

Безопасность и эксплуатация железнодорожного транспорта при выполнении комплексных работ по неразрушающему контролю подшипников буксовых узлов

Л. В. Мартыненко✉

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ liuba.martinenko@yandex.ru

Резюме

В статье рассмотрены температурные зависимости, приводящие к отказам буксовых узлов на грузовом подвижном составе. Представлены основные неисправности и дефекты, влияющие на отказ буксового узла. В эксплуатации работоспособность подшипников определяется главным образом температурой нагрева буксовых узлов. Основной контроль изменения температуры производится при помощи автоматизированного устройства, которое считывает информацию по нагреву буксового узла с помощью инфракрасного излучателя, встроенного в комплекс технических средств модернизированный. Буксовые узлы вагонов и локомотивов всегда были предметом особого контроля для обеспечения безопасности движения подвижного состава. В условиях повышенного роста скоростей движения и возросшей грузоподъемности по всей сети железных дорог увеличилась нагрузка на ходовые части вагона и буксового узла в целом. В сложившейся ситуации работоспособность буксового узла уменьшается, а нагрузка увеличивается, что приводит к неправильной работе и отказу данного узла. Рассмотрена статистика по нагреву буксового узла в четном и нечетном направлениях. Приведены данные, снятые с комплекса технических средств модернизированного для сравнительного анализа движения вагонов с разными техническими параметрами и перевозимым грузом, а также неисправностями в системе «колесо – рельс». В эксплуатации часто встречаются неисправности, возникающие в результате заклинивания подшипников, которые происходят при неправильном подборе тел качения по длине и диаметру. Отцепы грузового подвижного состава в основном происходят по отказам буксовых узлов, и основной процент отказа приходится на неисправности торцевого крепления и тел качения подшипника.

Ключевые слова

железнодорожный транспорт, безопасность движения, неразрушающий контроль, буксовый узел, система «колесо – рельс», неисправности подшипников

Для цитирования

Мартыненко Л. В. Безопасность и эксплуатация железнодорожного транспорта при выполнении комплексных работ по неразрушающему контролю подшипников буксовых узлов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 3 (71). – С. 193–200. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.3(71).193-200

Информация о статье

поступила в редакцию: 04.10.2021, поступила после рецензирования: 13.10.2021, принята к публикации: 24.10.2021

Safety and operation of railway transport when performing complex works on non-destructive testing of axle box bearings

L. V. Martynenko✉

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ liuba.martinenko@yandex.ru

Abstract

The article considers temperature dependences leading to failures of axle boxes on freight rolling stock. The main malfunctions and defects affecting the failure of the axle box are presented. In operation, the operability of bearings is mainly determined by the heating temperature of the axle boxes. The main control of temperature changes is carried out using an automated device that reads information on the heating of the axle box unit using an infrared emitter built into the upgraded technical means complex. The axle boxes of wagons and locomotives have always been the subject of special control to ensure the safety of rolling stock traffic. Under conditions of increasing traffic speeds and increased load capacity across the entire railway network, the load on the running gear of the car and the axle box as a whole has increased. In the current situation, the operability of the axle box node decreases, and the load increases, which leads to improper operation and failure of this node. The statistics on the heating of the axle box in even and odd directions are considered. The data taken from a set of technical means designed for comparative analysis of the movement of wagons with different technical parameters and transported cargo, as well as malfunctions in the “wheel – rail” system are presented. In operation, malfunctions often occur as a result of bearings jamming, which occur when the rolling

elements are incorrectly selected in length and diameter. Uncoupling of freight rolling stock mainly occurs due to failures of axle assemblies, and the main percentage of failure is due to malfunctions of the end mount and rolling elements of the bearing.

Keywords

railway transport, traffic safety, non-destructive testing, axle box assembly, wheel–rail system, bearing malfunctions

For citation

Martynenko L. V. Bezopasnost' i ehkspluatatsiya zheleznodorozhnogo transporta pri vypolnenii kompleksnykh работ po ne-razrushayush-hemu kontrolyu podshipnikov buksovykh uzlov [Safety and operation of railway transport when performing complex works on non-destructive testing of axle box bearings]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 3 (71), pp. 193–200.– DOI: 10.26731/1813-9108.2021.3(71).193-200

Article Info

Received: 04.10.2021, Revised: 13.10.2021, Accepted: 24.10.2021

Введение

В целях обеспечения безопасности движения подвижного состава и предотвращения возникновения транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности и эксплуатации железнодорожного транспорта, используют организационную работу по тревожным показаниям средств диагностики комплекса технических средств многофункционального (КТСМ) [1, 2]. При эксплуатационных условиях возникают различные неисправности букс, а именно, самые частые вызванные влиянием внешних условий, механическими деформациями, загрязнением, нарушением технологии изготовления, обслуживания и ремонта грузового подвижного состава [3]. Техническое состояние и работоспособность буксовых узлов определяются главным образом температурой нагрева подшипников. От технического состояния буксового узла зависит температура шейки оси, внутренние зазоры, вязкость смазки и т. д. Нагрев элементов подшипников вызывают разные температурные показатели, которые приводят к деформации деталей в разной степени и могут привести к заклинению роликов и отказу буксового узла [4]. Однако существенным признаком большинства неисправностей буксового узла и колесной пары является повышение температуры корпуса буксы и шейки оси при движении подвижного состава. В зимние месяцы число отцепок вагонов по неисправностям подшипников возрастает, что связано с разностью температур окружающей среды и буксового узла. Поэтому температура буксового узла является важнейшим критерием, характеризующим техническое состояние подшипников [5]. В приведенном ниже анализе будут представлены отказы технических средств, учтенных за службой вагонного хозяйства на ВСЖД за 2019–2020 гг.

За 12 месяцев 2020 г. службой было учтено и расследовано 16 отказов технических средств первой и второй категорий. За этот же период 2019 г. было расследовано и учтено 29 случаев отказа технических средств. Снижение составило 45 % [6].

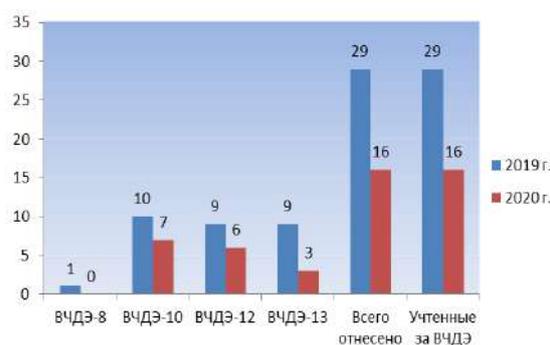


Рис. 1. Отказы первой и второй категорий за 2019–2020 гг.

Fig. 1. Category 1 and 2 failure in the years 2019-2020

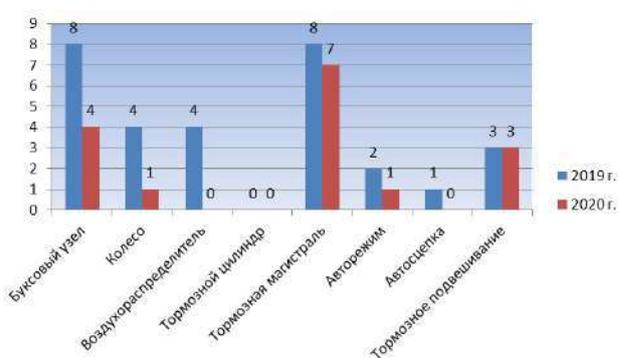


Рис. 2. Причины отказов первой и второй категорий за 2019–2020 гг.

Fig. 2. Reasons of categories 1 and 2 failures in 2019-2020

Причины отказов технических средств первой и второй категорий за 12 месяцев 2020 г.: четыре отказа по буксовому узлу, один – по колесным парам, семь – по тормозной магистрали, один – по авторежиму, три по тормозному подвешиванию. За тот же период 2019 г. причины отказов распределились следующим образом: восемь по буксовому узлу, четыре по колесным парам, четыре по воздухораспределителю, восемь по тормозной магистрали, два по авторежиму, один по автосцепке, три по тормозному подвешиванию [7].

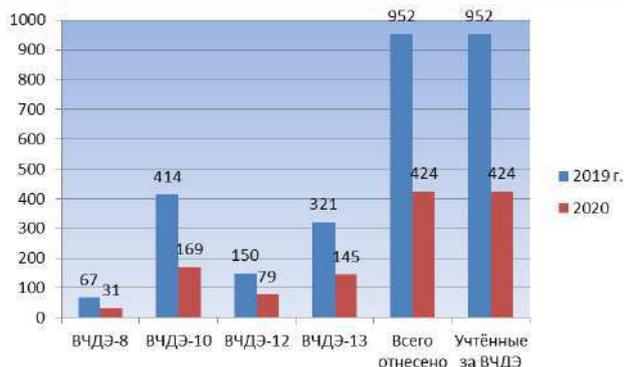


Рис. 3. Отказы третьей категории за 2019–2020 гг.

Fig. 3. Failures of category 3 in 2019-2020

За 12 месяцев 2020 г. за службой было учтено и расследовано 424 отказа технических средств третьей категории, против 952 случаев отказа технических средств в 2019 г. Снижение составило 56 % [8, 9].

Каждый год работниками соответствующих подразделений производится проверка более 4,5 млн деталей и узлов подвижного состава, в том числе более 1,3 млн осей колесных пар, в которых выявляется более 6,5 тыс. дефектов. К сожалению, актуальные в настоящее время средства неразрушающего контроля (НК) таковы, что надежность контроля во много зависит от квалификации и ответственности персонала: из общего количества опасных разрушений около 20 % стали следствиями дефектов, которые пропустил оператор [10].

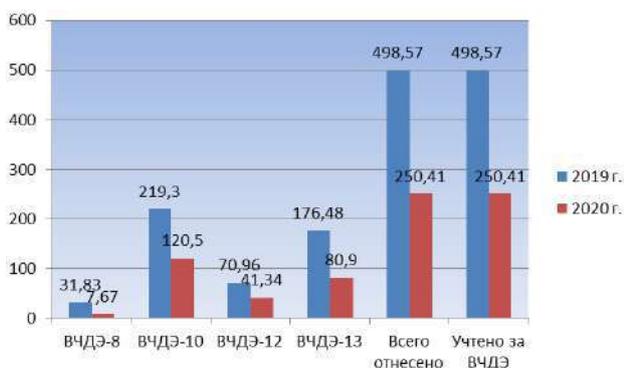


Рис. 4. Поездпотери за 2019–2020 гг.

Fig. 4. Train loss in 2019-2020

За 12 месяцев 2020 г. за службой учтено 250,4 потерь поезд-часов от принятых к учету поездов, против 498,41 в 2019 г., снижение – 248,01 поезд-часов.

Средства диагностики приобретают все большую актуальность в условиях нынешнего роста экономики, когда с увеличением общего объема перевозок возрастает потребность в исправном подвижном составе [11]. Поэтому очень важной зада-

чей является обеспечение необходимой организации и выполнение комплекса работ по вибродиагностике подшипников буксовых узлов, поступающих в ремонт, при входном контроле и при выходном контроле после проведения ремонта. В целях обеспечения безопасности движения подвижного состава и предотвращения возникновения транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности и эксплуатации железнодорожного транспорта, используют организационную работу по тревожным показаниям средств диагностики КТСМ [12, 13]. При эксплуатационных условиях возникают различные неисправности букс, а именно, самые частые вызванные влиянием внешних условий, механическими деформациями, загрязнением, нарушением технологии изготовления, обслуживания и ремонта грузового подвижного состава [14].

Эксплуатационные условия и внешние факторы, влияющие на буксовый узел

Буксовый узел колесной пары является ответственным узлом в ходовой части подвижного состава и служит для передачи статических и динамических нагрузок на ось колесной пары и обеспечения вращения колесной пары при движении грузового вагона. Буксы воспринимают и передают колесным парам вес кузова, а также динамические нагрузки, возникающие при движении вагона и при прохождении кривых участков пути, стрелочных переводов, стыковых соединений, при торможении колеса, при наличии дефектов на поверхности катания колес. Шейку оси колесной пары от загрязнения и повреждения предохраняют буксовые узлы. Они также являются резервуаром для смазки и местом размещения подшипников [15].

Тяжелые эксплуатационные условия и изменяющиеся внешние факторы – температурные и погодные условия окружающей среды приводят к тому, что буксы должны обеспечивать минимальное сопротивление вращению колесных пар, высокую надежность работы и безопасность движения вагона в целом. Поэтому к их конструкции и расчетам при проектировании, а также к технологическому процессу ремонта предъявляются особые требования [16].

Аппаратура КТСМ (КТСМ–01, КТСМ–01Д, КТСМ–02) по сравнению с прибором обнаружения нагретых букс (ПОНАБ–3) наделена улучшенными эксплуатационными и техническими характеристиками, которые обнаруживают и выявляют перегретые буксы с высокой температурой, работают в интервале наружного воздуха от -60°C до $+55^{\circ}\text{C}$, передают информацию на расстоянии до 40 км. В информации на один проверенный подвижной состав содержатся данные, а именно: количество осей в вагоне, количество и порядковые номера вагонов с перегретыми

буксами с указанием стороны по ходу поезда (левая, правая ось), время начала и окончания контроля, скорость движения поезда во время контроля. Средний срок службы аппаратуры 10 лет [17]. В табл. представлены разновидности тревог для грузовых и пассажирских вагонов с температурным пороговым значением нагрева буксового узла.

Конкретный порядок приема поездов на станцию с неисправными вагонами фиксируется в техническо-распорядительном акте и местной Инструкции.

При выявлении неисправности поезд должен следовать до следующей станции со скоростью не более 40 км/ч. Локомотивная бригада должна следить с особым вниманием за вагоном или вагонами с зафиксированной неисправностью, сведения об этом вагоне (локомотиве), его номер, расположение в поезде, должны быть переданы на ближайшую

станцию через оператора пункта технического обслуживания, где имеются осмотрщики вагонов, для усиления бдительности при встрече поезда для осмотра таких вагонов [18, 19].

Если перед следующей станцией КТСМ не выдал сигнал «ТРЕВОГА-1 (2)», то поезд может следовать без остановки по станции с установленной скоростью. При повторной выдаче перед следующей станцией сигнала «ТРЕВОГА-1 (2)» решение о дальнейшем движении поезда принимается осмотрщиком вагонов.

На рис. 5, 6 приведены результаты наблюдения за критической температурой буксового узла в зависимости от прохождения населенного пункта в четном и нечетном направлениях, представлен участок от 601 км до 1 815,6 км железной дороги. С участков была зафиксирована КТСМ нестабильная температурная зависимость буксового узла, которая

Таблица. Пороговые значения сигнализации для аппаратуры комплекса технических средств многофункционального (КТСМ-02), °С

Table. Threshold values of the equipment for multifunctional complex of technical means (КТСМ-02), С

Вид тревоги	Значения температуры в градусах Цельсия						
	Пассажирские поезда	Локомотив	Грузовые поезда				
			Кассета под адаптером	Основные ПТО ⁵	Пониженная настройка ⁶	Промежуточная станция	Повышенная настройка
	Разность температур букс на одной оси (Рось)						
Тревога 0	–	28	40 ⁶	20	25	32	32
Тревога 1	–	36	–	36	33	37	41
Тревога 2	–	40	–	43	40	43	47
	Относительная температура буксы (dT _б) ¹						
Тревога 0	60	50	70	50			
Тревога 1	70	60	80	60			
Тревога 2	80	70	90	70			
	Абсолютная температура (Т _б) ²						
Тревога 2	100						

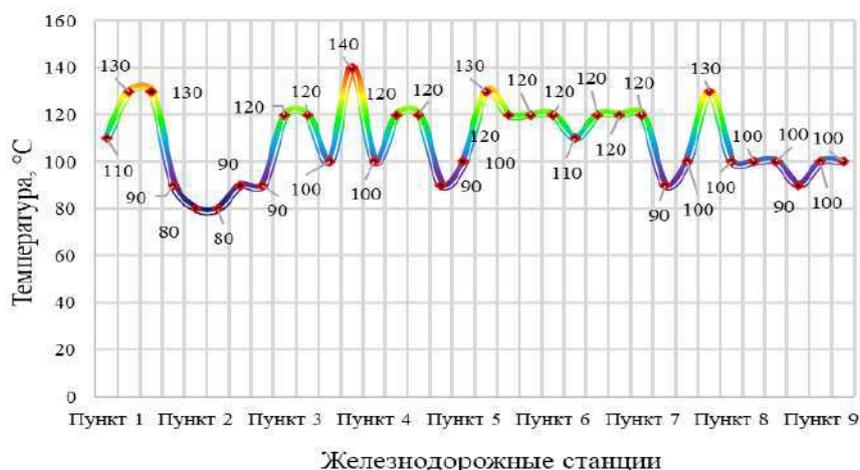


Рис. 5. Зависимость критической температуры от прохождения населенного пункта в четном направлении
Fig. 5. Critical temperature dependence on passing through populated area in even direction

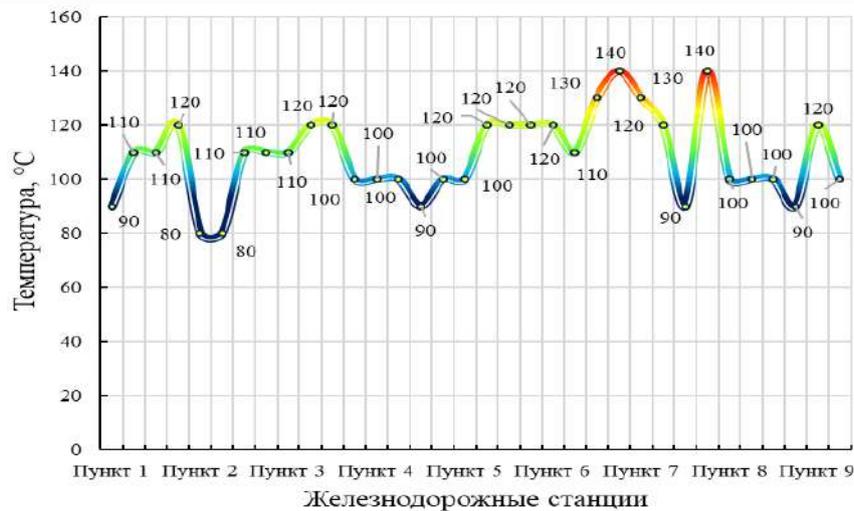


Рис. 6. Зависимость критической температуры от прохождения населенного пункта в нечетном направлении

Fig. 6. Critical temperature dependance on passing through populated area in odd direction

наблюдалась у подвижного состава, следовавшего в четном и нечетном направлениях. Температура буксового узла возрастает в пределах 80–140 °С. При рассмотрении данных, количество срабатываний КТСМ по нагреву буксового узла составило 12: в четном направлении – 8, а в нечетном – 4. При осмотре буксовых узлов количество сократилось до 11: в четном направлении – 7, а в нечетном – 4. Также при осмотре подшипниковых узлов была выявлена разница по длине (≥ 12 мкм) и диаметру (≥ 5 мкм) тел качения (роликов) (рис. 7).

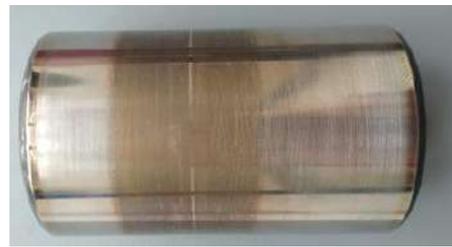


Рис. 7. Дефекты, приводящие к быстрому нагреву до «тревожных» температур

Fig. 7. Defects causing heating to "alarm" temperatures

Превышение допустимой температуры выходящей за пределы нормы вызвана основным фактором – отказ буксового узла, которые представляет угрозу для безопасности движения поездов. Причи-

нами отказа послужили многочисленные факторы, одними из которых являются дефекты металла, «елочки» на телах качения и нарушения технологии напрессовки внутренних колец подшипников, из-за которых в кольцах создаются повышенные остаточные напряжения и приводят к излому колец (рис. 8).



a



б

Рис. 8. Детали подшипников с дефектами, которые являются основными причинами отказов:

a – цвета побежалости; *б* – «елочка» на телах качения

Fig. 8. Parts of bearings being the main reasons for failure: *a* – run off colours, *b* – "herringbone" on rolling bodies

Исходя из особенности организации ремонта колесных пар на сети железных дорог, невозможно

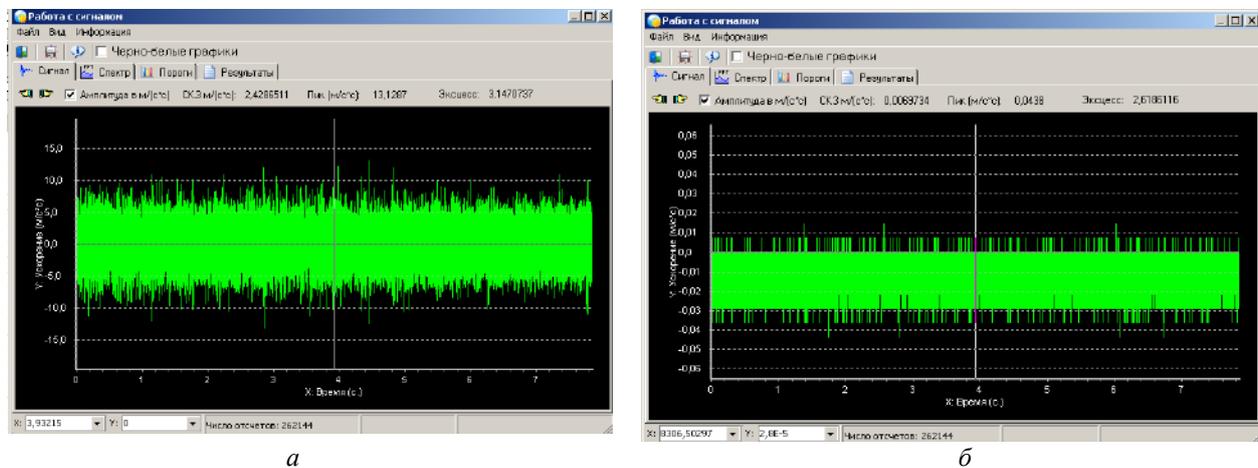
отследить изменение вибрационных параметров одной колесной пары при проведении очередного ремонта, так как возможность попадания ее на это же предприятие крайне мала. Поэтому оценку технического состояния буксовых узлов колесной пары необходимо производить по однократному измерению вибрации. Различить все виды дефектов по однократному измерению вибрации крайне сложно, поэтому дефекты разбиты на группы, с учетом особенностей влияния на вибрацию. Число групп дефектов снижается за счет их объединения с группами дефектов, которые имеют схожие признаки по их проявлению в спектре вибрации и спектре огибающей ее высокочастотной части.

На рис. 9, 10 приведены примеры сигналов и спектров двух колесных пар, одна из которых имеет

дефекты тел качения подшипников, а вторая является полностью исправной. На рис. 10 представлены спектральные пороги исправной и неисправной колесной пары с соответствующими для них таблицами, где представлены возможные дефекты в зависимости от измеренного уровня виброускорения.

Заключение

В статье представлены данные, снятые с автоматизированной системы КТСМ, в виде графиков зависимости температуры нагрева букс с разных участков пути в четном и нечетном направлениях, а также приведены спектральные диаграммы, полученные при проведении вибродиагностики колесных пар. Все полученные данные превышают максимально допустимую температуру нагрева букс, в



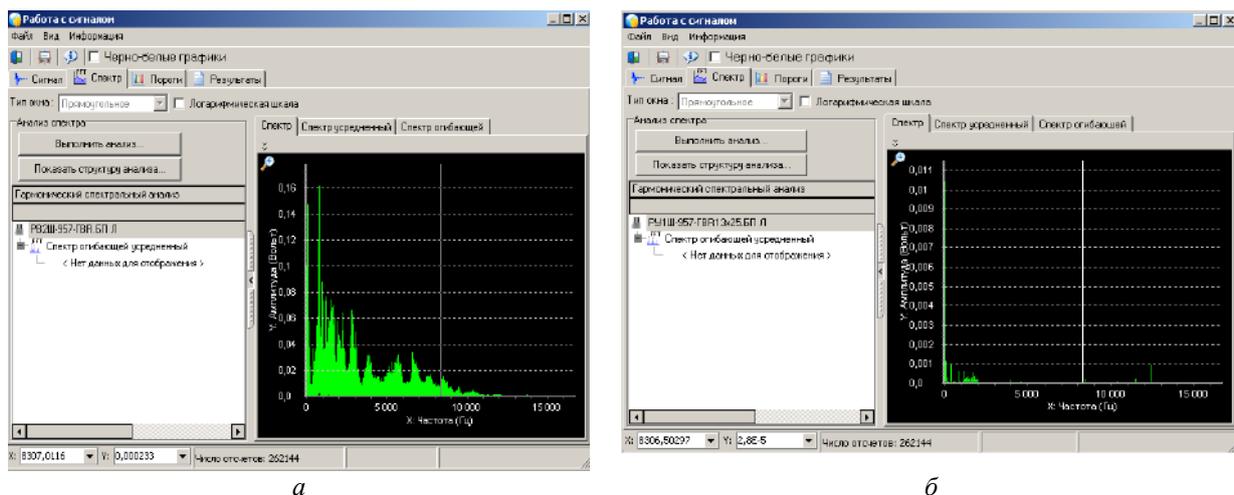
а

б

Рис. 9. Сигнал виброускорения во времени:

а – неисправной колесной пары; б – исправной колесной пары

Fig. 9. Vibration acceleration signal in time: a – defective wheel set, b – functioning wheel set



а

б

Рис. 10. Спектр огибающей:

а – неисправная букса; б – исправная букса

Fig. 10. Enveloping spectre:

a-defective box, b-functioning box

одном подшипнике тела качения имеют разные длины и диаметры, которые превышают норму, что приводит к неправильной работе буксового узла и его заклиниванию. Рассмотренный пример отказа буксового узла может повлечь за собой сход подвижного состава, так как при неправильной работе может произойти сдвиг буксового узла и, соответственно, увеличение и смещение нагрузок на ось и колесо, вследствие чего происходит излом оси, и

боковая рама вместе с буксовым узлом падает на земляное полотно. В практике рассмотрены сходы подвижного состава по данным причинам и процент их достаточно высок. Данные неисправности буксового узла на Восточно-Сибирской железной дороге являются основными и в сочетании с другими неисправностями являются особо опасными не только для конкретного подвижного состава, но и для параллельно движущихся составов.

Список литературы

1. Анализ работы устройств КТСМ и УКСПС на железных дорогах ОАО «РЖД» в 2018 году. М. : Управление автоматизации и телемеханики Центральной Дирекции Инфраструктуры. 2018. 23 с.
2. Анисимов П.С., Лукин В.В., Федосеев Ю.П. Вагоны. Общий курс. М. : Маршрут, 2004. 424 с.
3. Техническая диагностика вагонов : учебник / Р.А. Ахмеджанов и др. ; под ред. Криворудченко В.Ф. М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2013. 30 с.
4. Ахмеджанов Р.А., Криворудченко В.Ф. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта : учеб. пособие для вузов ж-д транспорта. М. : Маршрут, 2005. 436 с.
5. Балалаев С.В. Безопасность движения на железных дорогах. Ч. 1. Основы безопасности : учеб. пособие. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2008. 125 с.
6. Бугаев В.П., Гридюшко Н.З., Криворучко В.И. Вагонное хозяйство. М. : Транспорт, 1988. 279 с.
7. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона. М. : Транспорт, 1991. 860 с.
8. Гапанович В.А. Прогрессивные технологии обеспечения безопасности движения поездов и сохранности перевозимых грузов. М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2008. 220 с.
9. Технология вагоностроения и ремонта вагонов / В.С. Герасимов, Б.М. Кернич, И.Ф. Скиба и др. М. : Транспорт, 1988. 381 с.
10. Герасимов В.С., Кернич Б.М., Скиба И.Ф. Технология вагоностроения и ремонта вагонов. М. : Транспорт, 2002. 380 с.
11. Двоглазов А.В., Хоперский В.И. Наглядно о структуре КТСМ-02 // Автоматика, связь, информатика. 2010. № 11. С. 31–34.
12. Инструкция по техническому обслуживанию вагонов в эксплуатации (инструкция осмотрику вагонов) № 808-2017-ПКБ-ЦТ : утв. Советом по ж.-д. трансп. Государств - участников Содружества от 21-22.05.2009 г. № 50. Введ. 01.09.2009.
13. Левин С.В., Хмелев В.Н., Цыганок С.Н. Источники ультразвукового воздействия. Особенности построения и конструкции. Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. 196 с.
14. Лысюк В.С. Причины и механизмы схода колеса с рельса. М. : Транспорт, 2002. 215 с.
15. Руководство по эксплуатации средств контроля: КТСМ-01Д для автоматического обнаружения перегретых букс и заторможенных колесных пар на ходу поезда. Омск, 2002. 18 с.
16. Телевной А.В., Телевной В.А. Технологические процессы повышения конструкционной прочности деталей машин. Омск : ОмГТУ. 1993. 120 с.
17. Вагоны. Конструкция, теория и расчет / Л.А. Шадур, И.И. Челноков, Л.Н. Никольский и др. М. : Транспорт, 1980. 439 с.
18. Шаповалов В.В., Швалов Д.В. Система диагностики подвижного состава. М. : Маршрут, 2005. 268 с.

References

1. Analiz raboty ustrojstv KTSM i UKSPS na zheleznykh dorogakh ОАО «RZHD» v 2018 godu [Analysis of the operation of KTSM and UKSPS devices on the railways of Russian Railways in 2018]. Moscow: Automation and Telemechanics Department of the Central Directorate of Infrastructure, 2018. 23 p.
2. Anisimov P.S., Lukin V.V., Fedoseev Yu.P. Obshhij kurs [Wagons. General Course]. Moscow: Marshrut Publ., 2004. 424 p.
3. Akhmezhdanov RA and others; ed. Krivorudchenko V.F. Tekhnicheskaya diagnostika vagonov [Technical diagnostics of cars]. Moscow: Uchebno-metodicheskij tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte, 2013. 30 p.
4. Akhmedzhanov R.A., Krivorudchenko V.F. Sovremennye metody tekhnicheskoy diagnostiki i nerazrushayushhego kontrolya detalej i uzlov podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta [Modern methods of technical diagnostics and non-destructive testing of parts and components of rolling stock of railway transport]. Moscow: Marshrut Publ., 2005. 436 p.
5. Balalaev S.V. Bezopasnost' dvizheniya na zheleznykh dorogakh. CH.1. Osnovy bezopasnosti [Traffic safety on railways. Part 1. Fundamentals of safety]. Khabarovsk: DVGUPS Publ., 2008. 125 p.
6. Bugaev V.P., Gridyushko N.Z., Krivoruchko. V.I. Vagonnoe khozyajstvo [Wagon economy]. Moscow: Transport Publ., 1988. 279 p.
7. Vershinsky S.V., Danilov V.N., Khusidov V.D. Dinamika vagona [The dynamics of the car]. Moscow: Transport Publ., 1991, 860 p.
8. Gapanovich V.A. Progressivnyye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti dvizheniya poezdov i sokhrannosti perevozimykh грузов [Progressive technologies to ensure the safety of train traffic and the safety of transported goods]. Moscow: Uchebno-metodicheskij tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte, 2008. 220 p.

9. Gerasimov V.S., Kernich B.M., Skiba I.F. Tekhnologiya vagonostroeniya i remonta vagonov [Technology of car building and repair of cars]. M.: Transport Publ., 1988. 381 p.
10. Gerasimov V.S., Kernich B.M., Skiba I.F. Tekhnologiya vagonostroeniya i remonta vagonov [Technology of car building and car repair]. Moscow: Transport Publ., 2002. 380 p.
11. Dvoeglazov A.V., Khopersky V.I. Naglyadno o strukture KTSM–02 [Vividly about the structure of KTSM – 02]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics], 2010, No. 11, pp. 31–34.
12. Instruksiya po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu vagonov v ehkspluatatsii (instruksiya osmotrshhiku vagonov) [Instructions for the maintenance of cars in operation (instructions for the car inspector)]. No. 808-2017-ПКВ-ТсТ.
13. Levin S.V., Khmelev V.N., Tsyganok S.N. Istochniki ul'trazvukovogo vozdejstviya. Osobennosti postroeniya i konstruksii [Sources of ultrasound exposure. Features of construction and construction]. Biysk: Altajskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet Publ., 2013. 196 p.
14. Lysyuk V.S. Prichiny i mekhanizmy skhoda koleasa s rel'sa [Causes and mechanisms of wheel derailment]. Moscow: Transport Publ., 2002. 215 p.
15. Rukovodstvo po ehkspluatatsii sredstv kontrolya: KTSM-01D dlya avtomaticheskogo obnaruzheniya peregretykh buks i zatormozhennykh kolesnykh par na khodu poezda [Operation manual for control devices: KTSM-01D for automatic detection of overheated axle boxes and braked wheelsets on the move]. Omsk, 2002. 18 p.
16. Televnoy A.V., Televnoy V.A. Tekhnologicheskie protsessy povysheniya konstruksionnoj prochnosti detalej mashin [Technological processes of increasing the structural strength of machine parts]. Omsk: Omskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet Publ., 1993. 120 p.
17. Shadur L.A., Chelnokov I.I., Nikol'skij L.N. etc. Vagony. Konstruksiya, teoriya i raschet [Wagons. Design, theory and calculation]. Moscow: Transport Publ., 1980. 439 p.
18. Sharovalov V.V., Shvalov D.V. Sistema diagnostiki podvizhnogo sostava [Rolling stock diagnostic system]. Moscow: Marshrut Publ., 2005. 268 p.

Информация об авторах

Мартыненко Любовь Викторовна – старший преподаватель кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: liuba.martinenko@yandex.ru

Information about the authors

Lyubov V. Martynenko – senior lecturer of the Subdepartment railcars and wagon facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: liuba.martinenko@yandex.ru