Секция 13

ВИБРОДИАГНОСТИКА, МОНИТОРИНГ, РИСКИ

УДК 621.822.6

В.В. Басакин, V.V. Basakin, e-mail: post@dynamucs.ru
И.С. Кудрявцева, I.S. Kudryavtceva, e-mail: post@dynamucs.ru
А.В. Зайцев, A.V. Zaytsev, e-mail: post@dynamucs.ru
А.О. Тетерин, A.O.Teterin, e-mail: post@dynamucs.ru
ООО НПЦ «Динамика», г. Омск, Россия
Ltd. «SPC «Dynamics», Omsk, Russia

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВ

EXPERIMENTAL RESEARCH METHODOLOGY OF BEARING VIBRATION

Совершенствование методик определения технического состояния подшипников качения с учетом их режимов работы является весьма актуальной задачей. В работе рассматривается методика проведения экспериментальных исследований и экспериментальная установка по установлению зависимости вибропараметров подшипников качения от частоты вращения, осевой и радиальной нагрузок.

Improvement of methods for determining the technical state of rolling bearings with regard to their operation mode is very important task. In this paper the methodology of experimental research and experimental stand to establish rolling bearings vibration parameters depending on the rotational speed, axial and radial loads.

Ключевые слова: *подшипник качения, вибрация, частота вращения, осевая и радиальная нагрузки*

Keywords: *rolling bearings, vibration, speed, axial and radial loads*

Наиболее эффективным методом, позволяющим обнаруживать как зарождающиеся, так и развитые дефекты подшипников качения, является виброакустический метод неразрушающего контроля [1, 2]. Эксплуатация подшипников качения связана с изменением в широком диапазоне как частот вращения, так и осевых и радиальных нагрузок. Для адекватной оценки технического состояния подшипников качения с использованием виброакустического метода требуется знать влияние различных факторов на уровень вибрации.

Целью работы является разработка методики проведения эксперимента и создание экспериментальной установки по установлению зависимости величины вибропараметров подшипника от частоты вращения, осевой и радиальной нагрузок.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– разработать методику проведения эксперимента, позволяющую установить влияние частоты вращения, осевой и радиальной нагрузок на параметры вибрации подшипника качения;

– реализовать экспериментальную установку позволяющую задавать для подшипника качения различные частоты вращения, осевые и радиальные нагрузки, а также осуществлять запись сигналов вибрации.

Разработка методики проведения эксперимента основывалась на положениях теории планирования эксперимента [3]. Объектом исследования является подшипник качения, его можно представить схемой, приведенной на рис. 1. Стрелки слева: X (влияние частоты вра-

щения, мин$^{-1}$), Y (влияние осевой нагрузки, кг), Z (влияние радиальной нагрузки, кг) – способы воздействия на подшипник (влияющие факторы).

Рис. 1. Схема объекта исследования

Стрелки справа – это количественные показатели, отражающие реакцию параметров вибрации на оказанное воздействие:

– Ae, м/с^2 – среднее квадратическое значение (СКЗ) виброускорения;

– Ve, мм/с – СКЗ виброскорости;

– Se, мкм – СКЗ виброперемещения.

На начальном этапе необходимо задать уровни факторов, влияние которых исследуется. Поскольку рассматриваемый тип подшипников эксплуатируется при частотах вращения до 700 мин$^{-1}$, примем изменение частоты вращения от 330 мин$^{-1}$ до 670 мин$^{-1}$. Осевая и радиальная нагрузки изменяются от 20 кг до 100 кг. Таким образом, область эксперимента можно представить в виде куба (рис. 2).

В связи с большим количеством опытов необходимых для установления зависимостей, в качестве плана эксперимента принята матрица планирования полного факторного эксперимента типа $N = 2^3$, где N – число опытов, 3 – число факторов, 2 – число уровней (табл. 1)

В таблице приняты следующие обозначения: x_0 – фиктивная переменная, необходимая для вычисления свободного члена уравнения регрессии; x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3 – эффекты парного взаимодействия факторов; $x_1x_2x_3$ – эффекты тройного взаимодействия; y_1, $y_2 \ldots y_i$ – реакции выходного параметра на изменение уровня факторов (*Ae, Ve, Se*).

Таким образом, необходимо провести 8 экспериментов с комбинациями значений факторов, указанных в матрице планирования.

Для последующей проверки значимости коэффициентов уравнения регрессии необходимо поставить 4 дополнительных параллельных опыта в центре плана, т.е. при $f = 500$ мин$^{-1}$, осевой и радиальной нагрузке 60 кг.

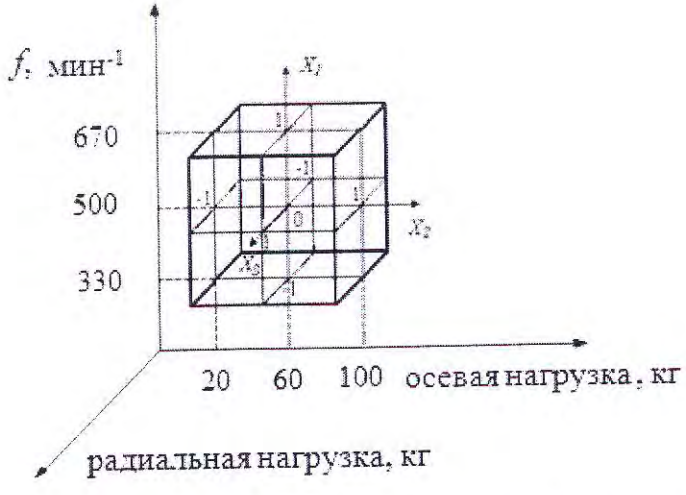


Рис. 2. Область эксперимента и переход к безразмерной системе координат

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

№ опыта	f, мин$^{-1}$	Осевая нагрузка, кг	Радиальная нагрузка, кг	x_{0i}	x_{1i}	x_{2i}	x_{3i}	$x_{1i}x_{2i}$	$x_{1i}x_{3i}$	$x_{2i}x_{3i}$	$x_{1i}x_{2i}x_{3i}$	y_i
1	330	20	20	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	y_1
2	670	20	20	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	y_2
3	330	100	20	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	y_3
4	670	100	20	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	y_4
5	330	20	100	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	y_5
6	670	20	100	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	y_6
7	330	100	100	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	y_7
8	670	100	100	1	1	1	1	1	1	1	1	y_8

Чтобы исключить влияние систематических ошибок, вызванных внешними условиями, необходимо ввести случайную последовательность опытов, случайно расположив 8 опытов, запланированных матрицей, и 4 параллельных опыта. Для решения этой задачи используется таблица случайных чисел. В результате последовательность опытов определяется согласно таблице 2.

Таким образом, получили 12 комбинаций СКЗ вибропараметров, величины которых полученных при проведении эксперимента, необходимо проверить на однородность, рассчитав дисперсию воспроизводимости для дополнительных параллельных опытов.

Поскольку в работе используется план полного факторного эксперимента, то уравнение регрессии будет иметь вид:

$$y(x_1, x_2, x_3) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$$

Далее необходимо проверить значимость рассчитанных коэффициентов при помощи критерия Стьюдента и адекватность полученного уравнения регрессии, используя критерий Фишера.

Таблица 2

Последовательность проведения опытов

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Новая посл-сть	3	5	10	11	8	7	4	12	2	6	9	1

Экспериментальную установку целесообразно реализовать на базе системы КОМПАКС®-РПП с использованием привода 1602 [4], позволяющей изменять частоту вращения, задавать величину осевой и радиальной нагрузок в требуемом диапазоне и измерять вибрацию в радиальном направлении (рис. 3). Разработанная специальная конфигурация программного обеспечения системы позволяет измерять и сохранять сигналы с требуемыми частотами дискретизации и длинами выборки виброакустических сигналов.

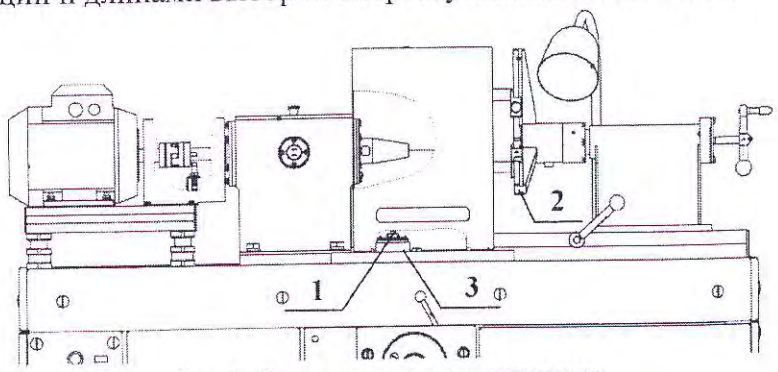


Рис. 3. Экспериментальная установка
1 – место установки датчика вибрации, 2 – устройство осевого нагружения,
3 – устройство радиального нагружения

Таким образом, разработанная методика позволяет провести эксперимент по выявлению зависимостей вибропараметров подшипника качения от частоты вращения, осевой и радиальной нагрузок с учетом основных положений теории планирования эксперимента.

Библиографический список

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

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

3. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский; АН СССР, Науч. совет по комплекс. проблеме «Кибернетика». – М.: Наука, 1976. – 280 с.: ил.

4. Мониторинг состояния в реальном времени – инновационная технология технического обслуживания и ремонта / Костюков В.Н., Науменко А.П., Костюков А.В., Бойченко С.Н. // Территория NDT. –2014. –№ 1. – С. 66-69.

УДК 629.4

А.В. Зайцев, A.V. Zaytsev, e-mail:post@dynamics.ru
А.О. Тетерин, A.O.Teterin, e-mail:post@dynamics.ru
ООО «НПЦ «Динамика», г. Омск, Россия
Ltd. «SPC «Dynamics», Omsk, Russia

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ БУКСОВЫХ УЗЛОВ КОЛЕСНО-МОТОРНЫХ БЛОКОВ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

TECHNIQUE FOR INCREAS OF DIAGNOSTICS ACCURACY OF BEARING BOXES IN AN ELECTRIC MULTIPLE UNIT WHEEL-MOTOR UNITS

Повышение достоверности диагностирования, обеспечивающее объективную оценку технического состояния исследуемых узлов, является актуальной задачей. В работе приводится расчет ошибок диагностирования буксовых узлов колесно-моторного блока при испытаниях на различных частотах вращения колесной пары.

Increase of diagnostics accuracy, which provides an objective assessment of the units under study technical state, is an actual problem. The paper describes a calculation of diagnostic errors in bearing boxes when testing at various rotation frequencies of a wheel-set.

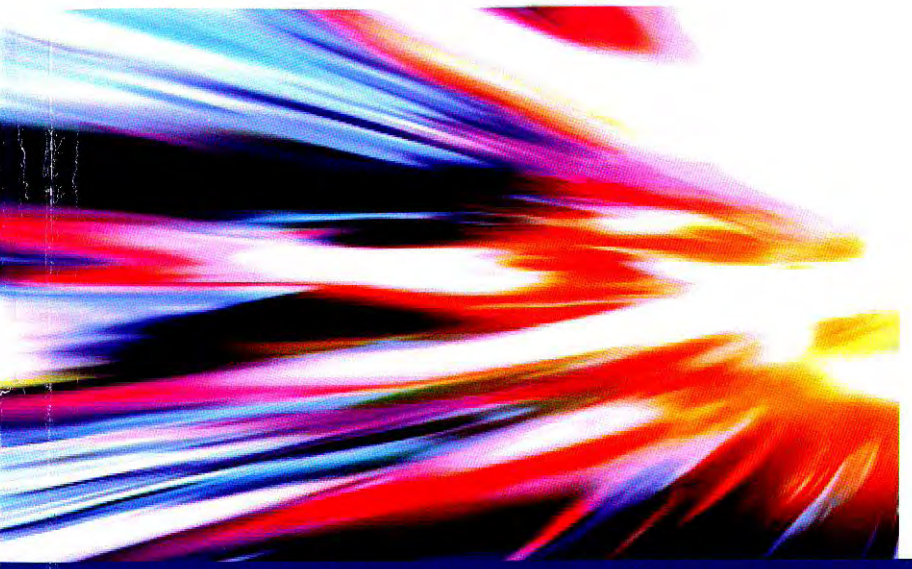
Ключевые слова: *достоверность диагностирования, ошибка ложной тревоги, ошибка пропуска дефекта, колесно-моторный блок*

Keywords: *diagnostics accuracy, false alarm error, defect omission error, wheel-motor unit*

Основной задачей диагностирования является распознавание технического состояния узлов и агрегатов и разделение их на классы исправные и неисправные, что связано с риском ложной тревоги и пропуска дефекта [1]. При реализации любого способа диагностирования буксовых узлов колесно-моторных блоков существует вероятность ошибки пропуска дефекта и вероятность ошибки ложной тревоги.

В условиях эксплуатации подвижного состава пропуск дефекта может привести к разрушению узла, что может повлечь не только дорогостоящий неплановый ремонт, сбой в графике движения поездов, а также вызвать техногенную опасность и транспортную аварию. Ошибка ложной тревоги приводит к проведению дополнительных ремонтов, для узлов, не

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