

УДК 629.4: 620.179.1

А. Г. ОТОКА, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; А. С. МАРТЫШОВ, Белорусская железная дорога, г. Гомель; Л. В. ОГОРОДНИКОВ, аспирант, О. В. ХОЛОДИЛОВ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСОБЕННОСТИ ВИБРАЦИОННОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ КОЛЁСНО-МОТОРНЫХ БЛОКОВ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ СЕРИИ ЭР9 ПРИ ТЕКУЩЕМ РЕМОНТЕ

Рассматривается технология вибрационного диагностирования подшипников качения колёсно-моторных блоков электропоездов серии ЭР9 при текущем ремонте. Показана проблематика диагностирования, связанная с субъективным фактором, который определяется квалификацией работника и стажем его работы. Предложены методы повышения достоверности диагностической информации, получаемой после обработки вибросигналов.

В настоящее время вибрационному контролю колёсно-моторных блоков (КМБ) на железнодорожном транспорте уделяется особое внимание, поскольку своевременное предупреждение зарождающихся дефектов значительно повышает безопасность движения поездов, сокращает вероятность внеплановых видов ремонта, а также затраты на выполнение планового технического обслуживания и текущего ремонта.

Введение.

Вибрационное диагностирование подшипников качения моторвагонного подвижного состава является частью технологий ремонта МВПС и предназначено для своевременного выявления дефектов, указанных в нормативной и/или конструкторской (ремонтной, эксплуатационной) документации, принятия необходимых мер по обеспечению технической и экологической безопасности железнодорожного транспорта.

Основными задачами проведения вибрационного диагностирования (ВД) являются оценка технического состояния диагностируемых подшипниковых узлов подвижного состава и определение их безотказного ресурса.

Вибрационное диагностирование – это получение информации о наличии, виде и величине типовых дефектов по вибрации путём сравнения с пороговыми значениями диагностических параметров в виде роста уровней отдельных составляющих вибрации и относительной величины их периодических флуктуаций (модуляции).

Результатами проведения ВД являются:

- обнаружение дефектов диагностируемых подшипниковых узлов;
- назначение гарантированного безотказного ресурса (пробега) для диагностируемых узлов, тыс. км (сут), до очередного планового диагностирования. При этом безотказный ресурс должен быть не меньше пробега локомотива до очередного планового ремонта либо технического обслуживания, на котором предусмотрено проведение ВД.

Состояние вопроса

Для проведения ВД должны использоваться диагностические комплексы (средства измерений и программное обеспечение), отвечающие требованиям нормативных документов.

Сегодня широкое применение при вибрационном диагностировании подшипников качения колёсно-моторных блоков электропоездов серии ЭР9 при производстве текущего ремонта получил комплекс «Вектор-2000», обеспечивающий мониторинг состояния оборудования, а также диагностику вращающихся узлов колёсно-моторных блоков (рисунок 1).

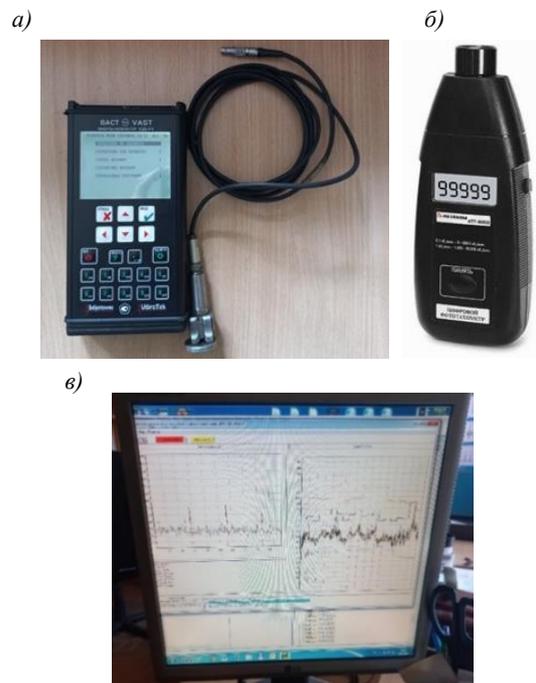


Рисунок 1 – Комплекс «Вектор-2000»:

- a* – виброанализатор СД21 с вибропреобразователем АР28И;
- б* – цифровой фототахометр «Актаком АТТ-6000»;
- в* – ПЭВМ с прикладной программой Dream for Windows

В него входят:

- переносной цифровой анализатор сигналов (сборщик данных СД-12, СД-21);
- датчик вибрации, измеряющий виброускорение;
- датчик частоты вращения;
- персональный компьютер;
- пакет прикладных программ Dream for Windows.

По этапам проведения работ измерения делятся на основные и дополнительные. К дополнительным диагностическим обследованиям, относятся:

- вибрационное диагностирование КМБ, колёсно-редукторного блока (КРБ) со сменой направления вращения;

– вибрационное диагностирование подшипникового узла (узлов) после добавления (замены) смазки в подшипники качения, скольжения, кожух зубчатой передачи. Данные работы проводятся с целью подтверждения попадания смазки в подшипник и отсутствия других опасных дефектов. Консистентная смазка, добавленная в подшипник, а также смазка с отрицательной температурой являются демпфирующими материалами, в значительной степени снижающим уровень вибрации от возможных дефектов подшипников. В связи с этим проводить диагностические измерения допускается только при положительной температуре диагностируемого узла. Добавлять смазку в подшипники качения подвижного состава, находящегося на текущих ремонтах в объёме ТР-1, ТР-2, ТР-3 допускается только после окончательного определения состояния подшипника и наличия в нём дефектов. Допускается проводить измерения при отрицательной температуре подшипниковых узлов при условии предварительной обкатки диагностируемого узла для приработки масляного слоя в подшипнике не менее 5 мин;

– осмотр моторно-осевого подшипника (МОП), упорных буксовых подшипников со снятием крышки буксы, проверка качества крепления торцевых гаек буксовых подшипников, посадки (доступных для осмотра) внутренних колец подшипника, ревизия приводов скоростемеров, токосъёмов, упорных элементов;

– ревизия зубчатого колеса и шестерни тягового редуктора, ревизия карданных передач;

– проверка количества и качества смазки в буксовых узлах, кожухах зубчатой передачи, МОП с последующим добавлением (заменой) при необходимости;

– сравнительный анализ температуры подшипниковых узлов (после длительного, не менее 5 мин, вращения КМБ, КРБ).

Повторные диагностические измерения, проводимые в случае обнаружения ошибок при проведении

первичных измерений вибрации, не относятся к дополнительным обследованиям КМБ (КРБ).

Повторное диагностирование узлов КМБ (КРБ) необходимо проводить при вращении колёсной пары (КП) в обратную сторону после проверки и добавления (замены) при необходимости смазки в кожухи зубчатой передачи, опорные и упорные подшипники скольжения. При этом запрещается добавлять смазку в подшипник качения перед проведением их повторного диагностирования для уточнения наличия средних и сильных дефектов элементов подшипника.

Рассмотрим детально порядок выполнения работ при диагностировании.

На *первом этапе* необходимо подготовить диагностическое оборудование и подготовить электропоезд.

Подготовка диагностического оборудования включает в себя:

- составление маршрутной карты измерения;
- загрузка маршрутной карты в сборщик данных;
- проверка исправности соединительных кабелей, вибропреобразователей (ВП), датчика оборотов;
- внешний осмотр и проверка работоспособности источника питания постоянного тока;
- проверка домкратов на наличие течей масла и прочих неисправностей.

Подготовка электропоезда (тепловоза / электровоза) включает в себя очистку от масла и грязи мест установки ВП (датчика);

На *втором этапе* необходимо произвести вывешивание диагностируемого КМБ с помощью домкратов (рисунк 2, а). Домкраты устанавливаются на деревянные опоры высотой 380–450 мм. Домкрат устанавливается на деревянные опоры перпендикулярно центру буксы колёсной пары. Путём подъёма домкратов вывешивают КМБ на высоту не более 25 мм от головки рельса (не допускается касание головки рельса бандажом колеса). После поднятия КМБ домкрат фиксируется гайкой для исключения опускания штока домкрата.

а)



б)



в)

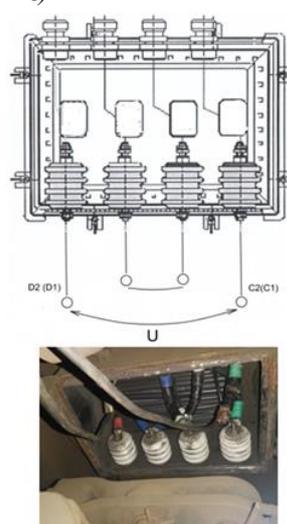


Рисунок 2 – Вывешивание диагностируемого КМБ с помощью домкратов и подключение источника питания:

а – домкрат с фиксирующей гайкой типа ДГ30П100Г; б – источник питания СПАР ИП 200А/250В;

в – подключение тягового электродвигателя к источнику питания через вводную коробку

Также необходимо подключить источник питания (рисунок 2, б) к сети переменного тока 380 В. Открывают клеммную соединительную коробку выводных кабелей от тягового электродвигателя и подключают тяговый электродвигатель к источнику питания через вводную коробку (рисунок 2, в). Работы выполняются слесарем – электриком с группой по электробезопасности не ниже 3.

На третьем этапе нужно произвести измерение уровня вибрации. Для этого необходимо нанести метку с помощью мела (рисунок 3, а) или установить светоотражающий элемент в виде полоски на торцевую часть бандажа (колёсного центра) колёсной пары. Подключить источник питания к сети переменного тока 380 В, включить автомат «Сеть», установить рукоятку потенциометра в крайнее левое положение (до упора против часовой стрелки). Нажать на кнопку «Старт» и постепенно увеличивать напряжение путём медленного вращения рукоятки потенциометра по часовой стрелке.

По мере увеличения частоты вращения колёсной пары необходимо производить замеры количества оборотов при помощи фототахометра цифрового (рисунок 3, б) либо датчика оборотов ФД-2 (диапазон вращения колёсной пары должен быть в пределах 180–300 об/мин).

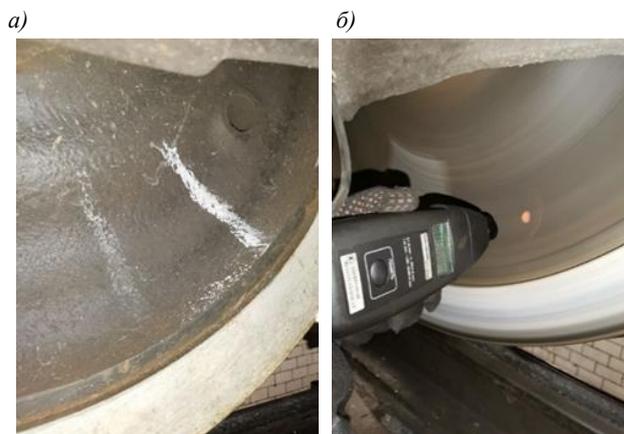


Рисунок 3 – Проведение замеров оборотов вращения колёсной пары:

- а – нанесение меловой отметки на колёсном центре;
- б – измерение частоты вращения цифровым фототахометром «Актаком АТТ-6000»

На четвёртом этапе проводится непосредственно измерение по шести точкам КМБ (рисунок 4). Для этого необходимо включить сборщик данных СД-12, СД-21 и выбрать пункт «Измерение по маршруту». После чего выбрать измеряемую секцию, установить ВП (рисунок 5) на точку измерений согласно маршрутной карте, выбрать в меню пункт «Измерить».

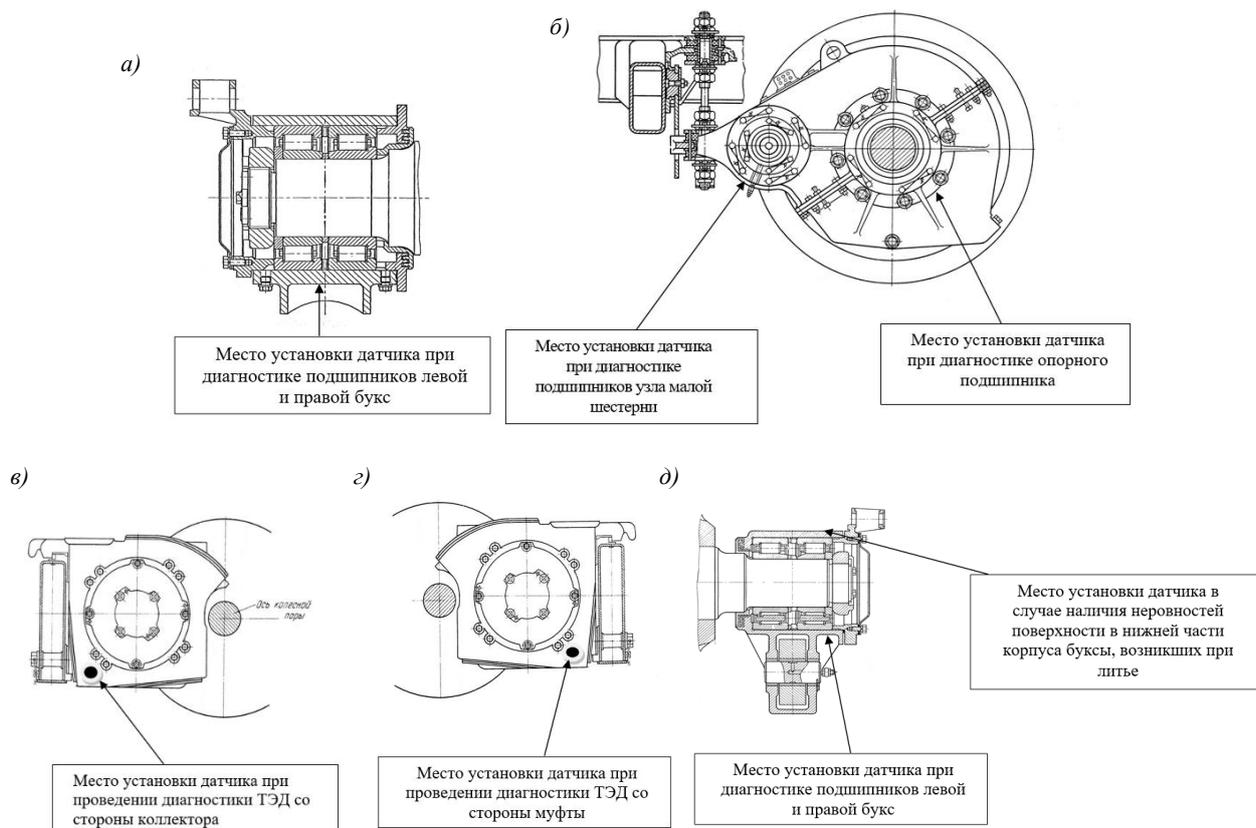


Рисунок 4 – Схема установки ВП при диагностировании:

- а – установка ВП для буксы колёсной пары моторного вагона электропоезда ЭР9Т; б – установка ВП для тягового редуктора; в – установка ВП тягового двигателя со стороны фланца; г – установка ВП для тягового двигателя со стороны коллектора; д – установка ВП для буксы колёсной пары моторного вагона электропоезда ЭР9Е

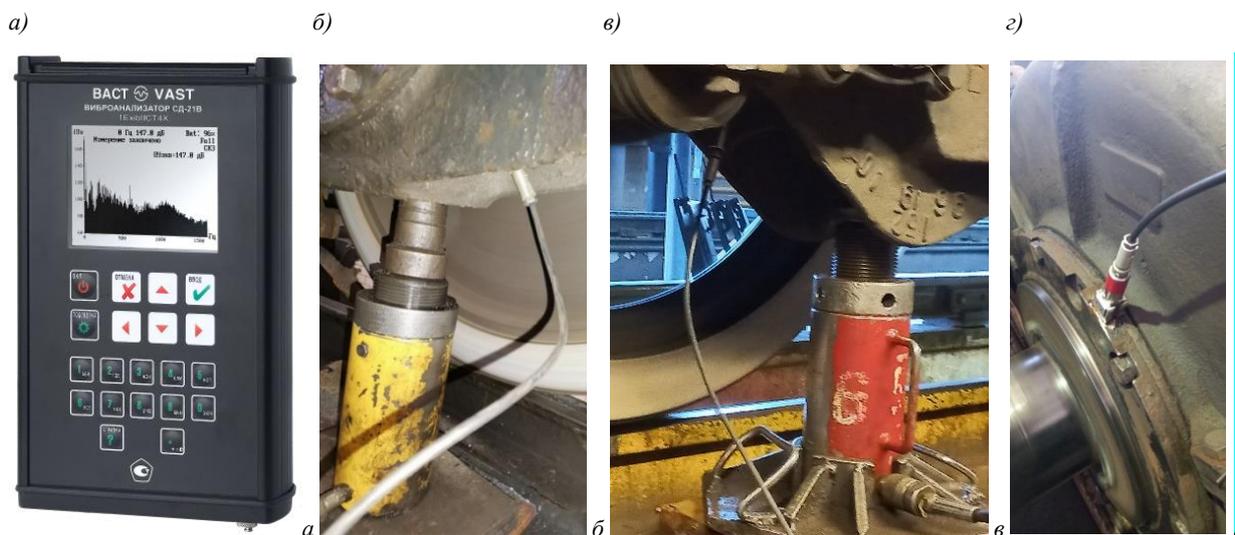


Рисунок 5 – Пример проведения ВД подшипников буксового узла
 а – внешний вид вибронализатора СД-21В; б, в – установка ВП АР28И в нижней части корпуса буксы;
 г – место установки ВП АР28И при диагностике опорного подшипника

При диагностике электропоезда, важно считать, что КМБ № 1 находится со стороны токоприемника.

На пятом этапе после измерения всех диагностируемых точек КМБ и сохранения результатов, выключить сборщик данных. Установить рукоятку потенциометра на источнике питания в крайнее левое положение, после чего нажать кнопку «Стоп» и выключить автомат «Сеть». После полного прекращения вращения колёсной пары опустить домкраты и убрать подставки.

Отсоединить выводные провода тягового электродвигателя от проводов источника питания. Закрыть коробку клеммных кабелей.

Полученные данные загружаются в компьютер посредством интерфейса RS232, после чего производится анализ полученных данных при помощи программного обеспечения Dream For Windows.

По результатам полученной информации, специалистом (не ниже 2-го уровня квалификации по вибродиагностическому методу), производившим анализ полученных данных, принимается решение о возможности дальнейшей эксплуатации диагностируемых узлов КМБ, а также даются рекомендации по контролю узлов КМБ в дальнейшей эксплуатации.

В случае выявления недопустимых отклонений вибрации в диагностируемых узлах по показаниям программного обеспечения специалист обязан сообщить об этом начальнику участка, а также заместителю начальника депо по ремонту для принятия решения о выкатке и дальнейшем проведении комиссионного осмотра узлов КМБ, имеющих недопустимые отклонения.

По результатам выполнения вибрационной диагностики КМБ специалистом, производившим анализ данных, оформляется акт по форме, утверждённой на предприятии, который вклеивается в журнал формы ТУ-28.

Измерения вибрации должны производиться на корпусе каждого подшипникового узла в его нагруженной зоне, в вертикальном радиальном направле-

нии (с отклонением от вертикали не более 30°) при стабильной скорости вращения. Измерения следует проводить после предварительной приработки объекта диагностирования в течение 2–3 мин для приработки смазочного слоя в подшипнике.

Для всех объектов диагностирования одного типа точки и направления измерения вибрации должны совпадать. При невозможности установки датчика вибрации в нагруженной части корпуса подшипникового узла допускается установка датчика в максимально приближенном месте в радиальном направлении.

Вибрационный мониторинг – это периодическое измерение уровней (абсолютных) составляющих (в широких и / или узких полосах частот) вибрации объекта мониторинга, сравнение уровней с пороговыми значениями и определение возможных причин превышения вибрацией мониторинговых порогов.

Задачей мониторинга, по данным измерений вибрации каждого из подшипниковых узлов, является оценка состояния объектов диагностирования. Для решения данной задачи должен использоваться алгоритм сравнения каждого из измеряемых параметров виброускорения с одним или двумя пороговыми значениями. Первый порог определяет границу зоны безопасного вибрационного состояния объекта контроля, второй – зону допустимого вибрационного состояния. В случае сравнения с одним пороговым значением данное пороговое значение определяет зону безопасного вибрационного состояния.

Вибрационный мониторинг диагностируемых узлов проводится:

- по уровням гармонических составляющих вибрации в спектрах низкочастотного виброускорения подшипниковых узлов в диапазоне частот 2–500 Гц, с установкой порогов не менее чем по десяти полосам частот в спектре (рисунок б);

- уровням случайных составляющих вибрации в спектрах низкочастотного виброускорения подшипниковых узлов в диапазоне частот 100–500 Гц, не менее, чем в трёх частотных полосах;

– уровню высокочастотной случайной вибрации в широкой полосе частот (не менее трети октавы), используемой для измерения спектра огибающей вибрации;

– уровню среднеквадратическому значению (СКЗ), пиковому значению и пик-фактору ультразвуковой высокочастотной вибрации (УВЧ).

Так же мониторинг диагностируемых узлов может проводиться:

– по уровням гармонических и случайных составляющих вибрации в спектрах низкочастотного и среднечастотного виброускорения подшипниковых узлов в диапазоне частот от 5 Гц до 2,5 кГц, с установкой порогов не менее, чем по десяти полосам частот в спектре;

– уровню СКЗ и значению эксцесса сигнала вибрации, измеренного в полосе от 5 Гц до 15 кГц.

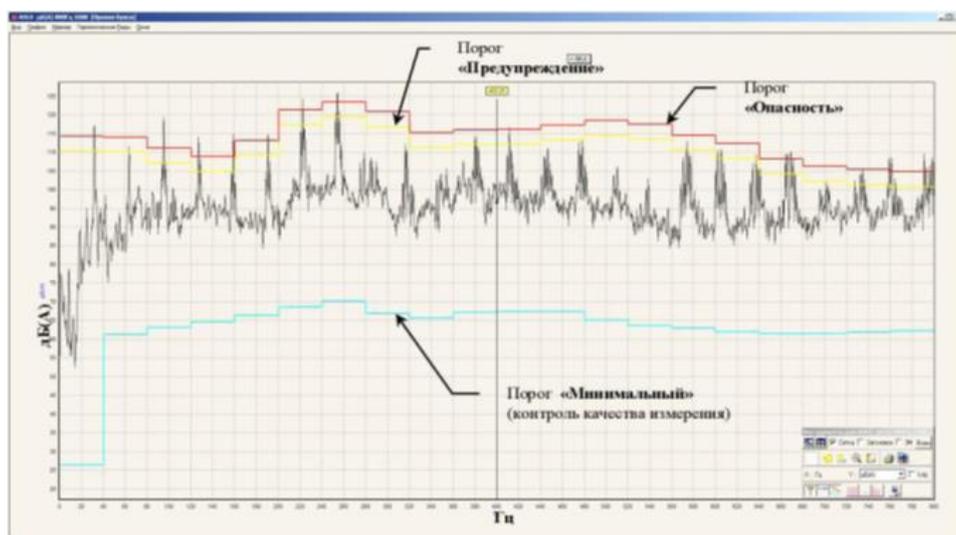


Рисунок 6 – Мониторинг уровня вибрации гармонических составляющих в спектре по пороговым значениям

Задачей диагностирования подшипников качения по данным измерений параметров вибрации каждого из подшипниковых узлов является обнаружение диагностических признаков дефектов и оценка величины каждого из диагностических параметров потенциально опасных типовых дефектов с последующим определением соответствия безаварийного ресурса подшипника его наработки (пробега) до проведения следующего вибрационного диагностирования. Для этого должен использоваться алгоритм сравнения каждого из диагностических параметров с тремя пороговыми значениями. Первый определяет зону безопасного состояния, второй – зону слабого дефекта, третий – зону среднего дефекта. Выход диагностического параметра за зону среднего дефекта означает появление сильного (опасного) дефекта.

Для обнаружения каждого из типовых дефектов должно использоваться несколько признаков его появления на основе разных физических явлений, при этом хотя бы один из используемых признаков должен быть чувствителен к появлению зарождающегося дефекта. В качестве одного из признаков для конкретного вида возможного дефекта допускается использовать отсутствие признаков других видов дефектов.

Признаки типовых дефектов подшипников делятся на три основные группы:

– определяемые ростом низкочастотной (от 2 Гц до 1 кГц) вибрации в целом, в которой диагностическими параметрами являются величины и количество подшипниковых и комбинационных гармонических составляющих вибрации, а также спектральная плотность (уровень фона) случайных составляющих;

– определяемые модуляцией среднечастотной или высокочастотной (1–15 кГц) случайной вибрации

подшипникового узла, в которых диагностическими параметрами являются глубина модуляции вибрации подшипниковых частот, их гармоник и комбинационные частоты;

– определяемые высокочастотной и ультразвуковой вибрацией подшипников, возбуждаемой периодически и непериодическими ударами в подшипниках, зубчатых зацеплениях, муфтах, карданных соединениях, в которых диагностическими параметрами являются уровень и пиковые значения вибрации на высоких (выше 10 кГц) и ультразвуковых частотах, а также глубина импульсной модуляции случайных составляющих вибрации, или уровнем СКЗ и значением эксцесса сигнала вибрации измеренного в полосе от 5 Гц до 15 кГц.

Параллельно признакам дефектов подшипников должно контролироваться появление признаков влияющих на вибрацию дефектов других узлов объекта диагностирования. К таким узлам относятся неуравновешенная колёсная пара или ротор тягового электродвигателя (ТЭД), зубчатые зацепления, моторно-осевые подшипники скольжения, упорные буксовые подшипники скольжения, муфты, используемые для вращения КМБ (КРБ), привод и т. д. При использовании в КРБ кардана необходимо дополнительно контролировать появление признаков дефектов карданных соединений и крестовин.

Диагностические признаки дефектов изготовления и монтажа могут совпадать с признаками дефектов, возникших при эксплуатации. В таблице 1 приведены признаки и параметры типовых дефектов изготовления и монтажа подшипников качения. Там же приведены диагностические признаки и параметры дефектов других узлов КМБ (КРБ), которые могут повлиять на результаты диагностирования подшипников. В таблице 2 приведены признаки дефектов эксплуатации КМБ (КРБ).

Таблица 1 – Признаки дефектов изготовления и монтажа узлов КМБ, КРБ

Дефект	Признак 1. Рост НЧ гармоник в автоспектре	Признак 2. Модуляция трения (рост)	Признак 3. Другая природа
1 Дефект изготовления наружного кольца	kf_n	kf_n	Рост ПФ
2 Дефект изготовления внутреннего кольца	$kf_{вр}, kf_v$	$kf_{вр}, kf_v$	Нет изменений ВЧ
3 Дефект изготовления тела качения	$kf_c, 2kf_{тк}$	$2kf_{тк}, kf_{тк}$ – слаб	Возможен рост ПФ
4 Дефект изготовления сепаратора	Нет изменений	kf_c , возможна НпМ	Возможен рост УО
5 Перекос наружного кольца	$2f_n$	$2kf_n > kf_n$	Рост ВЧ и/или ПФ
6 Радиальный натяг подшипника качения	Нет изменений	$2kf_{вр} > kf_{вр}$	Рост ВЧ и/или ПФ
7 Перекос сепаратора	Нет изменений	$2kf_c > kf_c$	Возможен рост УО
8 Дефект узлов крепления	Возможен рост $kf_{вр}$	НпМ, $kf_{вр} k > 3$	Рост ВЧ и/или ПФ
9 Дефект смазки подшипника качения	Нет изменений	Возможно kf_n	Рост ВЧ и/или ПФ
10 Дефект смазки моторно-осевого подшипника скольжения	Возможен рост СЧ	Возможна НпМ двух Б	Рост УО на двух подшипниках ТЭД
11 Дисбаланс ТЭД, несоосность малой шестерни	Рост $f_{вр д}$	Возможен рост $f_{вр д}$	Нет других изменений вибрации
12 Дефект зубьев малой шестерни	$kf_{вр д}, kf_z \pm k_1 f_{вр д}$	$kf_{вр д}, kf_z \pm k_1 f_{вр д}$	Возможен рост ПФ
13 Перекос малой шестерни	$2kf_{вр д}, kf_z \pm 2k_1 f_{вр д}$	$2kf_{вр д}, kf_z \pm 2k_1 f_{вр д}$	Возможен рост ПФ
14 Дисбаланс КП, несоосность большой шестерни	Рост $f_{вр к}$	Возможно $f_{вр к}$	Нет других изменений вибрации
15 Дефект зубьев большой шестерни	$kf_{вр к}, kf_z \pm k_1 f_{вр к}$	$kf_{вр к}, kf_z \pm k_1 f_{вр к}$	Возможен рост ПФ
16 Перекос большой шестерни	$2kf_{вр к}, kf_z \pm 2k_1 f_{вр к}$	$2k f_{вр к}, kf_z \pm 2k_1 f_{вр к}$	Возможен рост ПФ
17 Дефект зацепления	kf_z	Возможно $kf_{вр д}, kf_{вр к}$	Возможен рост СЧ, ПФ
18 Дефект муфты	$kf_{вр д}$	$kf_{вр д}, k > 5$	Возможен рост ПФ
19 Дефект крестовины	$4kf_{вр д}$	$4kf_{вр д}$	Возможен рост ПФ

Таблица 2 – Признаки дефектов эксплуатации КМБ (КРБ)

Дефект	Признак 1 Рост НЧ гармоник в автоспектре	Признак 2 Модуляция трения (рост)	Признак 3 Другая природа
1 Износ наружного кольца	$kf_n, k < 4$	$kf_n, k < 4$	Рост ВЧ и/или ПФ
2 Раковины, трещины наружного кольца	$kf_n, k > 3$	$kf_n, k > 3$	Рост ВЧ и/или ПФ
3 Износ внутреннего кольца	$kf_{вр}$	$kf_{вр}, k < 5, f_v$	Возможен рост ВЧ, УВЧ
4 Раковины, трещины внутреннего кольца	$kf_{вр}, k_1 f_v \pm k_2 f_{вр}$	$kf_{вр}, k_1 f_v \pm k_2 f_{вр}$	Возможен рост ВЧ, УВЧ
5 Износ тела качения и сепаратора	kf_c	$kf_c, k(f_{вр} - f_c)$	Возможен рост ВЧ, УВЧ
6 Раковины, сколы на теле качения	$2k_1 f_{тк} \pm k_2 f_c$	$2k_1 f_{тк} \pm k_2 f_c$	Рост ВЧ и/или ПФ
7 Дефект узлов крепления	$kf_{вр}$, возможно $kf_{вр} / 2$	$kf_{вр}$ возможна НпМ	Возможен рост ВЧ, УВЧ
8 Дефект смазки подшипника качения	Нет изменений	Возможно kf_n	Рост УО, ВЧ и ПФ
9 Дефект смазки моторно-осевого подшипника скольжения	Нет изменений	Возможна НпМ двух Б	Рост УО на двух подшипниках ТЭД
10 Дисбаланс ТЭД, несоосность малой шестерни	Рост $f_{вр д}$	Возможно $f_{вр д}$	Нет других изменений вибрации
11 Дефект зубьев малой шестерни	$kf_{вр д}, kf_z \pm k_1 f_{вр д}$	$kf_{вр д}, kf_z \pm k_1 f_{вр д}$	Возможен рост ПФ
12 Дисбаланс КП, несоосность большой шестерни	Рост $f_{вр к}$	Возможно $f_{вр к}$	Нет других изменений вибрации
13 Дефект зубьев большой шестерни	$k f_{вр к}, kf_z \pm k_1 f_{вр к}$	$kf_{вр к}, kf_z \pm k_1 f_{вр к}$	Возможен рост ПФ
14 Дефект зацепления	kf_z , рост СЧ	Возможно $kf_{вр д}, kf_{вр к}$	Возможен рост ПФ
15 Дефект муфты	$kf_{вр д}$	$kf_{вр д}, k > 5$	Возможен рост ПФ
16 Дефект крестовины	$4kf_{вр д}$	$4kf_{вр д}$	Возможен рост ПФ

Примечание – В таблице используются следующие обозначения: $f_{вр}$ – частота вращения контролируемого подшипника; $f_{вр д}$ – частота вращения тягового двигателя; $f_{вр к}$ – частота вращения колёсной пары; f_c – частота вращения сепаратора контролируемого подшипника; f_n – частота перекачивания тел качения по наружному кольцу; f_v – частота перекачивания тел качения по внутреннему кольцу; $f_{тк}$ – частота вращения тел качения; f_z – зубцовая частота вибрации; ВЧ – высокочастотная вибрация; СЧ – среднечастотная вибрация; НпМ – непериодическая модуляция случайной вибрации; ПФ – пик-фактор; УО – уровень огибающей; УВЧ – ультразвуковая высокочастотная вибрация.

По мере накопления статистических данных по результатам ревизии отбракованных в результате диагностирования подшипников пороговые значения могут корректироваться. Рекомендации по корректиров-

ке пороговых значений может давать только разработчик диагностического программного обеспечения. Данные рекомендации должны формироваться на основании материала, представленного ведущими инже-

нерами по диагностике. Материал, на основании которого проводится корректировка пороговых значений дефектов, должен содержать в себе письменную заявку на корректировку порогов с предложениями, базы данных с измерениями и акты ревизии подшипников не менее чем для пятидесяти забракованных подшипников, редукторов и т.д.

Рекомендации по корректировке пороговых значений должны быть аргументированными и оформлены в письменном заключении за подписью руководителя организации разработчика программного обеспечения. Изменения пороговых значений могут проводить только специалисты, ответственные за результат проведения диагностирования, прошедший специальную подготовку по вибрационной диагностике оборудования локомотивов, с опытом работы не менее трех лет, на основании заключений, выданных разработчиком программного обеспечения. Допускается самостоятельная корректировка пороговых значений опытным специалистом без привлечения разработчика программного обеспечения в сторону увеличения до 15 % по следующим дефектам: бой вала, дефекты большой шестерни и малой шестерни, не идентифицированный дефект.

По результатам обнаружения диагностических признаков возможных дефектов и сравнения измеренных параметров с пороговыми значениями определяется текущее состояние подшипника и его долгосрочный прогноз. Максимальную длительность прогноза безаварийной работы подшипника обеспечивает отсутствие как развитых, так и зарождающихся дефектов, а также нахождение вибрационного состояния подшипникового узла в зоне допустимых значений.

Ответственность за допуск в эксплуатацию подшипника, в котором обнаружены зарождающиеся или развитые дефекты, несёт специалист, выполнивший диагностирование и отвечающий за результаты [1].

Заключение

Рассмотренная технология диагностики имеет высокую достоверность (свыше 90 %) при диагностировании КМБ и КРБ локомотивов [2]. Комплекс «Вектор-2000» является универсальным и может применяться практически в любых условиях в отличие от стационарных установок ВД буксовых узлов колёсных пар, например, применяемых на предприятиях вагонного хозяйства (УДП-2001, ОМСД-02 и др.).

Однако большая часть эксплуатируемого вибродиагностического оборудования в локомотивном хозяйстве устарело морально и физически. Поэтому необходимы организационные методы, которые предполагают пересмотр и обновление нормативной базы по ВД.

Результаты ВД во многом определяются квалификацией работника, который должен быть опытным специалистом и иметь достаточный стаж в работе с

таким диагностическим оборудованием совместно с такими объектами диагностики. В то время, как на установках типа УДП-2001, ОМСД-02 этот субъективных фактор сводится практически к нулю и результат выводится на экран автоматически независимо от специалиста [3].

Хочется отметить, что диапазон скоростей вращения колёсной пары находится в достаточно широких пределах – от 180 до 300 об/мин. Это говорит о том, что использование минимальных значений будет вести, как правило, к пропуску дефектов, а максимальных оборотов – к перебраковке.

В настоящее время с целью повышения достоверности и глубины диагностирования ответственных узлов КМБ подвижного состава наметились тенденции опробования нетрадиционных подходов в части обработки и анализа информации, но чаще всего такие работы заканчиваются только модельными экспериментами и еще не находят широкого практического применения в области ВД [4].

Перспективными методами обработки вибросигнала можно считать использование [5]:

- вейвлет-преобразования, позволяющего отследить изменение спектра во времени (или получить трёхмерное спектральное поле);
- аппарата нечетких множеств;
- теории распознавания образов;
- фрактального анализа;
- искусственных нейронных сетей, позволяющих обучать диагностическое оборудование.

Список литературы

- 1 СТП БЧ 17.328-2015. Вибрационное диагностирование подшипников качения подвижного состава. Порядок организации и проведения (утвержден Приказом Зам. нач. Бел. ж.д. от 31.12.2015 №1351НЗ), 2015. – 96 с.
- 2 Технология вибрационного диагностирования подшипников качения колёсно-моторных блоков локомотивов / А. В. Барков [и др.] [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://vibro-expert.ru/tehnologiya-vibracionnogo-diagnostirovaniya-podshipnikov-kacheniya-kolesno-motornix-blokov-lokomotivov.html>. – Дата доступа : 14.09.2023.
- 3 **Отока, А. Г.** Опыт использования установки для вибродиагностики подшипников буксовых узлов колёсных пар вагонов УДП-2001СМ и системы диагностики механизмов ОМСД-02 / А. Г. Отока, Д. В. Будник, А. М. Лях // Надёжность. 2022. – С. 8–15.
- 4 **Тэттер, А. Ю.** Методы обработки сигналов при вибродиагностировании колёсно-моторных блоков локомотивов / А. Ю. Тэттер, В. Ю. Тэттер // Омский научный вестник 2017. – №1 (151) – С. 85–90.
- 5 **Тэттер В. Ю.** Совершенствование системы вибродиагностики колёсно-моторных блоков локомотивов / В. Ю. Тэттер // Бюллетень результатов научных исследований. – 2015. – С. 68–74.

Получено 12.12.2023

A. G. Otoka, A. S. Martyshov, L. V. Ogorodnikov, O. V. Kholodilov Features of vibration diagnostics of rolling bearings of wheel-motor units of electric trains of the ER9 series during current repairs.

The technology of vibration diagnostics of rolling bearings of wheel-motor units of electric trains of the ER9 series during current repairs is discussed. The problems of diagnosis related to the subjective factor, which is determined by the qualifications of the employee and the length of his work, are shown. Methods of increasing the reliability of diagnostic information obtained after processing vibration signals are proposed.