентная пачка импульсов обладает большими информационными признаками, в частности, появлением эквидистантного ряда гармоник.

Ключевое предположение настоящей работы заключается в том, что если дефект в подшипнике является единичным, то следует ожидать, что начальные фазы импульсов будут жестко связаны между собой и теоретическую модель вибрационного сигнала можно будет описать когерентной последовательностью импульсов. Для случая множественных равнозначных дефектов в изделии закономерная связь между начальными фазами импульсов может нарушаться, что приведет к формированию некогерентной последовательности.

Ожидаемую частоту повторения импульсов для подшипника с дефектом ролика можно вычислить по эмпирической формуле работы [3]

$$F_n = \frac{D-d}{d} \times \frac{D+d}{D} n \quad (3)$$

где  $D$ —диаметр окружности, по которой расположены центры роликов, мм,  $d$ —диаметр роликов, мм,  $n$ —частота вращения вала, Гц.

При заданных геометрических характеристиках подшипника и частоты вращения расчет по формуле (3) дает значение частоты повторения импульсов равной 1,6 Гц.

В работе была проведена экспериментальная проверка предложенной гипотезы на примере одиночного дефекта ролика в виде поперечного пропила. Измерения вибрационных сигналов, создаваемых вращающимися подшипниками букс колесных пар, проводились на разгонной установке в вагонном депо "Зелецино" Горьковской железной дороги [4]. В качестве приемников вибраций использовались акселерометры КД-14, имеющие электромеханический коэффициент передачи 1 мВ/м/с<sup>2</sup>. Датчики крепились на площадках исправной и неисправной букс. Вибрационные сигналы регистрировались на аналоговый магнитограф НО-67, имеющий полосу записи 0-10000 Гц и динамический диапазон 40 дБ.

На рис.5 приведены спектры огибающих высокочастотных вибрационных сигналов, создаваемых вращением подшипника с дефектным роликом (кривая 1) и полностью исправным подшипником (кривая 2). Для спектральной кривой 1 наблюдается периодическая изрезанность с частотой 1,4 Гц, что хорошо согласуется с расчетной частотой повторения импульсов, равной 1,6 Гц (формула 3). Для исправного подшипника регулярной изрезанности в спектральной кривой не наблюдается (кривая 2). Количественное различие спектральных значений амплитуд для неисправного и исправного подшипников достигает 20 дБ.

Таким образом, предложенная математическая модель вибрационных сигналов в виде когерентной последовательности импульсов для описания дефекта одиночного ролика подшипников подтверждена результатами эксперимента.

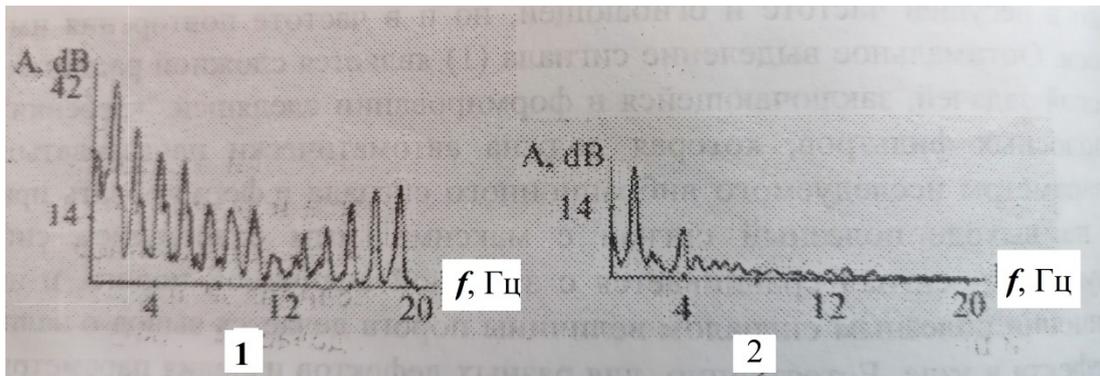


Рис. 5. Амплитудные спектры огибающих вибрационных сигналов для неисправного и исправного подшипников

**Список литературы:**

1. Павлов. Б.В. Акустическая диагностика механизмов. М., Машиностроение, 1971.
2. Генкин М.Д., Соколова Л.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. М., Машиностроение, 1987
3. Коллакот Р.Д. Диагностирование механического оборудования. Л., Судостроение, 1980.
4. Бубнов Е.Я., Шемагин В.А., Гусев М.И., Мирошниченко В.Н. Экспериментальные исследования диагностических признаков дефектов узлов подшипников по вибрационным полям. // Труды по ФЦП "Интеграция" Физические технологии в машиноведении, Н.Новгород: НГТУ Вып.2, 2000,– С. 51 –56

**INVESTIGATION OF DEFECTS IN AXLE BOX CAR BEARINGS BY ELASTIC FIELDS**

Evgeny. Ya. Bubnov

*Abstract:* A theoretical model of a vibration field created by one type of bearing defect based on a coherent pulse sequence was built, and within the framework of this theory, informative signs of diagnostics are described. Experimental measurements of elastic fields created by bearing with faulty assembly were carried out and compared with design estimates.

*Key words:* diagnostics, bearings, vibration fields, coherent pulse sequence, theory, experiment