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

требующих обслуживания, после которых фактическое техническое состояние узла может только ухудшиться, тем самым снизится эксплуатационная готовность подвижного состава.

Цель работы – повышение достоверности диагностирования, при минимальных затратах на проведение испытаний.

Поставленная цель требует решения следующих задач:

1. Провести измерение диагностического признака, например виброускорения (далее ДП), исправных и дефектных буксовых узлов колесно-моторных блоков электропоездов при частотах вращения колесной пары 240 и 420 об/мин.

2. Определить критические значения ДП для двух частот вращения колесной пары 240 и 420 об/мин.

3. Провести расчет ошибок пропуска дефекта и ложной тревоги при использовании различных способов диагностирования колесно-моторных блоков.

Проведены исследования параметров вибрации для исправных и дефектных буксовых узлов при различных скоростных режимах, полученные значения ДП, параметры нормального распределения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Частота вращения колесной пары, об/мин	Математическое ожидания распределения значений виброускорения, м/с^2		Среднее квадратическое отклонение значений виброускорения, м/с^2	
	Исправные узлы	Дефектные узлы	Исправные узлы	Дефектные узлы
240	$m_c^{240} = 3{,}43$	$m_d^{240} = 10{,}62$	$\sigma_c^{240} = 1{,}41$	$\sigma_d^{240} = 2{,}3$
420	$m_c^{420} = 6{,}34$	$m_d^{420} = 20{,}47$	$\sigma_c^{420} = 2{,}01$	$\sigma_d^{420} = 3{,}67$

На рис. 1 приведен график, показывающий расчет критических значений ДП по методу минимакса, при котором ошибка ложной тревоги и ошибка пропуска дефекта равны, а также приведен расчет зоны неопределенности [2]. На рисунке обозначены:

$F(X_d^{240})$, $F(X_d^{420})$ – нижний «хвост» функции распределения ДП для дефектных букс при частоте вращения КП 240 и 420 об/мин;

$1-F(X_c^{240})$, $1-F(X_c^{420})$ – нижний «хвост» обратной функции распределения ДП для исправных букс при частоте вращения КП 240 и 420 об/мин;

$X_{кр}^{240}$, $X_{кр}^{420}$ – критические значения ДП при частотах вращения КП 240 и 420 об/мин;

X_B^{240}, X_H^{240} – верхнее и нижнее критические значения ДП при частоте вращения КП 240 об/мин;

Вероятность попадания случайной величины X с параметрами m и σ на участок от α до β, рассчитываем по формуле [3]:

$$P(\alpha < x < \beta) = \Phi^*\left(\frac{\beta - m}{\sigma}\right) - \Phi^*\left(\frac{\alpha - m}{\sigma}\right), \quad (1)$$

где $\Phi^*(x)$ – нормальная функция распределения.

В соответствии с предложенной формулой, можно определить вероятность нахождения значения ДП для исправных и дефектных узлов на участках выше и ниже критических значений.

Вероятность попадания значения ДП при частоте вращения колесной пары 240 об/мин для дефектных узлов в класс исправных и для исправных узлов в класс дефектных, рассчитываем по формулам:

$$P\left(X^{240}_{d_кр}\right)=\Phi^*\left(\frac{X^{240}_{кр}-m^{240}_d}{\sigma^{240}_d}\right)=\Phi^*\left(\frac{6{,}2-10{,}62}{2{,}3}\right)=\Phi^*(1{,}92)=2{,}74\%, \quad (2)$$

$$P\left(X^{240}_{c_кр}\right)=\Phi^*\left(\frac{X^{240}_{кр}-m^{240}_c}{\sigma^{240}_c}\right)=\Phi^*\left(\frac{6{,}2-3{,}43}{1{,}41}\right)=\Phi^*(1{,}96)=2{,}5\%. \quad (3)$$

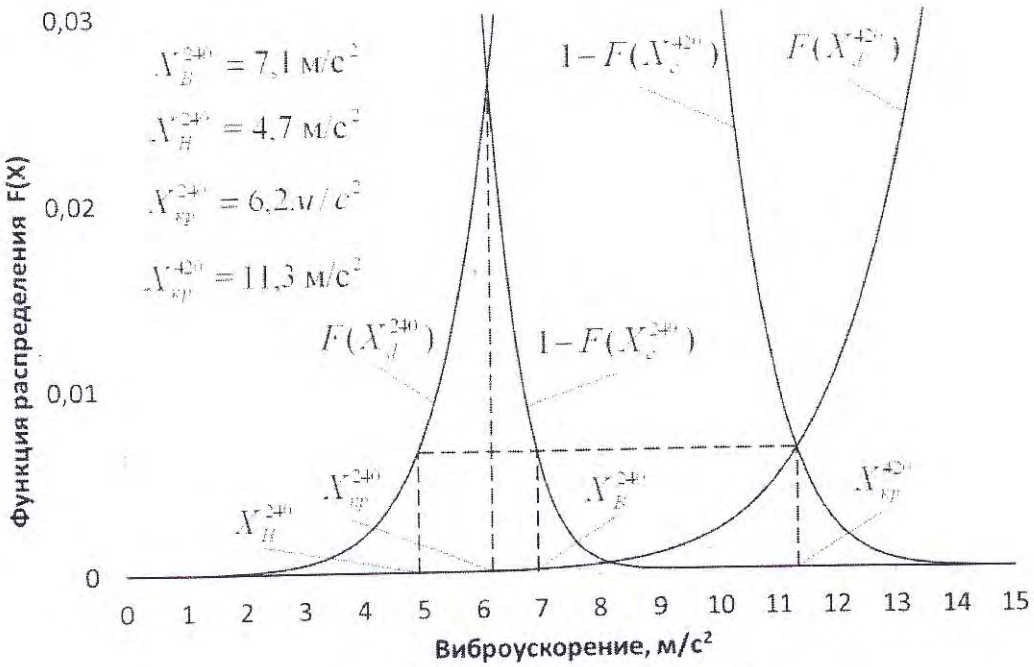


Рис. 1. Расчет критических значений ДП

С целью снижения ошибки диагностирования, вводим зону неопределенности, ограниченную верхним X^{240}_B и нижним X^{240}_H критическими значениями при частоте вращения колесной пары 240 об/мин.

Ошибки пропуска дефекта и ложной тревоги определяем как вероятности попадания значения ДП для дефектных узлов в класс исправных и для исправных узлов в класс дефектных:

$$Q^{240}_{ПД(ЗН)}=P\left(X^{240}_{d_H}\right)=\Phi^*\left(\frac{X^{240}_H-m^{240}_d}{\sigma^{240}_d}\right)=\Phi^*\left(\frac{4{,}7-10{,}62}{2{,}3}\right)=\Phi^*(2{,}57)=0{,}51\%, \quad (3)$$

$$Q^{240}_{ЛТ(ЗН)}=P\left(X^{240}_{c_B}\right)=\Phi^*\left(\frac{X^{240}_B-m^{240}_c}{\sigma^{240}_c}\right)=\Phi^*\left(\frac{7{,}1-3{,}43}{1{,}41}\right)=\Phi^*(2{,}6)=0{,}47\%. \quad (4)$$

Для определения количества исправных и дефектных буксовых узлов, значения ДП которых попадают в зону неопределенности, и соответственно, требуют повторного диагностирования на повышенной частоте вращения можно определить по вероятности попадания значения ДП в интервал между верхним и нижним критическими значениями.

Ошибки пропуска дефекта и ложной тревоги определяем как вероятности попадания значения ДП дефектных узлов при частоте вращения колесной пары 240 об/мин в зону неопределенности:

$$P_d^{240}\left(X_H^{240} < X < X_B^{240}\right) = \Phi^*\left(\frac{X_B^{240} - m_d^{240}}{\sigma_d^{240}}\right) - \Phi^*\left(\frac{X_H^{240} - m_d^{240}}{\sigma_d^{240}}\right) = 5{,}79\%, \quad (5)$$

$$P_c^{240}\left(X_H^{240} < X < X_B^{240}\right) = \Phi^*\left(\frac{X_B^{240} - m_c^{240}}{\sigma_c^{240}}\right) - \Phi^*\left(\frac{X_H^{240} - m_c^{240}}{\sigma_c^{240}}\right) = 17{,}94\%. \quad (6)$$

Ошибки пропуска дефекта и ложной тревоги определяем как вероятности попадания значения ДП при частоте вращения колесной пары 420 об/мин для дефектных узлов в класс исправных и для исправных узлов в класс дефектных:

$$Q_{ПД}^{420} = P\left(X_{d_кр}^{420}\right) = \Phi^*\left(\frac{X_{кр}^{420} - m_d^{420}}{\sigma_d^{420}}\right) = \Phi^*\left(\frac{11{,}3 - 20{,}47}{3{,}67}\right) = \Phi^*(2{,}5) = 0{,}62\%, \quad (7)$$

$$Q_{ЛТ}^{420} = P\left(X_{c_кр}^{420}\right) = \Phi^*\left(\frac{X_{кр}^{420} - m_c^{420}}{\sigma_c^{420}}\right) = \Phi^*\left(\frac{11{,}3 - 6{,}34}{2{,}01}\right) = \Phi^*(2{,}47) = 0{,}68\%. \quad (8)$$

Результирующая ошибка пропуска дефекта, с учетом двух диагностирований, при попадании значений ДП в зону неопределенности, рассчитываем по формуле:

$$Q_{ПД(ЗН)} = Q_{ПД(ЗН)}^{240} + P_d^{240}\left(X_H^{240} < X < X_B^{240}\right) \times Q_{ПД}^{420} = 0{,}51\% + 5{,}79\% \times 0{,}62\% = 0{,}55\%. \quad (9)$$

Результирующая ошибка ложной тревоги, с учетом двух диагностирований, при попадании значений ДП в зону неопределенности, рассчитываем по формуле:

$$Q_{ЛТ(ЗН)} = Q_{ЛТ(ЗН)}^{240} + P_c^{240}\left(X_H^{240} < X < X_B^{240}\right) \times Q_{ЛТ}^{420} = 0{,}47\% + 17{,}94\% \times 0{,}68 = 0{,}59\%. \quad (10)$$

Как видно, из полученных результатов ошибка пропуска дефекта и ошибка ложной тревоги меньше, чем при одиночных испытаниях.

Выводы:

1. В соответствии с предложенной методикой требуется проведение дополнительного диагностирования менее чем для 18% буксовых узлов колесно-моторных блоков электропоездов.

2. Применение изложенной методики, обеспечивает снижение ошибки пропуска дефекта и ошибки ложной тревоги в модельных экспериментах примерно в 5 раз.

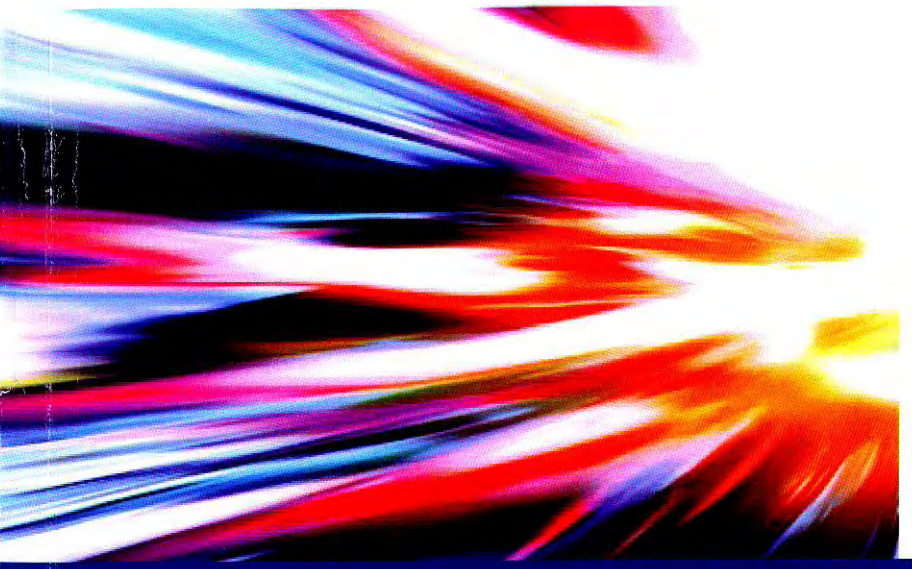
Библиографический список

1. Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

2. Зайцев, А.В. Повышение достоверности вибродиагностирования роторных агрегатов /А.В. Костюков, А.В. Зайцев, Д.В. Казарин // XX Всероссийская научно-техническая конференция по неразрушающему контролю и технической диагностике (Москва, 3-6 марта 2014): тезисы докладов. – М.: ИД «Спектр», 2014. – С. 355–357.

3. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей: учеб. пособие для втузов / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Наука, 1969. – 576 с. ил.

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