Библиографический список

1. Непрерывный мониторинг состояния моторвагонного подвижного состава / В. Н. Костюков, С.В. Сизов, В.П. Аристов, Ал.В. Костюков, Д.В. Казарин // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 6.– С. 41-42.

2. Костюков, В.Н. Комплексное диагностирование электропоездов в условиях депо / В.Н. Костюков, Ал.В. Костюков // Евразия Вести. – 2012. – Сентябрь. – С.30.

3. Костюков, В. Н. Диагностика оборудования электрических цепей электропоездов при отладке и приемосдаточных испытаниях / В. Н. Костюков Ал.В. Костюков, Д.В. Казарин // Контроль. Диагностика. – 2010. – № 1. – С.26-35.

4. Kazarin, D. Stationary complex diagnostic system for electric trains. 6 International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies / A. Kostyukov, A. Lagaev, D. Kazarin. – Ireland, Dublin, 2009. – P. 1105 – 1109.

5. Костюков, В.Н. Автоматизированная система управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией и ремонтом оборудования подвижного состава пригородного пассажирского комплекса (АСУ БЭРТМ МВПС) / В.Н. Костюков, Ал.В. Костюков, А.В. Щелканов, Д.В. Казарин // Техника железных дорог. – 2013. – № 1. – С.62-66.

УДК 534.647:621.432 (001.8)

В.Н. Костюков, V.N. Kostyukov, e-mail: post@dynamics.ru
А.П. Науменко, A.P. Naumenko, e-mail: post@dynamics.ru
И.С. Кудрявцева, I.S. Kudryavtceva, e-mail: post@dynamics.ru
ООО «НПЦ «Динамика», г. Омск, Россия
Ltd. "SPC "Dynamics", Omsk, Russia

ДИАГНОСТИКА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ

DIAGNOSIS OF ROLLING BEARINGS ACCORDING TO THE PARAMETERS OF THE CHARACTERISTIC FUNCTIONS

В докладе рассмотрены вопросы применения параметров характеристической функции вибрации для оценки состояния подшипников качения. Приведено описание экспериментальной установки и методики получения экспериментальных данных. Рассматриваются результаты обработки экспериментальных данных, приводится описание способа диагностирования подшипников качения по параметрам характеристической функции.

The report considers the issues of application of the characteristic function parameters of vibration to assess the condition of rolling bearings. The description of the experimental installation and method of obtaining experimental data. Discusses the results of processing experimental data, a description of the method of diagnostics of rolling element bearings on the parameters of the characteristic function.

Ключевые слова: *диагностика, техническое состояние, подшипника качения, характеристическая функция*

Keywords: *diagnostics, technical condition, rolling bearing, characteristic function*

Анализ аварий и машинного оборудования, в котором имеет место вращательное движение, показал, что значительная доля остановов происходит по причине разрушения под-

шипников качения (40÷50 %). Решением проблемы предотвращения внезапных отказов подшипников является внедрение вибродиагностического мониторинга состояния подшипников во время их эксплуатации и переход от планово-предупредительного ремонта к системе технического обслуживания и ремонта по фактическому техническому состоянию.

Практически все известные методы диагностики технического состояния (ТС) подшипников качения основаны на анализе виброакустического (ВА) сигналов во временной или частотной области. Но поскольку работа подшипника в составе агрегата в некоторых случаях сопровождается большим уровнем шума, то возникает вероятность появления ошибки второго рода. Поэтому повышение достоверности результатов диагностирования за счет разработки новых методик является актуальной задачей. В связи с этим большой интерес представляет исследование изменения параметров характеристической функции (х.ф.) ВА сигналов подшипников при изменении их ТС.

Обычно на практике анализу подвергаются ВА сигналы, имеющие конечное число мгновенных значений, поэтому результат определения значений х.ф. $\theta(v)$ находится по формуле оценки [3].

$$\theta(v)^* = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \exp[iv\xi_i(t)], \tag{1}$$

где $\xi_i(t)$ – мгновенные значения ВА сигнала, v – вещественный параметр, N – объем выборки.

Учитывая многолетние исследования авторов, которые показывают, что мгновенные значения ВА сигналов подшипников подчиняются закону распределения близкому к нормальному, то выражение (1) примет вид:

$$\theta(v)^* = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \cos[v\xi_i(t)], \tag{2}$$

Таким образом, оценка х.ф. может быть получена из формулы (2). Исходя из приведенных теоретических выкладок, разработана методика получения оценки х.ф. и последующего анализа данных.

С целью выявления параметров х.ф., которые соответствуют различным техническим состояниям и дефектам подшипников, проведены экспериментальные исследования по получению ВА сигналов от бездефектного и дефектным подшипникам следующих типов:

– 317 (бездефектный);
– 7316 (дефект тел качения);
– 46416 (дефект внутреннего кольца);
– 46416 (дефект внешнего кольца).

Для исключения влияния различных факторов, несвязанных с дефектами подшипников, эксперимент проводился на приводе 1602 системы вибродиагностики подшипников качения КОМПАКС®-РПП. Датчик привода (основной) 1602 подключался к модулю 4440.2 системы КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-3 и осуществлялось измерение вибрации в радиальном направлении.

Эксперимент проводился при частоте вращения $f_{об}$=5,5; 7,2; 9,2; 10,7 Гц и осевой и радиальной нагрузках 10 кг, 20 кг, 40 кг, 80 кг.

С целью контроля общего вибрационного состояния стенда, помимо основного датчика на узлы стенда 1602 (шпиндельную бабку и станину), устанавливались дополнительные акселерометры.

Сигналы получены с частотой дискретизации $f_д = 80139$ Гц и длиной выборки временной реализации около $T = 1$ с. Количество отчетов в выборке $N = 80192$. Частота среза антиалиасингового фильтра $F_{ФПК} = 20$ кГц (фильтра устранения эффекта наложения спектров).

В результате обработки ВА сигналов подшипников с известными дефектами получены графики х.ф.. Анализ зависимостей (рис. 1) показывает, что параметры х.ф. ВА сигналов подшипников качения являются чувствительными к изменению их ТС, причем, состояние подшипника определяется формой х.ф. Поэтому можно однозначно говорить о параметрах х.ф. как о диагностических признаках (ДП) ТС подшипников качения.

Анализ параметров х.ф. в зависимости от видов ТС подшипников показывает, что

– применение для диагностирования х.ф. вибрации, благодаря её свойствам обеспечивает получение безразмерного инварианта ВА процесса, что является безусловным преимуществом данного ДП [5] по отношению к размерным абсолютным величинам ДП [6, 7] и исключает необходимость подбора исправных и неисправных подшипников-эталонов для установления предельных значений параметров и обучения систем диагностики, что существенно сокращает сроки их разработки и внедрения, при этом:

1) модуль х.ф. в широком диапазоне изменения параметра х.ф. $\nu \geq 0$ заключен между 1 и 0, которые являются естественными физическими эталонами «хорошего» и «плохого» состояния подшипников;

Рис. 1. Зависимость модуля х.ф. ВА сигналов
от технического состояния подшипников качения

2) параметр х.ф. ν начинается от 0 для всех значений модуля х.ф. $|\theta(\nu)|$ и при этом параметр х.ф. ν стремится к нулю при деградации состояния подшипника – появлении и развитии в нем неисправностей, – и является «естественной» границей для неисправного подшипника – его эталоном;

– оценка параметра х.ф. ν и соответствующего ему значения модуля х.ф. $|\theta(\nu)|$ является необходимым и достаточным условием для оценки состояния подшипника;

– оценивание значения параметра х.ф. ν при заданном модуле $|\theta(\nu)|$ и определение степени деградации состояния подшипника по его близости к 0, позволяет с высокой достоверностью осуществить диагностирование механизма при фиксированном модуле х.ф. $|\theta(\nu)|$ и полученном параметре х.ф. ν, резко снижает продолжительность диагностирования, т.к. не требует получения всей зависимости $|\theta(\nu)|$;

– оценивание значения модуля х.ф. $|\theta(\nu)|$ при заданном параметре ν и определение степени деградации состояния подшипника по его изменению от 1 к 0 позволяет с высокой достоверностью осуществить диагностирование подшипника при фиксированном параметре х.ф. ν и полученном модуле х.ф. $|\theta(\nu)|$, и резко снижает продолжительность диагностирования, т.к. не требуется определять всю зависимость $|\theta(\nu)|$.

На основе полученных результатов разработан способ диагностирования технического состояния подшипников качения, который можно использовать для повышения достоверности их диагностирования [8].

Предложенный способ ВА диагностики механизмов по х.ф. вибрации [8], основанный на измерении и использовании для диагностики принципиально новых инвариантов – модуля и параметра х.ф. вибрации позволяет повысить достоверность результатов диагностирования при одновременном упрощении диагностической аппаратуры и снижении продолжительности диагностирования.

Библиографический список

1. Костюков, В. Н. Повышение операционной эффективности предприятий на основе мониторинга в реальном времени / В. Н. Костюков, Ан.В. Костюков. – М.: Машиностроение, 2009. – 192 с.

2. Костюков, В. Н. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: учеб. пособие / В. Н. Костюков, А. П. Науменко. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 360 с.

3. Вешкурцев, Ю.М. Прикладной анализ характеристической функции случайных процессов. – М.: Радио и связь, 2003. –201.

4. Костюков, В.Н. Мониторинг безопасности производства. – М.: Машиностроение,. 2002. – 224 с.

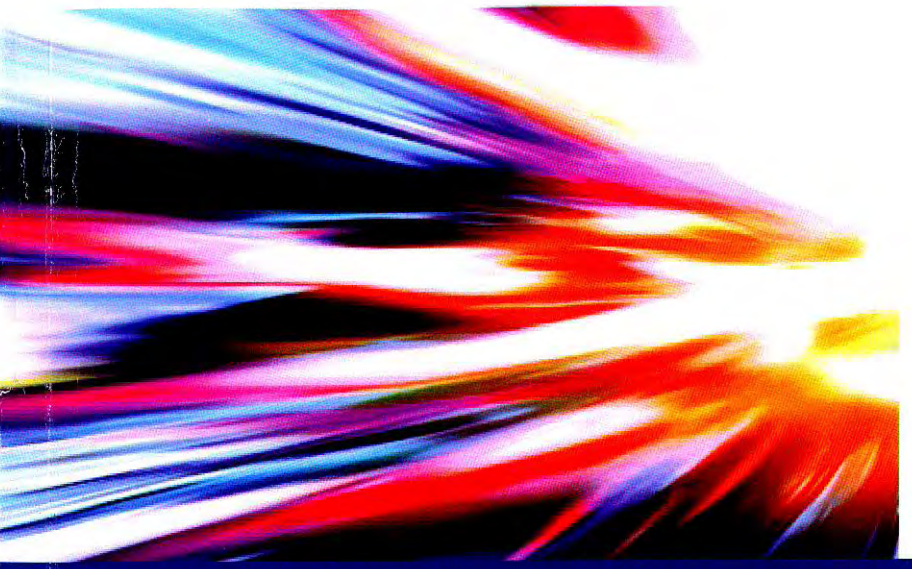
5. Пат. 2314508 Российская Федерация, МПК G01M15/00, G01M7/02. Способ вибродиагностики машин / Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Науменко А.П.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью НПЦ "Динамика" - Научно-производственный центр "Диагностика, надежность машин и комплексная автоматизация". – № 2006135874; заявл. 10.10.06; опубл. 10.01.08, Бюл. № 1.

6. Костюков, В. Н. Нормативно-методическое обеспечение мониторинга технического состояния поршневых компрессоров / В. Н. Костюков, А.П. Науменко // Контроль и диагностика. – 2005. – № 11. – С. 20-23.

7. Костюков, В.Н. Решения проблем безопасной эксплуатации поршневых машин / В. Н. Костюков, А.П. Науменко // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. – № 3. – С. 27-36.

8. Пат. 2514119 Российская Федерация, G01M7/02, G01M13/04. Способ вибродиагностики механизмов по характеристической функции вибрации / Костюков В.Н., Науменко А.П., Бойченко С.Н., Кудрявцева И.С. ; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью НПЦ "Динамика" - Научно-производственный центр "Диагностика, надежность машин и комплексная автоматизация".– № 2012100600/28; заявл. 10.01.2012; опубл. 27.04.2014, Бюл. № 12.

ISSN 2310-9793



Омский
государственный
технический
университет

ДИНАМИКА СИСТЕМ, МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

№ 4, 2014

Радиотехнические системы, устройства и СВЧ-технологии, информационно-телекоммуникационные системы и безопасность

Вибродиагностика, мониторинг, риски

Техносферная безопасность

ISSN 2310-9793

ДИНАМИКА СИСТЕМ, МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

DYNAMICS OF SYSTEM, MECHANISMS AND MASHINES (DYNAMICS)

Шесть номеров в год
с периодичностью один раз в два года

№ 4, 2014

Учредитель:

Омский государственный технический университет

Редакционная коллегия:

В. В. Шалай, доктор технических наук
Е. А. Андреева, доктор технических наук
П. Д. Балакин, доктор технических наук
С. В. Бирюков, доктор технических наук
А. В. Бубнов, доктор технических наук
Ю. А. Бурьян, доктор технических наук
В. Н. Горюнов, доктор технических наук
А. А. Колоколов, доктор физ.-мат. наук
А. В. Косых, доктор технических наук
В. И. Левченко, доктор технических наук
Ю. К. Машков, доктор технических наук
А. П. Моргунов, доктор технических наук
В. И. Потапов, доктор технических наук
В. Ф. Фефелов, кандидат химических наук

Главный редактор:

А. В. Косых,
первый проректор –
проректор по научной работе ОмГТУ

© ОмГТУ, 2014

Технические редакторы:

О. И. Бабенко
Р. Х. Багаутдинова
М. А. Галега
М. С. Романовская
М. А. Федорова
И. М. Чумаченко
И. В. Шукшина

Язык публикаций:
русский, английский

Дата и номер договора о включении рецензируемого научного издания в систему Российского индекса научного цитирования:
213-04/2014 от 14.04.2014

Адрес в РИНЦ:
http://elibrary.ru/title_about.asp?id=50500

Адрес редакции:
644050, г. Омск, пр. Мира, 11, каб. 203а
Контактный телефон:
8 (381-2) 65-35-36
e-mail: fap_omsk@omgtu.ru
Телефон для рекламодателей: 65-35-36

В журнал вошли материалы конференции «Динамика систем, механизмов и машин», которая проводится в ОмГТУ с 1995 г.

Дата создания журнала 2014 г.

Печатается в авторской редакции

Компьютерная верстка *О. Г. Белименко*

Подписано в печать 16.10.14. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Отпечатано на дупликаторе. Усл. печ. л. 18,00. Уч.-изд. л. 18,00.
Тираж 200 экз. Заказ 594.

Издательство ОмГТУ. 644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12.
Типография ОмГТУ