



# Система акустического контроля колёсных пар во время движения



Вячеслав БОНДАРЕНКО  
Vyacheslav V. BONDARENKO

Дмитрий СКУРИХИН  
Dmitry I. SKURIHIN



*Бондаренко Вячеслав Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны» Украинской государственной академии железнодорожного транспорта (УкрГАЗТ), Харьков, Украина.  
Скурихин Дмитрий Игоревич – ассистент кафедры «Вагоны» УкрГАЗТ, Харьков, Украина.*

## Mobile Acoustic Control System of Wheel Sets

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 195)

**Среди основных причин, которые приводят к катастрофам, авариям и значительным материальным затратам на железнодорожном транспорте, неизменно остаются дефекты колес и буксовых узлов вагонов. В связи с этим крайне важной задачей является их достоверное и точное выявление на ранней стадии зарождения. В статье предложена новая бортовая беспроводная диагностическая система пассажирского вагона, предназначенная для выявления дефектов колесных пар, в основе которой лежит метод акустического контроля. Под кузовом крепятся микрофоны, с помощью которых в автоматическом режиме осуществляются запись и анализ частотного диапазона акустического сигнала от колес и буксовых подшипников, позволяющие своевременно фиксировать отклонения от заданных норм.**

**Бортовая диагностическая система имеет несомненные преимущества перед своими наземными акустическими аналогами, поскольку последние имеют проблемы с достоверностью диагноза из-за негативного влияния на точность эффекта Доплера.**

*Ключевые слова:* вагон, колесная пара, повреждения колес, диагностика дефектов, акустический метод, бортовая система контроля.

**В** последние годы среди отказов узлов и оборудования пассажирских вагонов в пути следования основная их часть падает на колесные пары (54%), причем большинство дефектов – это выщербины (44%), ползуны (14%) и навары (5%) на поверхности катания колес [1, 2]. Многими исследованиями доказана закономерность подобных фактов и связана она с отрицательным влиянием неровностей колес на прочность и долговечность осей колесных пар, роликовых подшипников, редукторов подвагонных генераторов, стрелочных переводов, рельсов, сварных и изолирующих стыков, болтовых соединений [3–7].

Полностью исключить появление отказов в виде локальных неровностей на поверхности катания колес конструкционными, технологическими и эксплуатационными мерами сложно, поскольку причинами их возникновения могут быть случайные непрогнозируемые факторы: кратковременные динамические разгрузки колесных пар при проходе по неровностям рельсовых путей, непостоянство коэффициента сцепления колес с рельсами и т. д. В этом случае актуальной становится задача оперативного выявления возникшего в пути следования дефекта

колеса и своевременного оповещения поездной бригады и железнодорожных служб для предотвращения угрозы безопасности движения, минимизации вероятного ущерба и сокращения времени на техническое обслуживание поезда.

Считаем необходимым прежде всего оперативное обнаружение ползунов и наваров на колесных парах пассажирских вагонов, которые при закатывании образуют неравномерный прокат, особо опасный при повышенных скоростях движения (120–160 км/ч) и трудно поддающийся выявлению в эксплуатации. В местах закатавшихся ползунов и наваров, помимо прочего, происходит выкрашивание стали обода, что в дальнейшем приводит к разрушению колеса.

Техническое состояние колесных пар наиболее полно проявляется при движении в процессе взаимодействия с рельсами. Короткие неровности на поверхности катания колес вызывают ударные нагрузки, инициирующие звуковые колебания неподрессоренных частей вагона, и потому могут быть обнаружены средствами акустического (шумо-диагностического) контроля.

Акустический сигнал от взаимодействующих колеса и рельса образуется как сумма возмущений, которые мало отличаются по величине и представляют сложную квазистохастическую последовательность. Во время прохода вагоном рельсовых стыков и стрелок на фоне квазистохастической последовательности слабых импульсов появляется несколько с большей амплитудой. При наличии на поверхности катания колеса короткой неровности период прохождения импульсов пропорционален скорости вагона  $V$ , а амплитуда – интенсивности соударения, которая зависит от глубины неровности  $\delta_0$  (рис. 1).

Аналитическая запись кривой изменения силы в контакте колеса и рельса в виде ряда Фурье [8]:

$$Q(t) = \frac{Q_{cm}(T_0 - t_{yd}) + Q_d t_{yd}}{T_0} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ 2 \left( \frac{Q_d - Q_{cm}}{\pi n} \right) \left( \cos \frac{\pi n(2t_3 + t_{yd})}{T_0} \sin \frac{\pi n t_{yd}}{T_0} \right) + 2 \left( \frac{Q_d - Q_{cm}}{\pi n} \right) \left( \sin \frac{\pi n(2t_3 + t_{yd})}{T_0} \sin \frac{\pi n t_{yd}}{T_0} \right) \right], \quad (1)$$

где  $t_3$  – сдвиг во времени относительно  $t=0$ ;  
 $n$  – количество импульсов в последовательности;

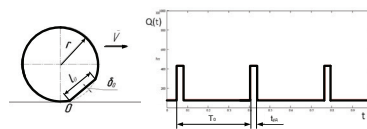


Рис. 1. Кривая изменения силы в виде последовательности прямоугольных импульсов.

$t_{yd}$ ,  $T_0$  – длительность и период следования импульсов;

$Q_d$  – сила удара колеса по рельсу;

$Q_{cm}$  – статическая нагрузка от колеса на рельс.

В изложенном варианте задача обнаружения повреждения колеса сводится к выделению периодических импульсов в звуковом сигнале на фоне помех и определению соответствия между амплитудой звукового давления и глубиной короткой неровности.

На кафедре «Вагоны» УкрГАЗТ разработаны способ и система акустического контроля колесных пар во время движения вагона [9, 10], а также макетный образец анализатора. Система состоит из микрофонов, анализатора звукового сигнала и GPS/GSM/GPRS-трекера. Микрофоны расположены под кузовом пассажирского вагона (рис. 2), анализатор и трекер – в распределительном шкафу вагона.

С помощью анализатора из звукового сигнала во время движения вагона выделяются периодические импульсы, соответствующие ударам поврежденного колеса по рельсу с привязкой к скорости вращения колеса. Данные о выявлении поврежденного колеса при помощи трекера передаются на бортовые и наземные посты контроля вагонов.

Такой метод акустического контроля позволяет осуществлять выявление дефектов не только на поверхности катания колес, но и в подшипниках буксовых узлов на основании анализа частотного диапазона акустического сигнала и сопоставления с известными частотами их дефектов исходя из конструкции, геометрических размеров и скорости движения поезда:

частота с дефектом на наружном кольце

$$F_n = \frac{N}{2} \cdot \left( 1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \alpha \right) \cdot \frac{RPM}{60}, \quad (2)$$

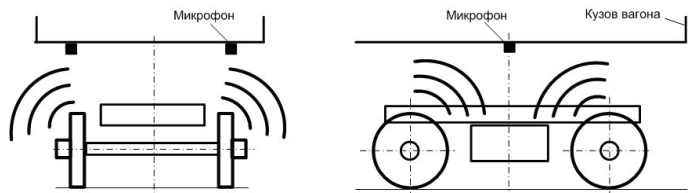
частота с дефектом на внутреннем кольце

$$F_v = \frac{N}{2} \cdot \left( 1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \alpha \right) \cdot \frac{RPM}{60}, \quad (3)$$

частота с дефектом ролика



Рис. 2. Бортовая система акустического контроля колесных пар вагона.



$$F_r = \frac{P_d}{2B_d} \cdot \left( 1 - \left( \frac{B_d}{P_d} \right)^2 (\cos \alpha)^2 \right) \cdot \frac{RPM}{60}, \quad (4)$$

где  $N$  – количество роликов в подшипнике;  
 $RPM$  – скорость вращения подшипника, об./мин;

$B_d$  – диаметр ролика;

$P_d$  – диаметр сепаратора (наружный диаметр подшипника плюс внутренний диаметр подшипника, деленные на 2);

$\alpha$  – угол контакта тел качения с дорожками качения.

Система акустического контроля имеет следующие преимущества:

- возможность непрерывного контроля колесных пар в пути следования вагона, а также заблаговременное оповещение ремонтных бригад приводят к повышению готовности пассажирских вагонов в эксплуатации;

- регистрация коротких неровностей сразу после возникновения позволяет оперативно принимать меры по изменению скоростного режима поезда, а также предупреждать развитие неравномерного проката (который возникает при закатывании коротких неровностей), вычисление пробега колесной пары с короткой неровностью;

- система является более точной и эффективной по сравнению с существующими наземными акустическими средствами диагностики, поскольку последние имеют проблемы с достоверностью диагноза из-за негативного влияния на точность эффекта Доплера, особенно когда поезд следуют мимо неподвижно расположенных микрофонов с большими скоростями;

- высокая надежность системы обусловлена и менее нагруженными условиями работы, поскольку датчики (микрофоны) располагаются под обрессоренным кузовом пассажирского вагона и не требуют прокладки проводов к объекту контроля, в отличие от известных систем с датчиками ускорений;

- способность параллельно проводить и автоматический акустический контроль технического состояния аварийных участков пути помогает привязать его к координатам обслуживания посредством GPS;

- дополнительные удобства и экономия дает возможность монтажа на конструкции любого года постройки, ибо система является автономной и не зависит от схемы электрооборудования вагона.

## Выводы

1. На железных дорогах СНГ и Европы отсутствуют эффективные системы непрерывного контроля технического состояния колесных пар, что негативно влияет на безопасность движения и снижает эксплуатационную готовность пассажирских вагонов.

2. Звуковые колебания служат достоверным источником информации о техническом состоянии колесных пар и буксовых подшипников во время движения пассажирского вагона.

3. Применение системы оперативного (бортового) акустического контроля на основании разработанного метода позволяет эффективно обнаруживать наиболее опасные повреждения колесных пар и буксовых подшипников, что положительно влияет на обеспечение высокой эксплуатационной готовности пассажирских вагонов в эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мартинов И. Е., Бондаренко В. В., Скуріхін Д. І. Підвищення експлуатаційної надійності пасажирських вагонів на основі акустичного контролю колісних пар // Вагонний парк. – 2011. – № 6. – С. 36–39.
2. Бондаренко В. В., Скуріхін Д. І. Бортова система акустичного контролю колісних пар // Залізничний транспорт України. – 2012. – № 1. – С. 32–35.
3. Кудрявцев Н. Н., Бакланов Б. В. Оценка эксплуатационной нагруженности колесных пар пассажирских вагонов инерционными силами и их нормирование // Исследование неровностей колес пассажирских вагонов: Сб. науч. трудов ВНИИЖТ. – Вып. № 608. – М.: Транспорт, 1979. – С. 88–101.
4. Образцов В. Л., Малышев В. П. Автоматизация технической диагностики колес при движении поезда. – М.: Транспорт, 1978. – 48 с.

5. Кривошеев В. Н. Анализ неровностей на поверхностях катания колес, выявленных методом силового контроля // Исследование неровностей колес пассажирских вагонов: Сб. науч. трудов ВНИИЖТ. – Вып. № 608. – М.: Транспорт, 1979. – С. 60–74.

6. Кудрявцев Н. Н., Белоусов В. Н., Сасковец В. М. Влияние коротких неровностей колес и рельсов на динамические силы и ускорения ходовых частей вагонов // Влияние неровностей поверхностей катания колес на работу ходовых частей пассажирских вагонов: Сб. науч. трудов ВНИИЖТ. – Вып. № 610. – М.: Транспорт, 1981. – С. 4–22.

7. Замуховский А. В., Квашнин Н. М., Жангабылова А. М. Контроль динамического воздействия на путь // Мир транспорта. – 2014. – № 5. – С. 72–81.

8. Скурихин Д. И. Удосконалення технології технічного обслуговування та діагностики колісних пар пасажирських

вагонів на основі методу акустичного контролю // Дис... канд. техн. наук. – Харків, 2014. – 143 с.

9. Система дистанційного акустичного контролю рейкового рухомого складу під час руху. Пат. 96483 Україна МПК В61К 9/08 (2006.01), G01S 5/14 (2006.01) / Бондаренко В. В., Візник Р. І., Скурихин Д. І.; заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № а200911191; заяв. 04.11.2009; опублік. 10.11.2011. Бюл. № 21/2011–7 с.

10. Спосіб дистанційного акустичного контролю рейкового рухомого складу під час руху. Пат. 95863 Україна МПК В61К 9/08 (2006.01), G01S 5/14 (2006.01) / Бондаренко В. В., Візник Р. І., Скурихин Д. І.; заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № а201005510; заяв. 05.05.2010; опублік. 12.09.2011. Бюл. № 17/2011–5 с.

Координати авторів: Бондаренко В. В. – bonvua@ukr.net, Скурихин Д. И. – skurikhin@i.ua.

Статья поступила в редакцию 26.09.2014, актуализирована 02.02.2015, принята к публикации 08.02.2015.

**Статья подготовлена на основе материалов, представленных авторами на Международной научно-практической конференции «Конструкция, динамика и прочность подвижного состава», посвященной 75-летию со дня рождения В. Д. Хусидова (МИИТ, 20–21 марта 2014 года).**

## MOBILE ACOUSTIC CONTROL SYSTEM OF WHEEL SETS

**Bondarenko, Vyacheslav V.,** Ukrainian State Academy of Railway Transport (UkrGAZHT), Kharkov, Ukraine.

**Skurihin, Dmitry I.,** Ukrainian State Academy of Railway Transport (UkrGAZHT), Kharkov, Ukraine.

### ABSTRACT

Defective wheels and axle boxes of cars still remain among main reasons that lead to disasters, accidents and significant material costs for rail transport. In this regard, an extremely important problem is reliable and accurate detection of defaults at the early stage of emergence.

It is difficult to completely eliminate the occurrence of failures in the form of local irregularities on the wheel tread taking structural, technological and operational measures, because their causes can be within a range of unpredictable random factors: short-term dynamic unloading of wheel sets when passing over irregularities of rail tracks, the volatility of the coefficient of friction of the wheels and rails, etc. In this case, the actual task is a rapid identification of a wheel defect arose in transit and timely notification of the train crew and rail services to

prevent threats to safety, minimize the likelihood of damage and reduce maintenance time trains.

A new wireless onboard diagnostic system of passenger cars is proposed, which is designed to detect defects of wheel sets. This system is based on the method of acoustic control. Under the body of the passenger car microphones are mounted through which in the automatic mode recording and the analysis of frequency range of an acoustic signal from wheels and axle bearings, allowing detecting timely deviations from the set standards.

This onboard diagnostic acoustic system has obvious advantages over its ground acoustic analogs, since the latter, as known, have problems with the reliability of the diagnosis because of the negative impact on the accuracy of the Doppler effect, especially when trains run past the stationary located microphones at high speeds.

**Keywords:** car, wheel set, damaged wheels, defect diagnostics, acoustic method, onboard control system.

**Background.** In recent years, among failures of joints and equipment of passenger cars en route most of them fall on the wheel sets (54%), the most of the defects are chips (44%), wheel flats (14%) and built up metals (5%) on the wheel tread [1, 2]. Many studies have shown similar pattern of facts and it is associated with the negative influence of the roughness of the wheels on the strength and durability of the wheel set axles, roller bearings, gears of undercar generators, switches, rails, welded and insulating joints, bolted connections [3–7].

It is difficult to completely eliminate the occurrence of failures in the form of local irregularities on the wheel tread taking structural, technological and operational measures because their causes can be unpredictable random factors: short-term dynamic unloading of wheel sets when passing over irregularities of rail tracks, the volatility of the coefficient of friction of the

wheels and rails, etc. In this case, the actual task is a rapid identification of a wheel defect arose in transit and timely notification of the train crew and rail services to prevent threats to safety, minimize the likelihood of damage and reduce maintenance time trains.

We believe it necessary first of all, to proceed with detection of wheel flats and built up metals to the wheel sets of passenger cars, which, when rolling up form uneven rolling, particularly dangerous at high speeds (120–160 km/h) and are difficult to identify in operation. In places of rolled up wheel flats and built up metal, among other things chipping of steel of the rim occurs, which further leads to the destruction of the wheel.

**Objective.** The objective of the authors is to present a new wireless onboard diagnostic system of passenger coaches designed to detect defects of wheel sets, which is based on the method of acoustic control.

