

МОДЕЛИ СИГНАЛОВ ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Сеглюк И.М., Цурко А.В.

Давыдов И.Г. – канд. техн. наук, доцент

Описаны математические модели сигналов вибрации подшипников качения при наличии поверхностных дефектов тел качения, внутреннего и внешнего колец. Выполнена реализация моделей в среде MATLAB, что позволяет получить временные реализации сигналов вибрации при заданных параметрах дефектов.

Одним из наиболее распространенных и уязвимых элементов роторных механизмов являются подшипники качения. Они осуществляют пространственную фиксацию вращающихся конструкций, обеспечивают движение с малым сопротивлением и воспринимают значительную часть статических и динамических усилий, возникающих в механизме. Поэтому техническое состояние подшипников является одной из важных составляющих, определяющей работоспособность и эффективность механизма в целом.

В моменты прохождения дефектных элементов через нагруженную зону подшипника качения или прохождения тел качения через дефектные участки колец подшипника в следствии микроударов возникает резкое кратковременное возрастание потерь кинетической энергии, переходящей в колебания механизма, что проявляется в сигнале вибрации механизма четко выраженными по амплитуде импульсами. Параметры этих импульсов определяются видом, локализацией и степенью развития дефектов подшипника. Каждый такой ударный импульс обладает четырьмя основными параметрами: максимальная амплитуда импульса, частота свободных (заполняющих) колебаний, скорость затухания амплитуды этих колебаний, и частота повторения импульсов.

В соответствии с [1] математическая модель ударного импульса представляет собой затухающую синусоиду и может быть записана в виде:

$$x(t) = Ae^{-\alpha t} \sin 2\pi f_0 t,$$

где A – начальная амплитуда, α – декремент затухания, f_0 – резонансная (собственная) частота затухающих колебаний.

Модель ударного импульса, полученная в среде MATLAB, представлена на рисунке 1:

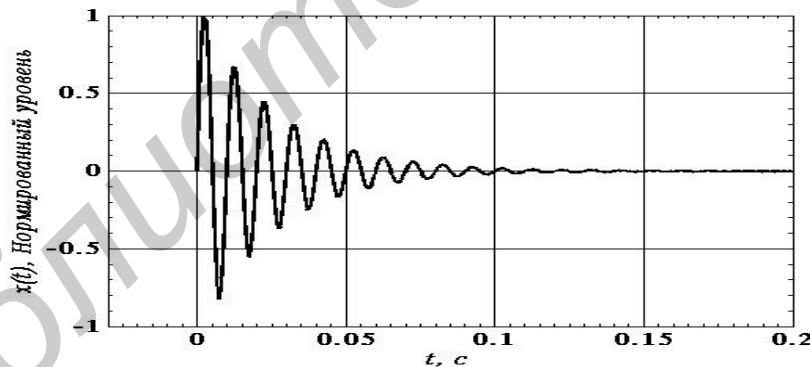


Рис. 1 – Модель ударного импульса

Частоты, на которых появляются гармонические составляющие, соответствующие определенному дефекту подшипника качения, могут быть заранее рассчитаны с определенной погрешностью исходя из геометрических размеров подшипника качения и скорости его вращения. Эти частоты зависят от частоты вращения вала, то есть скорости вращения подвижного кольца относительно неподвижного f_r . Расчет частот, на которых проявляет себя дефект, проводится исходя из геометрических размеров подшипников и количества движущихся тел, следующим образом [2]:

частота вращения сепаратора относительно наружного кольца

$$FTF = \frac{f_r}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \varphi \right);$$

Где:

d – диаметр тела качения,

D – диаметр сепаратора,

φ – угол контакта тел и дорожек качения,

n – количество тел качения.

частота перекатывания тел качения по наружному кольцу

$$BPFO = \frac{nf_r}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \varphi \right);$$

частота перекатывания тел качения по внутреннему кольцу

$$BPF1 = \frac{nf_r}{2} \left(1 + \frac{d}{D} \cos \varphi \right);$$

частота вращения тела качения относительно поверхности колец

$$BSF = \frac{D}{2d} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \cos \varphi \right)^2 \right);$$

Приведенные выражения определяют частоты основных гармоник в спектрах вибрации и огибающей высокочастотных составляющих при различных видах дефектов.

Математические модели сигналов вибрации подшипника качения при различных дефектах представляют собой периодические последовательности импульсов с частотой повторения равной частоте перекачивания тел качения по содержащей дефект поверхности (при дефектах колец), либо равной частоте перекачивания тела качения по поверхности обоих колец (при дефекте тела качения). В соответствии с [2], сигналы вибрации при наличии дефектов определяются по формулам:

дефект наружного кольца	$s(t) = \sum_{k=1}^K A_k e^{-\alpha_k t} \sin 2\pi f_0 (t - 1/BPFO) + n(t),$ $K = T \cdot BPFO;$	Где: A_k – амплитуда k -ой затухающей синусоиды, α_k – декремент затухания k -ой затухающей синусоиды, $n(t)$ – шумовая составляющая вибрационного сигнала (АБГШ), K – количество ударных импульсов на интервале наблюдения, T – интервал наблюдения.
дефект внутреннего кольца	$s(t) = (1 + \sin(2\pi f_r t)) \sum_{k=1}^K A_k e^{-\alpha_k t} \sin 2\pi f_0 (t - 1/BPFI) + n(t),$ $K = T \cdot BPFI;$	
дефект тела качения	$s(t) = (1 + \sin(2\pi f_r t)) \sum_{k=1}^K A_k e^{-\alpha_k t} \sin 2\pi f_0 (t - 1/BPFI) + n(t),$ $K = T \cdot BSF;$	

Математические модели реализованы в среде MATLAB, что дает возможность генерировать реализации сигналов вибрации подшипников качения в различных комбинациях нормального и дефектных состояний с заданными параметрами.

Результаты моделирования в среде MATLAB представлены на рисунке 2 а, б, в.

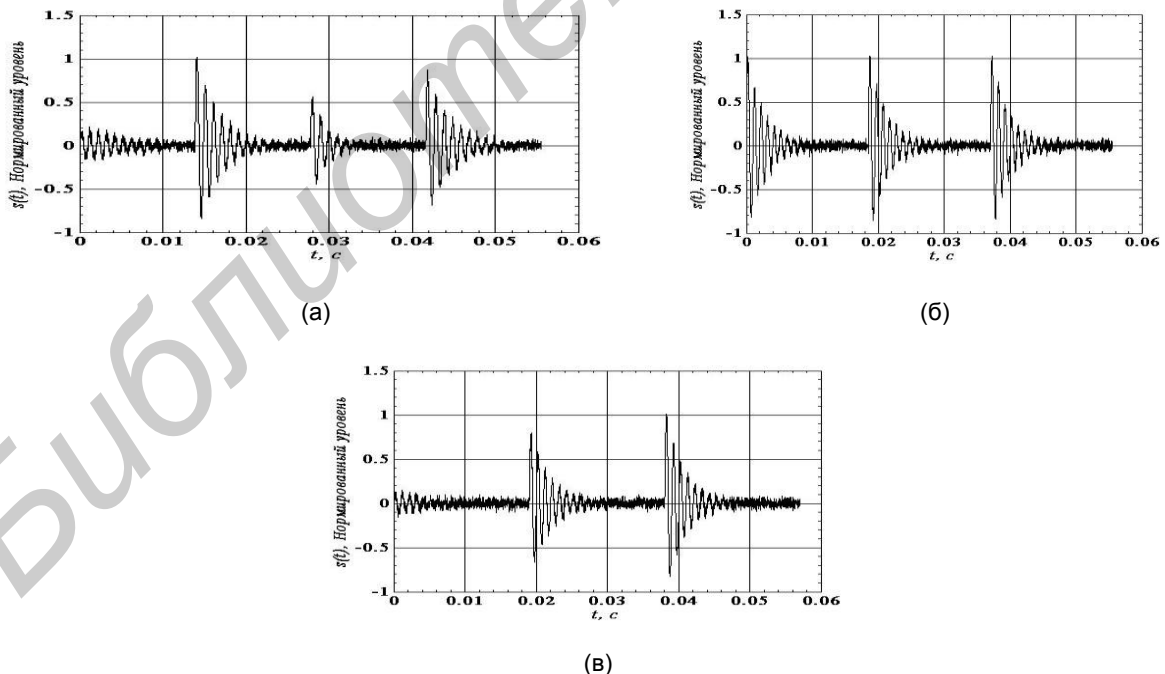


Рис. 2 – Временные реализации сигналов вибрации

а – при наличии дефекта внутреннего кольца, б – при наличии дефекта внешнего кольца, в – при наличии дефекта тела качения

Список использованных источников:

1. Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. — М.: Машиностроение, 1987. — 288 с.

2. R.B. Randall Vibration-based condition monitoring: industrial, aerospace and automotive applications, 2011.