



**О. В. Горякина<sup>2</sup>, Л. В. Мартыненко<sup>1</sup>, Е. А. Тимакова<sup>2</sup>, А. И. Фофонова<sup>2</sup>, Н. И. Шахова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, г. Москва, Российская Федерация

Дата поступления: 06 мая 2019 г.

## ОЦЕНКА РАБОТЫ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

**Аннотация.** В статье проводится анализ основных неисправностей вагонов, возникающих в процессе их эксплуатации на Восточно-Сибирской железной дороге, представлена номенклатура распределения неисправностей вагонов по основным несущим узлам. Определена основная проблема досрочной постановки вагонов в ремонт по неисправностям поверхности катания колесных пар. Анализируются дефекты колесных пар, образовавшиеся в процессе эксплуатации вагонов на Восточно-Сибирской железной дороге в 2016–2019 гг. Рассматривается принцип работы и контролируемые параметры при сканировании поверхностей катания колесных пар автоматическим комплексом технических измерений. Авторами выделяются наиболее значимые недостатки работы комплекса технических измерений в эксплуатации, влияющие на пропускную способность станций и пунктов технического обслуживания. Предлагается вариант внедрения на производстве лазерного профилометра для сокращения времени простоя транзитных поездов. На производстве работа по контрольным измерениям профилей поверхности катания колесных пар вагонов выполнялась на станции Иркутск-Сортировочный (парки прибытия). В ходе работы на производстве проводился анализ данных, полученных при измерениях различных профилей поверхности катания грузовых вагонов, включая колесные пары с дефектами в сравнении с эталонным профилем. Автоматизированная система профилометра позволяет не только снимать, но и передавать информацию. Это, в свою очередь, способствует оценке количества неисправностей по полученным измерениям и дает возможность преобразовать их в диаграммы. В работе также приводятся основные преимущества лазерного профилометра поверхности катания колесных пар с целью рекомендации его внедрения в эксплуатацию.

**Ключевые слова:** железная дорога, железнодорожный транспорт, подвижной состав, вагон, колесная пара, лазерный профилометр, дефекты поверхности катания, комплекс технических измерений, статистика отказов, неисправности колесных пар, неисправности вагонов, система «колесо – рельс».

**O. V. Goryakina<sup>2</sup>, L. V. Martynenko<sup>1</sup>, E. A. Timakova<sup>2</sup>, A. I. Fofonova<sup>2</sup>, N. I. Shakhova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

<sup>2</sup> All-Russian Research Institute of Railway transport, Moscow, Russian Federation

Received: May 06, 2019

## ESTIMATING THE WORK OF THE TECHNICAL MEASUREMENTS COMPLEX AND USING INNOVATIVE TECHNOLOGIES ON THE EAST-SIBERIAN RAILWAY

**Abstract.** This article analyzes the main faults of rail cars arising in the process of operation on the East-Siberian railway and presents the nomenclature of the car faults distribution on the main bearing assembly units. The main problem of early rail car repair because of the wheel tread malfunctions has been identified, alongside with the analysis of wheelset defects formed during operation on the East-Siberian railway for the period 2016-2019. The paper considers the principle of operation and controlled parameters for the automatic scanning of wheel treads by an automatic complex of technical measurements. The authors have highlighted significant shortcomings in the operation of a technical measurements complex that affect the throughput of stations and technical service points. A variant has been proposed for the introduction of a laser profilometer in production in order to reduce the idle time of transit trains. In production, work is carried out on the control measurements of the rail car wheel tread profiles at the Irkutsk-Sortirovochnaya station (receiving yards). In the course of work in production, an analysis was made using data obtained from measurements of various freight rail car tread profiles, including wheelsets with defects in comparison with the reference profile. The automated profilometer system makes it possible not only to detect data but also to transfer it which allows analyzing the number of faults by the measurements obtained and the ability to convert them into diagrams. The main advantages of the laser profilometer of the wheel treads are given for recommending the introduction of its operation.

**Keywords:** railway, railway transport, rolling stock, rail car, wheelset, laser profilometer, tread defects, technical measurements, failure statistics, wheelset faults, rail car faults, rolling stock, wheel-rail system.



## Введение

В последнее время все чаще говорят о низком качестве эксплуатируемого подвижного состава. Однако не стоит отрицать того, что с 2007 г. идет активное обновление парка подвижного состава новыми инновационными вагонами [1]. Несмотря на это в настоящее время в эксплуатации находится большая доля устаревших моделей вагонов, за которыми необходим тщательный контроль и диагностика их технического состояния с целью должного обеспечения безопасности движения на сети железных дорог Российской Федерации [2].

Таким образом, следуя стратегии развития железнодорожного транспорта в России до 2030 г., производится обновление и внедрение новых систем и устройств для повышения результатов в области обеспечения безопасности движения подвижного состава. Проводится введение новых технологий по обслуживанию и ремонту парка грузовых вагонов для получения удовлетворительных показателей перевозочного процесса с целью уменьшения сроков доставки грузов и обеспечения их сохранности [3].

В 2016–2019 гг. на Восточно-Сибирской железной дороге наблюдается рост отцепок вагонов в связи с некачественным ремонтом как подвижного состава, так и рельсового пути. Из этого следует, что большая доля неисправностей приходится на колесные пары и буксовые узлы (рис. 1), так как они являются основными наиболее нагруженными элементами вагонов. Таким образом, возникает потребность в средствах, обеспечивающих контроль их технического состояния в пути следования.

Статистика отказов за 2016–2019 гг. свиде-

тельствует об увеличении количества неисправностей, связанных с дефектами поверхности катания колесных пар. Это связано с повышением объема перевозимых грузов и увеличения скорости движения поездов. В результате повысилась интенсивность эксплуатации подвижного состава, и запустился необратимый процесс повышенного износа деталей и узлов подвижных единиц.

Как известно, колесная пара является основным несущим элементом подвижного состава, она должна безотказно работать под воздействием как вертикальных (радиальных), так и горизонтальных (осевых) нагрузок [4, 5]. Взаимодействие элементов подвижного состава в системе «колесо – рельс» вызывает существенный износ основных компонентов данной системы, но в большей степени износ наблюдается на колесных парах вагонов. В результате процесса эксплуатации у вагонов изменяются геометрические параметры колеса, ухудшаются прочностные характеристики и качество металла на поверхности катания, следовательно, снижается уровень обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте [6].

Вместе с тем статистика отцепок вагонов по неисправностям колесных пар на Восточно-Сибирской железной дороге в 2016–2019 гг. свидетельствует об увеличении количества отказов грузовых вагонов в эксплуатации.

Из диаграммы отцепок вагонов в текущий отцепочный ремонт по неисправностям колесных пар на Восточно-Сибирской железной дороге (рис. 2) можно наблюдать рост количества отцепленных вагонов в 2018 г. на 14,5 % по сравнению с 2017 г.. Вероятно, это связано с несоблюдением

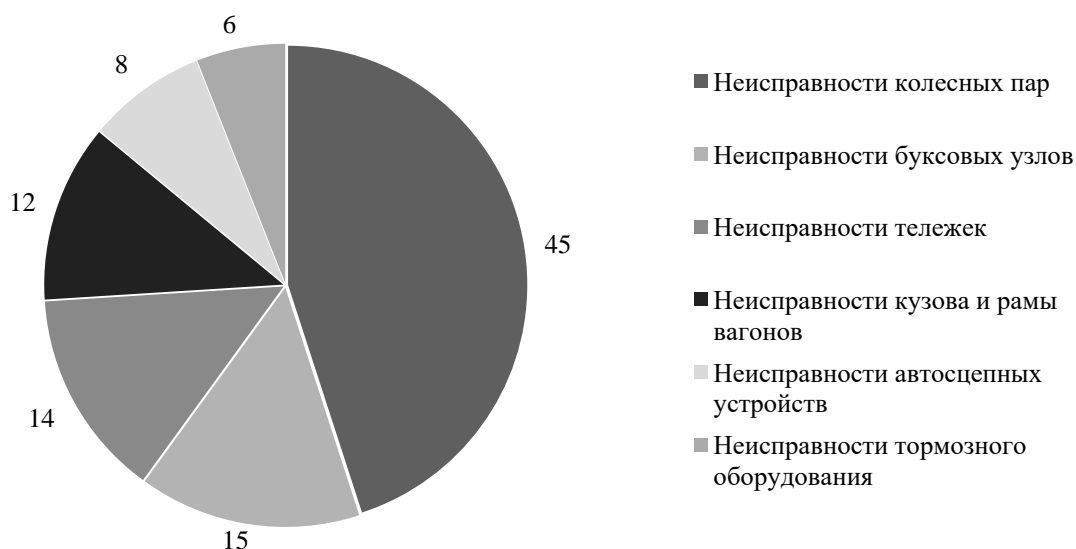


Рис. 1. Диаграмма распределения неисправностей вагонов по основным узлам на Восточно-Сибирской железной дороге в 2016–2019 гг., %



технологии ремонта как подвижного состава, так и рельсового пути, в результате чего на колесных парах появляются дефекты – выщербины, неравномерный прокат, ползуны и др.

Согласно данным, представленным на диаграмме распределения отцепок вагонов по основным неисправностям колесных пар на Восточно-Сибирской железной дороге, основными неисправностями колесных пар являются: тонкий гребень, выщербины и неравномерный прокат по кругу катания на поверхности колеса (рис. 3). Образование тонкого гребня на Восточно-Сибирской железной дороге можно объяснить наличием

большого количества кривых малого радиуса, что приводит к интенсивному износу.

Выщербины и неравномерный прокат по кругу катания возникают при прохождении колесными парами рельсовых стыков, стрелочных переводов и других неисправностей рельсового пути. Для должного обеспечения безотказной работы железнодорожного транспорта и предотвращения крушений подвижных составов необходимо осуществлять контроль технического состояния колесных пар в пути следования.

Автоматические комплексы контроля технических измерений колесных пар в процессе

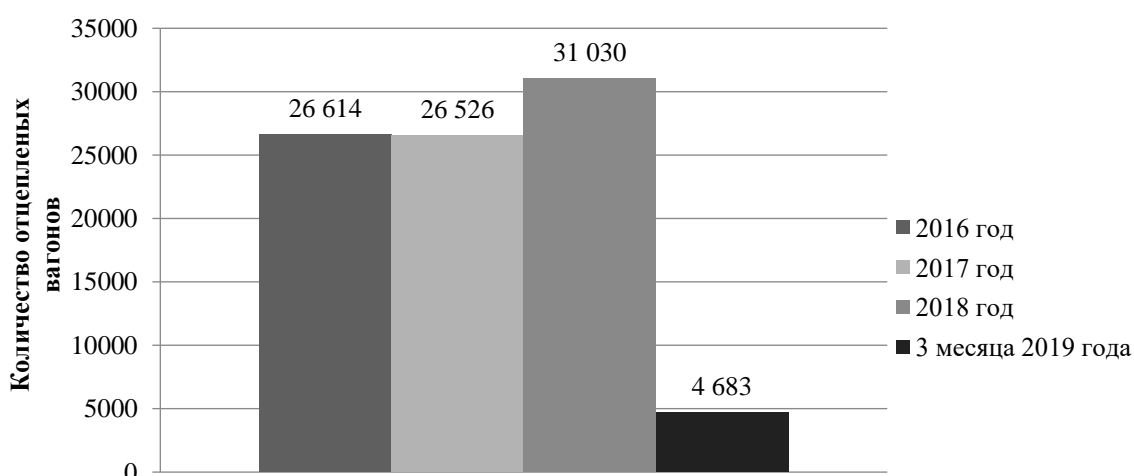


Рис. 2. Диаграмма отцепок вагонов в текущий отцепочный ремонт по неисправностям колесных пар на Восточно-Сибирской железной дороге в 2016–2019 гг.

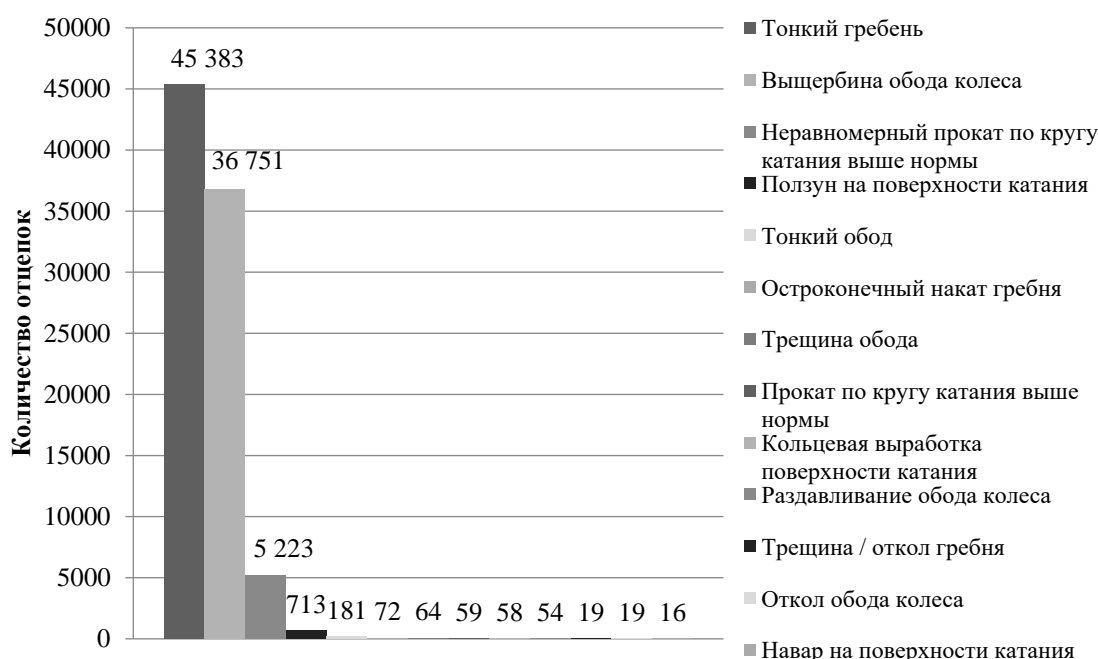


Рис. 3. Диаграмма распределения отцепок вагонов по основным неисправностям колесных пар на Восточно-Сибирской железной дороге в 2016–2019 гг.



движения подвижного состава являются неотъемлемой частью в обеспечении безопасности движения на Восточно-Сибирской железной дороге. Автоматизированный диагностический комплекс технических измерений служит для определения значимых параметров геометрии колесных пар, способствует выявлению дефектов и износа поверхности катания колесных пар в процессе движения и оперативной передачи информации о неисправности на ближайший пункт технического обслуживания вагонов [7]. Система способна бесперебойно работать при температуре от  $-50$  до  $+50$  °С со скоростью движения поездов до 60 км/ч.

Главными контролируруемыми параметрами комплекса технических измерений колесных пар являются толщина гребня, сумма и разница толщин гребней, толщина обода.

Дополнительными параметрами, контролируемым комплексом, являются ширина обода, дефекты на поверхности катания (выщербина, ползун, навар, неравномерный и равномерный прокат, кольцевые выработки, откол обода и др.), диаметр колеса по кругу катания, сдвиг корпуса буксы относительно шейки оси, расстояние между внутренними гранями ободьев колес, угол набегающего колеса в системе «колесо – рельс» [8, 9].

В основе метода технического решения за контролем главных геометрических параметров колесных пар лежит правило автоматического сканирования (рис. 4) с применением комплекта измерительных датчиков триангуляционного типа, при котором каждое колесо, проходя участок, где установлена аппаратура, параллельно и независимо друг от друга сканируется внутренними и внешними измерительными датчиками [10–13].

Из диаграммы работы комплекса технических измерений на Восточно-Сибирской железной дороге (рис. 5) следует, что в 2017 г. системой было проконтролировано 2 951 132 вагонов. Из них 11 952 вагона с тревожными показаниями, в свою очередь, 7 862 случая неисправностей подтвердились, 2 041 вагон был отцеплен в текущий отце-

почный ремонт по тревожным показаниям и 1 437 вагонов так же были отцеплены по предварительным показаниям комплекса. В 2018 г. системой было проконтролировано 3 899 828 вагонов, из них 10 622 вагона с тревожными показаниями, в свою очередь, 5 117 случаев неисправностей подтвердились, 2 909 вагонов было отцеплено в текущий отцепочный ремонт по тревожным показаниям и 1 599 вагонов так же были отцеплены по предварительным показаниям комплекса.

По диаграмме зависимости тревожных показаний и отцепок вагонов в текущий отцепочный ремонт в 2017–2018 гг. (рис. 6) можно заметить, что количество отцепок вагонов значительно меньше (в 4–6 раз), чем тревожных показаний комплекса технических измерений, это обусловлено его некорректной работой и частыми сбоями в оборудовании.

В связи со сбоями в работе комплекса технических измерений пропускная способность железной дороги уменьшается из-за постановки поезда на ближайший пункт технического обслуживания вагонов под обработку и для проведения контрольных замеров дефектов поверхности катания колесных пар. Контрольные замеры основных параметров колесных пар и дефектов, возникающих в процессе эксплуатации подвижного состава, производят примитивными средствами измерения (линейка, абсолютный шаблон, толщиномер и др.) [14]. В свою очередь, они не могут гарантировать достоверность показаний в связи с некоторыми особенностями эксплуатации, таких как наплыв металла на вершину гребня (острый гребень), разница толщин гребня по всему кругу колеса. Проведение таких замеров требует дополнительных затрат времени.

В связи с необходимостью уменьшения времени обработки подвижного состава и простоя поездов на станциях формирования возникает потребность внедрения универсального прибора для контроля всех параметров колесных пар подвижных единиц, который заменит существующие



Рис. 4. Принцип автоматического сканирования колесных пар комплексом технических измерений

шаблонные методы.

Для лазерного сканирования и анализа профиля колеса посредством бесконтактного измерения геометрических параметров поверхности катания колесных пар (рис. 7) в ООО «РИФТЕК», г. Минск изготовлен специальный прибор [15].

Показан эталонный профиль поверхности катания колеса грузового вагона, который заложен в программу прибора (рис. 7, а), приведена дефектная ведомость по выполненным измерениям дефектной колесной пары (рис. 7, б). Прибор содержит программный комплекс и базу данных для сбора и обработки проведенных измерений.

Представленный лазерный профилометр предназначен для измерения основных параметров колесной пары – высота гребня, толщина гребня, крутизна гребня, прокат на поверхности катания колеса. Прибор снимает и анализирует профиль поверхности катания колеса, сравнивая его с эта-

лонным, и заносит информацию об измерении во встроенную электронную базу данных по износу колесных пар. В ходе испытаний прибора на Восточно-Сибирской железной дороге были проведены замеры основных параметров колесных пар. Представлен пример измерения поверхности катания правого и левого колес вагона и сравнение ее со стандартным (эталонным) профилем нового колеса (рис. 8), измерение толщины гребня колеса производились на расстоянии 13 мм от поверхности катания колеса (рис. 9). Можно заметить существенное отклонение параметров гребня колесной пары от стандартных значений. Данные измерения позволяют сделать вывод о том, что условия эксплуатации вагонов на Восточно-Сибирском полигоне довольно сложные, в связи с большим количеством горно-перевальных участков и кривых малого радиуса, значительно повышается износ и выход из строя элементов системы «колесо – рельс».

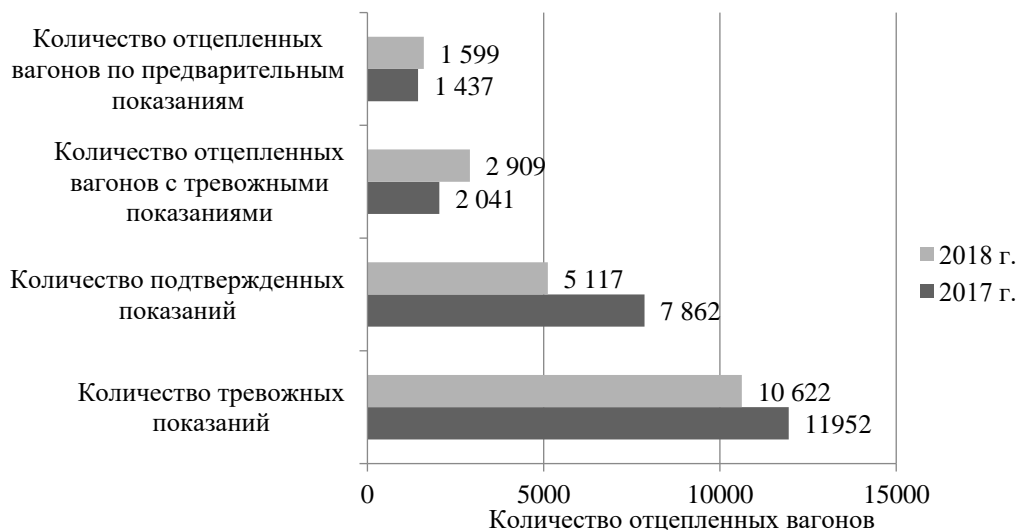


Рис. 5. Диаграмма работы комплекса технических измерений на Восточно-Сибирской железной дороге в 2017–2018 гг.

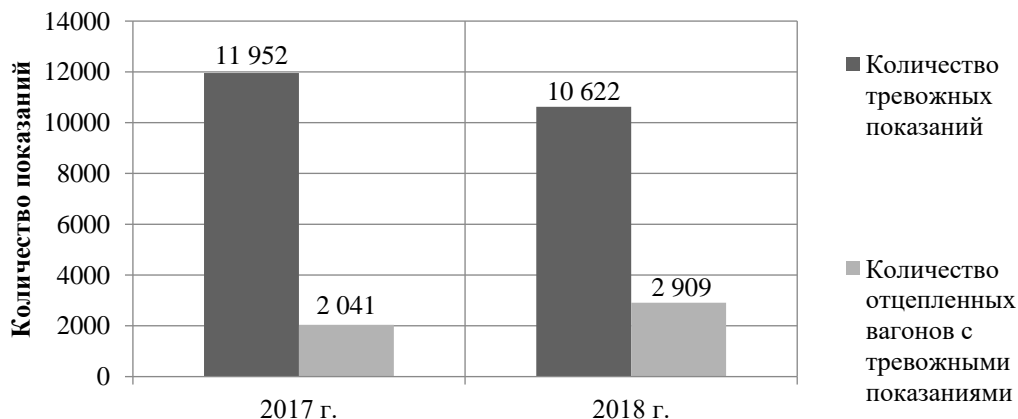


Рис. 6. Диаграмма зависимости тревожных показаний и отцепки вагонов в текущий отцепочный ремонт в 2017–2018 гг.



При сравнении двух профилей можно заметить существенное отклонение всех показателей параметров поверхности катания колесной пары, это связано с отступлением от установленных параметров вершины гребня, т. е. образованием выступа по круговому периметру, возникающем в процессе пластической деформации верхних слоев металла гребня в сторону его вершины. Данное явление вызвано высоким контактным давлением и интенсивным трением в месте соприкосновения с головкой рельса, в результате чего на гребне появляется остrokонечный накат. Представленное

явление вызвано ненормальной работой колесной пары, неправильной установкой ее в тележке с несоблюдением допускаемых размеров по разнице диаметров колес на одной оси и длительной работой на путях с кривыми малого радиуса. Также на появление остrokонечного наката существенным образом влияет изгиб оси колесной пары, перекося боковой рамы тележки и неправильная посадка колеса на ось. Данные неисправности могут повлиять на работу подвижного состава, стать причиной его схода или крушения, поэтому необходимо осуществлять должный контроль всех пара-

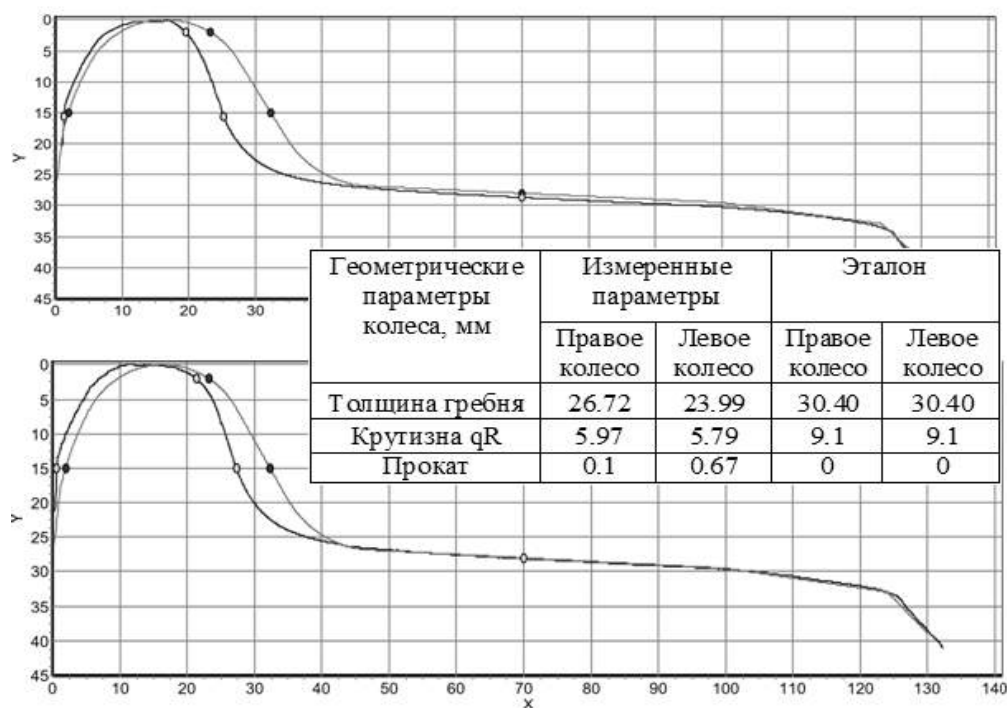


Рис. 8. Вид реальных профилей двух колес одной колесной пары, толщина гребня на расстоянии 13 мм от поверхности катания

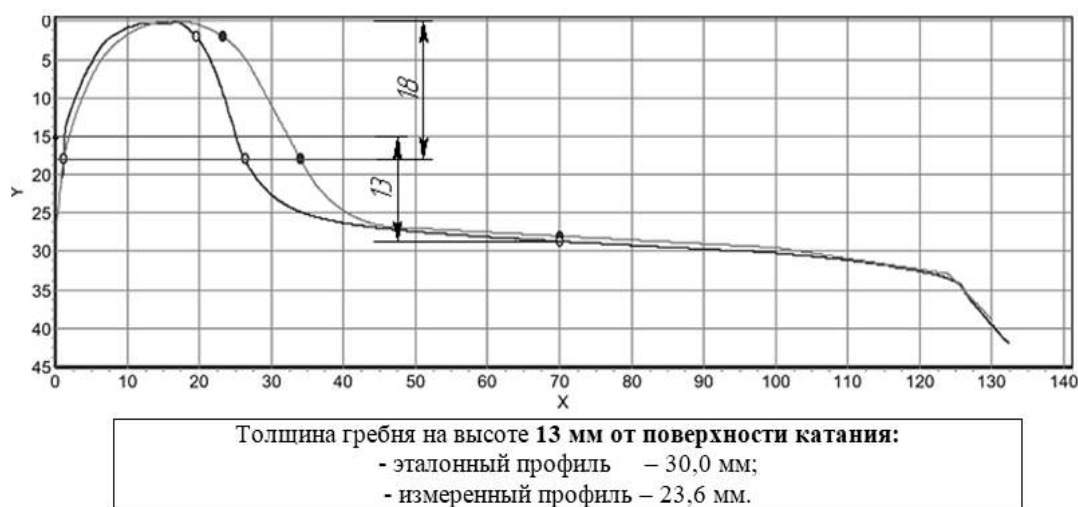


Рис. 9. Различие между значениями толщины гребней в зависимости от требований к измерению



метров колесных пар.

Представленный профилометр можно использовать для проведения входного или допускающего контроля и разбраковки при техническом осмотре, освидетельствовании, ремонте и формировании железнодорожных колесных пар локомотивов и моторвагонных подвижных составов. Профилометр зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений РФ под № 35128-07 [16] и в Реестре средств измерений, допущенных к применению в ОАО «Российские железные дороги», под № МТ 052.2012 [17].

#### Принцип работы прибора

Осмотрщик-ремонтник вагонов устанавливает прибор на измеряемое колесо. По команде с карманного персонального компьютера бесконтактно выполняется сканирование поверхности катания одного из колес колесной пары [18]. Результаты проведенных измерений (геометрические параметры и профиль поверхности) отображаются на дисплее карманного персонального компьютера, могут быть сохранены в его памяти и переданы в базу данных персонального компьютера для хранения и обработки. Одновременно такие дополнительные параметры, как идентификатор стороны колесной пары (левое или правое колесо), номер оси колесной пары и диска колеса, номер вагона или локомотива.

#### Заключение

Устройство индикации (карманный персональный компьютер профилометра) является основным элементом для управления лазерным модулем, он принимает данные со сканирующего модуля, показывает их и сохраняет в базе данных

обработанные результаты измерений. В представленном профилометре задействован полупроводниковый лазер с непрерывным излучением и длиной волны 660 нм или 405 нм, что позволяет сканировать с высокой точностью замеры в нескольких точках одновременно. Этот прибор не только производит замеры, а также с помощью снятых параметров по точкам может спроектировать дефектную диаграмму. Диаграмма выводится автоматически и показывает дефекты на поверхности катания колеса. По данным, полученным с помощью автоматизированной системы, анализируются неисправности и отцепки вагонов, строятся соответствующие диаграммы. В программу профилометра встроены различные профили катания колесных пар. В процессе измерения рядом с эталонным строится второй профиль по проведенным измерениям, отклонениям и дефектам, возникшим в процессе эксплуатации, что позволяет сделать вывод об имеющихся неисправностях на поверхности катания колеса и отклонениях от нормы. Проведенный анализ показывает, что при использовании профилометра время на измерение значительно снижается по сравнению со стандартными шаблонными методами измерения. Замеры производятся без выкатки колесных пар, непосредственно на подвижном составе, что является одним из основных преимуществ прибора. Экономия времени и сокращение количества технологических операций позволяют увеличить число проверенных колесных пар и уменьшить время простоя транзитных поездов на станциях обработки и формирования.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инновационные вагоны и проблемы их взаимодействия с элементами инфраструктуры. / В. Н. Филлипов и др. // Безопасность движения поездов : тр. семнадцатой науч.-практ. конф. М., 2016. С. 68–73.
2. Маджидов Ф.А. Оценка параметра безопасности грузового вагона и управление эффективностью его использования с учетом изменения параметров эксплуатационной среды // Безопасность движения поездов тр. семнадцатой науч.-практ. конф. М., 2016. С. 96–98.
3. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года : распоряжение Правительства РФ от 17 июня 2008 г. No.877-р.
4. Технология производства и ремонта вагонов / К.В. Мотовилов и др. М. : Маршрут, 2013.
5. Скалов А.Д., Коваль В.А. Методика исследования вертикальных и боковых сил при износных испытаниях рельсов // Вестн. ВНИИЖТ. 1980. No. 6. 216 с.
6. Романова О.В., Боботкова В.Н. Взаимодействие пути и подвижного состава // Студенческий научный форум : материалы X Междунар. студент. науч. конф. URL: <https://scienceforum.ru/2018/article/2018005669> (Дата обращения: 06.05.2019).
7. Миколайчук Т. А. Эффективность использования современных средств диагностики подвижного состава // Научное сообщество студентов: междисциплинарные исследования : сб. ст. XXIII междунар. студенческая науч.-практ. конф. No. 12(23). URL: [https://sibac.info/archive/meghdis/12\(23\).pdf](https://sibac.info/archive/meghdis/12(23).pdf) (Дата обращения: 07.05.2019).
8. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М. : Транспорт, 1986. 560 с.
9. Грачева Л.О., Певзнер В.О., Анисимов П.С. Показатели динамики и воздействия на путь грузовых четырехосных вагонов при различных износах тележек и отступлениях от норм содержания в прямых участках пути // Сб. науч. тр. ВНИИЖТ. Вып. 549. М. : Транспорт, 1976. С. 4–25.
10. Автоматический контроль геометрических параметров колесных пар во время движения поезда / А.Н. Байбаков и др. // КиберЛенинка : сайт. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lazernyy-diagnosticheskiy-kompleks-dlya-kontrolya-kolesnyh-par-vagonov-na-hodu-poezda> (Дата обращения: 06.05.2019).
11. Hauschild G. Автоматическая диагностика колесных пар с помощью системы ARGUSÄ // Glasers Annalen. 2001. No. 12. P. 615–625.



12. Morgan R. Оценка систем измерения колес // *Railway Track & Structures*. 2002. No. 7. P. 13–15.
13. Венедиктов А.З., Демкин В.Н., Доков Д.С. Измерение параметров колесных пар подвижного состава в движении // *Железные дороги мира*. 2003. No. 9.
14. Инструменты и принадлежности осмотровика-ремонтника вагонов // *Вагонник* : сайт. URL: [http://www.xn--80adeukqag.xn--p1ai/2016/01/blog-post\\_42.html](http://www.xn--80adeukqag.xn--p1ai/2016/01/blog-post_42.html) (Дата обращения: 06.05.2019).
15. Лазерный профилометр поверхности катания колесных пар // РИФТЭК : сайт. // URL: <https://riftek.com/ru/products/~show/equipment/railway-devices/railway-wheel-profile-gauge-ikp> (Дата обращения: 06.05.2019).
16. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений // URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/344158> (Дата обращения: 06.05.2019).
17. Реестр средств измерений, допущенных к применению в ОАО "РЖД" // URL: [http://www.rzd-expo.ru/innovation/the\\_system\\_of\\_technical\\_regulation/metrology/reestr\\_2019.pdf](http://www.rzd-expo.ru/innovation/the_system_of_technical_regulation/metrology/reestr_2019.pdf) (Дата обращения: 06.05.2019).
18. Лазерный профилометр поверхности катания колесных пар. Принцип работы. // URL: <https://riftek.com/ru/products/~show/equipment/railway-devices/railway-wheel-profile-gauge-ikp> (Дата обращения: 06.05.2019).

## REFERENCES

1. Fillipov V. N. et al. Innovatsionnye vagoni i problemy ikh vzaimodeistviya s elementami infrastruktury [Innovative cars and problems of their interaction with infrastructure elements]. *Bezopasnost' dvizheniya poezdov : tr. semnadsatoi nauch.-prakt. konf. [Train Traffic Safety: Proc. of the seventeenth scientific and practical. conf.]*, Moscow, 2016. Pp. 68–73.
2. Madzhidov F.A. Otsenka parametra bezopasnosti gruzovogo vagona i upravlenie effektivnost'yu ego ispol'zovaniya s uchetom izmeneniya parametrov ekspluatatsionnoi sredy [Assessment of the safety parameter of a freight car and management of the efficiency of its use, taking into account changes in the parameters of the operational environment]. *Bezopasnost' dvizheniya poezdov tr. semnadsatoi nauch.-prakt. konf. [Train Traffic Safety: Proc. of the seventeenth scientific and practical. conf.]*, Moscow, 2016. Pp. 96–98.
3. Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v RF do 2030 goda : rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 17 iyun. 2008 g [Strategy of development of railway transport in the Russian Federation until 2030: the order of the Government of the Russian Federation from 17 June. 2008 No.877-p.]. No.877-r.
4. Motovilov K.V. et al. Tekhnologiya proizvodstva i remonta vagonov [Technology of production and repair of cars]. Moscow: Marshrut Publ., 2013.
5. Skalov A.D., Koval' V.A. Metodika issledovaniya vertikal'nykh i bokovykh sil pri iznosnykh ispytaniyakh rel'sov [Methods of studying vertical and lateral forces during wear tests of rails]. *Vestn. VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute]*, 1980. No. 6. 216 p.
6. Romanova O.V., Bobotkova V.N. Vzaimodeistvie puti i podvizhnogo sostava [The interaction of the track and rolling stock]. *Studencheskii nauchnyi forum : materialy X Mezhdunar. studench. nauch. konf. [Student scientific forum: materials of X International student scientific conf.]*, URL: <https://scienceforum.ru/2018/article/2018005669> (Access date: 06.05.2019).
7. Mikolaichuk T. A. Effektivnost' ispol'zovaniya sovremennykh sredstv diagnostiki podvizhnogo sostava [Efficiency of using modern means of diagnostics of rolling stock]. *Nauchnoe soobshchestvo studentov: mezhdistsiplinarnye issledovaniya : sb. st. XXIII mezhdunar. studencheskaya nauch.-prakt. konf. [Scientific community of students: interdisciplinary research: Coll. of art. of XXIII Intern. student scientific and practical. conf.]*. No. 12(23). URL: [https://sibac.info/archive/meghdis/12\(23\).pdf](https://sibac.info/archive/meghdis/12(23).pdf) (Access date: 07.05.2019).
8. Verigo M.F., Kogan A.Ya. Vzaimodeistvie puti i podvizhnogo sostava [The interaction of the track and rolling stock]. Moscow: Transport Publ., 1986. 560 p.
9. Gracheva L.O., Pevzner V.O., Anisimov P.S. Pokazateli dinamiki i vozdeistviya na put' gruzovykh chetyrekhosnykh vagonov pri razlichnykh iznosakh telezhek i ostupleniyakh ot norm soderzhaniya v pryamykh uchastkakh puti [Indicators of the dynamics and impact on the path of four-axle freight cars with different wear of trucks and deviations from the standards of content in straight sections of the track]. *Sb. nauch. tr. VNIIZhT [Proc. of Railway Research Institute]*, Issue 549. Moscow: Transport Publ., 1976. Pp. 4–25.
10. Baibakov A.N. et al. Avtomaticheskii kontrol' geometricheskikh parametrov kolesnykh par vo vremya dvizheniya poezda [Automatic control of the geometric parameters of wheel pairs during train movement]. KiberLeninka: a web site. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lazernyy-diagnosticheskiy-kompleks-dlya-kontrolya-kolesnykh-par-vagonov-na-hodu-poezda> (Access date: 06.05.2019).
11. Hauschild G. Avtomaticheskaya diagnostika kolesnykh par s pomoshch'yu sistemy ARGUSÄ [Automatic diagnosis of wheelsets using the ARGUSÄ system]. *Glaser's Annalen*, 2001. No. 12. Pp. 615–625.
12. Morgan R. Otsenka sistem izmereniya koles [Morgan R. Evaluation of wheel measurement systems]. *Railway Track & Structures*, 2002. No. 7. Pp. 13–15.
13. Venediktov A.Z., Demkin V.N., Dokov D.S. Izmerenie parametrov kolesnykh par podvizhnogo sostava v dvizhenii [Measurement of parameters of wheelsets of rolling stock in motion]. *Zheleznnye dorogi mira [Railways of the World]*, 2003. No. 9.
14. Instrumenty i prinadlezhnosti osmotrshchika-remontnika vagonov [Tools and accessories of the inspector-repairman of cars]. *Vagonnik [A car-building worker]* : a web site. URL: [http://www.xn--80adeukqag.xn--p1ai/2016/01/blog-post\\_42.html](http://www.xn--80adeukqag.xn--p1ai/2016/01/blog-post_42.html) (Access date: 06.05.2019).
15. Lazernyi profilometr poverkhnosti kataniya kolesnykh par [Laser profilometer of the tread of wheel pairs]. RIFTEK : a web site. URL: <https://riftek.com/ru/products/~show/equipment/railway-devices/railway-wheel-profile-gauge-ikp> (Access date: 06.05.2019).
16. Federal'nyi informatsionnyi fond po obespecheniyu edinstva izmerenii [Federal information fund for ensuring the uniformity of measurements]. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/344158> (Access date: 06.05.2019).
17. Reestr sredstv izmerenii, dopushchennykh k primeneniyu v ОАО "RZhd" [Register of measuring instruments approved for use by ОАО RZD]. URL: [http://www.rzd-expo.ru/innovation/the\\_system\\_of\\_technical\\_regulation/metrology/reestr\\_2019.pdf](http://www.rzd-expo.ru/innovation/the_system_of_technical_regulation/metrology/reestr_2019.pdf) (Access date: 06.05.2019).
18. Lazernyi profilometr poverkhnosti kataniya kolesnykh par. Printsip raboty [Laser profilometer rolling surface wheelsets. Principles of work performance]. URL: <https://riftek.com/ru/products/~show/equipment/railway-devices/railway-wheel-profile-gauge-ikp> (Access date: 06.05.2019).



**Информация об авторах**

*Горякина Ольга Валентиновна* – заведующий лабораторией смазочных материалов, Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, г. Москва.

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

*Тимакова Елена Андреевна* – заведующий лабораторией колесных пар и буксового узла, Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, г. Москва, e-mail: Timakova.elena@vniizht.ru

*Фофонова Анна Ивановна* – старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, г. Москва.

*Шахова Надежда Ивановна* – научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, г. Москва.

**Authors**

*Ol'ga Valentinovna Goryakina* – Head of the Laboratory of Lubrication Materials, All-Russian Research Institute of Railway Transport, Moscow.

*Lyubov' Viktorovna Martynenko* – Senior lecturer at the Subdepartment of Rail Cars and Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: liuba.martinenko@yandex.ru

*Elena Andreevna Timakova* – Head of the Laboratory of Wheel Pairs and Axle Box, All-Russian Research Institute of Railway Transport, Moscow, e-mail: Timakova.elena@vniizht.ru

*Anna Ivanovna Fofonova* – Senior researcher, All-Russian Research Institute of Railway Transport, Moscow.

*Nadezhda Ivanovna Shakhova* – Researcher, All-Russian Research Institute of Railway Transport, Moscow.

**Для цитирования**

Горякина О. В. Оценка работы комплекса технических измерений и применение инновационных технологий на Восточно-Сибирской железной дороге / О. В. Горякина, Л. В. Мартыненко, Е. А. Тимакова, А. И. Фофонова, Н. И. Шахова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 62, № 2. – С. 119–127. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).119–127

**For citation**

Goryakina O. V., Martynenko L. V., Timakova E. A., Fofonova A. I., Shakhova N. I. Otsenka raboty kompleksa tekhnicheskikh izmerenii i primeneniye innovatsionnykh tekhnologii na Vostochno-Sibirskoi zheleznoi doroge [Estimating the work of the technical measurements complex and using innovative technologies on the East-Siberian railway]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 62, No. 2. Pp. 119–127. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).119–127

УДК 629.7.02

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).127–133

**Р. А. Туранов<sup>1</sup>, А. А. Пыхалов<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация<sup>2</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 14 марта 2019 г.

**АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ СХОДИМОСТИ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ ТВЕРДОГО ДЕФОРМИРУЕМОГО ТЕЛА НА ПРИМЕРЕ СОЕДИНЕНИЯ КРЫЛА САМОЛЕТА С ФЮЗЕЛЯЖЕМ**

**Аннотация.** В статье представлен анализ напряженно-деформированного состояния узлов соединения крыла и фюзеляжа самолета, как наиболее ответственной части с точки зрения прочности и надежности работы конструкции планера самолета. Он проводился на примере конструкции соединения типа «уха – вилка», часто применяемого в авиастроении. Исследование выполнено на основе метода конечных элементов с анализом точности и сходимости его численного решения. Особенностью работы является использование в решении метода конечных элементов контактной задачи теории упругости. Представленный подход позволяет при оценке высоконагруженных сборных конструкций идентифицировать необходимый уровень дискретизации в конечно-элементной модели при наличии в ней областей с концентрацией напряжений. Исследование проводилось в сравнении с использованием известных результатов экспериментально-теоретического подхода, представленного А. Войтом, и традиционно применяемого при проектировании и определении напряженного состояния соединения типа «уха – вилка». Спецификой традиционного подхода является осреднение напряжений деформируемых деталей «Уха» и «Вилки» в областях с максимальным градиентом напряжений. В этом случае анализ точности и сходимости метода конечных элементов с решением контактной задачи позволяет с высоким уровнем достоверности определить и оценить полную картину распределения напряжений в рассматриваемом соединении. Результаты анализа направлены на повышение надежности и долговечности работы узлов типа «уха – вилка», а также снижение прямых материальных и временных затрат при их проектировании.

**Ключевые слова:** самолет, соединение «уха – вилка», конечные элементы, точность, сходимость, напряженно-деформированное состояние, авиастроение, метод конечных элементов.