

# Транспортное и энергетическое машиностроение

УДК 629.4.054.2



**БУЙНОСОВ**  
Александр Петрович  
(Уральский государственный  
университет путей  
сообщения)

**BUYNOSOV**  
Aleksandr Petrovich  
(Ekaterinburg, Russian  
Federation, Urals State  
University of Railway Transport)



**КИСЛИЦЫН**  
Александр Михайлович  
(Уральский государственный  
университет путей  
сообщения)

**KISLITSYN**  
Aleksandr Mikhaylovich  
(Ekaterinburg, Russian  
Federation, Urals State  
University of Railway Transport)

## Измерительная система для контроля параметров колесных пар локомотивов

**А.П. Буйносов, А.М. Кислицын**

*В настоящее время в ремонтных локомотивных депо Дирекции по ремонту тягового подвижного состава – структурного подразделения ОАО «РЖД» контроль за состоянием колесных пар выполняют техники по замерам путем ручного измерения параметров механическими шаблонами УТ-1, ДО-1 и другими с точностью  $\pm 1$  мм. Полученные при этом значения контролируемых параметров колесных пар отличаются от основной совокупности данных, что объясняется низкой точностью применяемого измерительного инструмента. Поэтому актуальна разработка комплексной измерительной системы, позволяющей на высоком уровне проводить мониторинг состояния колесных пар локомотивов. Рассмотрены принципы функционирования разработанной авторским коллективом комплексной измерительной системы для контроля параметров колесных пар при движении локомотива (автоматические системы обмера параметров АСОК-Л и обнаружения трещин и дефектов колесных пар АСОД-Л), ручного измерения контролируемых параметров колесных пар локомотивов (электронные переносные малогабаритные измерители КИП и ИД), программный комплекс контроля нормативных параметров колесных пар и ведения электронных паспортов. Данная разработка – часть системы контроля колесных пар, созданной в рамках отраслевой комплексной автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом, отличающейся от зарубежных аналогов количеством и точностью измеряемых параметров. В статье приведено структурное описание разработки и элементов, интегрируемых в ее состав. Измерительная система может быть использована в ремонтных локомотивных депо Российских железных дорог и обеспечивать контроль параметров колесных пар тягового подвижного состава.*

**Ключевые слова:** локомотив, колесная пара, измерительная система, параметры, контроль, программный комплекс.

## A measuring system for monitoring the parameters of locomotive wheelsets

**A.P. Buynosov, A.M. Kislytsyn**

*Wheelsets in repair locomotive depot of OJSC Russian Railways are currently monitored manually by technicians using mechanical templates (UT-1, TO-1, and others) accurate to  $\pm 1$  mm. The obtained values of monitored parameters of the wheelsets differ from the main data set due to the low accuracy of*

*the measuring instrument. Therefore, the development of a comprehensive measurement system that will enable high level monitoring of locomotive wheelsets is topical. The principles of operation of a complex measurement system are considered. The system was developed by composite authors and is intended for monitoring wheelset parameters during locomotive motion (automatic systems for measuring parameters ASOC-L and detecting cracks and defects of wheelsets ASOD-L) and manual measurements of monitored parameters of locomotive wheelsets (small portable electronic instrumentation gauges KIP and ID). The system includes software for monitoring standard parameters of wheelsets and provides electronic passport maintenance. This development is part of the wheelset control system created within the framework of the Industrial railway complex automated control system, which differs from foreign analogues in accuracy and number of measured parameters. This paper contains a description of the development and its structural elements. The measurement system can be used in repair locomotive depot of Russian Railways to control locomotive wheelset parameters.*

**Keywords:** locomotive, wheelset, measurement system, parameters, monitoring, software.

Статистический анализ причин изнашивания бандажей электровозов 2ЭС6 и 2ЭС10 в ремонтном депо «Свердловск» показывает, что причинами проведения технического обслуживания ТО-4 (обточка колесных пар без выкатки из-под локомотива) являются: износ гребня по толщине, разница диаметров, ползуны (выбоины), ослабление посадки, вертикальный подрез гребня и др. [1].

Как видно на рис. 1 причиной постановки электровоза на обточку бандажей колесных пар без выкатки их из-под локомотива является не предельный прокат бандажа (7 мм), как это было в 1970-е годы, а предельный износ гребня (44 %). Как следствие этого — снижение срока

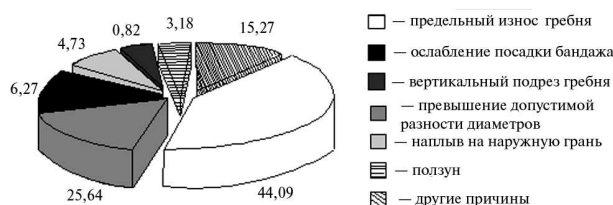


Рис. 1. Распределение обточек бандажей в 2012 г. в ремонтном локомотивном депо «Свердловск», %

службы бандажа, ввиду повышенного технологического износа, что влечет за собой повышенные затраты на ремонт. Усугубляет положение и то, что не каждое ремонтное локомотивное депо имеет в своем распоряжении колесный цех для проведения работ по смене бандажей колесных пар [2].

Износ колесных пар и рельсов — сложный процесс, определяемый многими факторами. В количественном отношении между ними существует взаимосвязь, которую можно установить на основе имеющихся наблюдений за износом в процессе эксплуатации. Только постоянное, систематическое наблюдение за состоянием колесных пар и рельсов поможет выявить основные причины и уменьшить влияние на их износ [3].

В задаче оперативного контроля элементов колесных пар локомотивов можно выделить четыре основных направления, отличающихся методами решения:

1) методы определения нормальных износов колесных пар. Характерной особенностью этих дефектов является то, что они проявляются по всему кругу катания и поэтому могут быть определены в любом, произвольном сечении колеса. Возможная неравномерность износа по кругу катания оценивается путем измерения параметров в нескольких сечениях [4];

2) методы определения дефектов по кругу катания. Размеры дефектов, подлежащих определению, составляют порядка 10 мм в плоскости и 1...2 мм по глубине. Дефекты могут располагаться в произвольном сечении круга катания. Для обнаружения точечных дефектов необходимо контролировать всю поверхность катания или использовать косвенные методы обнаружения дефектов без оценки их размеров;

3) методы обнаружения трещин и изломов на поверхности катания. Дефекты на поверхности катания не вызывают изменение геометрических характеристик этой поверхности. Следовательно, их нельзя определить методами дистанционного бесконтактного измерения и контроля геометрических параметров поверхности катания. Их обнаруживают с помощью контактных систем ультразвуковой дефектоскопии [5];

4) методы обнаружения отклонений геометрических размеров колесных пар. Для реализации метода требуется пространственно-временная привязка измерений каждого колеса и колесных пар в тележке. Такое решение позволяет оценивать разность диаметров колесных пар в тележке подвижного состава, а также непараллельность их осей.

Измерительная система оперативного контроля элементов профиля колесных пар должна обеспечивать: дистанционное измерение геометрических параметров характерных точек профиля бандажа колеса; пространственно-временную привязку результатов измерений в пределах колесных пар одной тележки; обнаружение (не измерение параметров) точечных дефектов на любом участке поверхности по всему кругу катания; точность измерения параметров в пределах 0,20...0,33 мм.

В рамках комплексной автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом в Уральском государственном университете путей сообщения (УрГУПС) на кафедре «Электрическая тяга» разработана комплексная измерительная система для контроля параметров

колесных пар локомотивов, иерархическая структура которой состоит из трех уровней (рис. 2).

Первый уровень структуры включает подсистему контроля параметров колесных пар, выполняющую непрерывное автоматическое измерение параметров при движении локомотива [6] и ручное измерение параметров колесных пар [7, 8] при техническом обслуживании (ТО) и ремонте. Контроль параметров колесных пар выполняется с помощью двух автоматических систем — обмера колесных пар (АСОК-Л) и обнаружения трещин и дефектов на поверхности катания колесных пар (АСОД-Л). Ручное измерение контролируемых параметров колесных пар проводится с помощью комплексного электронного переносного измерителя параметров колесных пар (КИП) [9], электронного переносного измерителя диаметров (ИД) колесных пар [10], шаблонов и дефектоскопов. Системы автоматического и ручного измерения параметров колесных пар имеют метрологическое обеспечение. Выходная информация поступает на программный комплекс контроля нормативных параметров колесных пар и ведения электронных паспортов [11]. Информация результатов ручного измерения вводится в программный комплекс через устройства автоматического и ручного ввода данных. В программный комплекс заранее закладываются нормативные показатели [12].

Программный комплекс обрабатывает информацию, поступающую от систем измерения параметров колесных пар, формирует электронные паспорта на каждую колесную пару соответствующего локомотива, сравнивает результаты измерений с нормативными показателями, систематизирует информационный поток и организует базу данных для передачи на следующий уровень комплексной измерительной системы.

Второй уровень структуры содержит автоматизированное рабочее место с программным комплексом для анализа состояния колесного парка локомотивов ремонтного депо [13], в котором вводятся нормативные технические параметры элементов колесных пар. Программный комплекс также формирует базу данных [14] для передачи на следующий уровень структуры комплексной системы, выдает информацию для со-

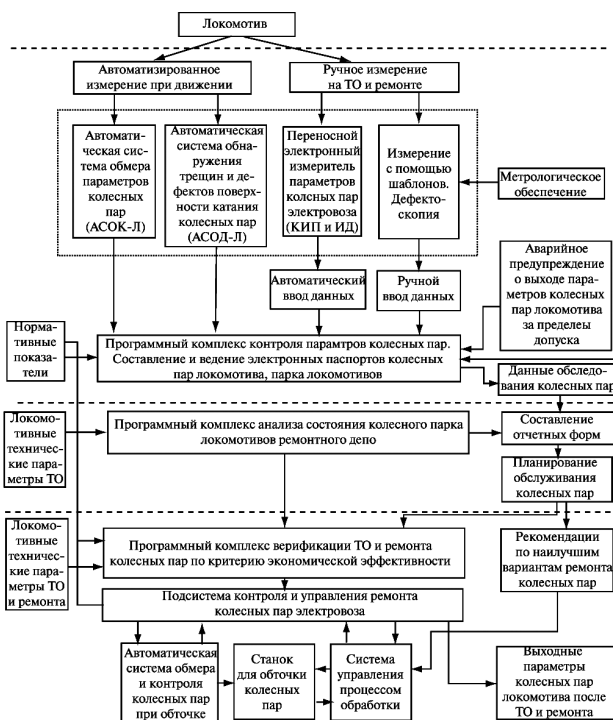


Рис. 2. Структура комплексной измерительной системы для контроля параметров колесных пар локомотивов



ставления отчетных форм и через подсистему планирования ТО и ремонта колесных пар составляет соответствующие данные [15].

Автоматизированное рабочее место удовлетворяет общим требованиям по выполнению следующих функций [12]: анализ информации, используемой для выполнения технико-экономических расчетов; оценка качества проведения измерений, включая границы поля допуска для контролируемых параметров; протоколирование результатов обмера с выработкой рекомендаций по срокам и объемам ТО и ремонта каждого локомотива [16].

Третий уровень структуры — технологический комплекс наилучшего варианта обточки колесных пар [6] — состоит из следующих подсистем: программного комплекса для оптимизации ТО и технологии ремонта колесных пар по критерию экономической эффективности; автоматической системы измерения и контроля колесных пар при обточке [17]; станка для обточки колесных пар; системы управления процессом обработки колесной пары [18].

Автоматическая система обмера колесных пар локомотивов (АСОК-Л) — многоканальная ультразвуковая локационная система с неконтактными датчиками [19]. Работа всех измерительных каналов синхронизирована во времени. Движущаяся колесная пара облучается ультразвуковыми импульсами одновременно в нескольких направлениях. Отраженные от бандажа сигналы принимаются, подвергаются оцифровке и вводятся в ПЭВМ.

Каждый датчик выполнен в отдельном металлическом корпусе. В состав датчика включены входные и выходные усилители со схемой согласования, а также электроакустические преобразователи. Датчики усиливают сигналы передатчиков измерительного блока, преобразуют их в акустические импульсы и излучают в направлении колесной пары. Принятые отраженные сигналы перед поступлением через соединительные сигнальные кабели на входы приемников измерительного блока также предварительно усиливаются для повышения помехозащищенности измерительных каналов.

При расчете диаметра бандажа и других параметров колесной пары используются методы геометрической акустики. Геометрическая аку-

стика является предельным случаем волновой акустики, она описывает особенности распространения звука в пространстве на основе представления о звуковых лучах как линиях, вдоль которых перемещается звуковая энергия. Законы геометрической акустики позволяют создать упрощенную, но в большинстве случаев достаточно точную методику измерения параметров колесных пар. В системе АСОК-Л эти законы используются для установления взаимосвязи между запаздыванием ультразвуковых сигналов измерительных каналов и параметрами обследуемого объекта — движущейся колесной пары локомотива [20].

Понятие «луч» можно использовать только в том случае, когда можно пренебречь дифракцией звука на акустических неоднородностях, что допустимо только когда длина звуковой волны много меньше размера неоднородностей. Для одних ультразвуковых локационных каналов это условие выполняется, для других — нет. Поэтому толщина гребня рассчитывается в основном методами волновой теории. Однако и в этом случае методы геометрической акустики необходимы при решении промежуточной задачи нахождения координат точек регистрации волнового поля [21].

При определении взаимосвязи между запаздыванием ультразвуковых сигналов и геометрическими параметрами колеса в системе АСОК-Л приняты следующие допущения:

- воздух является однородной неподвижной средой, в которой звуковые лучи представляют собой прямые линии;
- поверхность бандажа по отношению к звуковому лучу является идеальным отражающим экраном;
- колесная пара обладает идеальной осевой симметрией, т. е. все сечения колесной пары плоскостями, проходящими через ее центральную осевую линию, одинаковы;
- электромеханические преобразователи рассматриваются как точечные всенаправленные источники и приемники ультразвуковых лучей;
- запаздывание акустического сигнала пропорционально расстоянию  $L$ , которое звук проходит в воздухе от датчиков до поверхности бандажа и обратно ( $\tau = L / v$ , где  $v$  — скорость звука в воздухе).

Исходя из особенностей трехмерных геометрических построений, текущие дальности в измерительных каналах выражаются через геометрические параметры, а не наоборот [11]:

$$L_n = P(\eta, \mu, \xi, X_n),$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, (n_{\max} - 1), \quad (1)$$

где  $L_n$  — набор отсчетов дальности в измерительных каналах, соответствующий  $n$ -му измерению;  $P$  — нелинейный оператор, определяющий взаимосвязь геометрических параметров и текущих дальностей;  $\eta$  — набор геометрических параметров колесной пары;  $\mu$  — набор геометрических параметров системы датчиков;  $\xi$  — набор геометрических параметров рельсового пути;  $X_n$  —  $n$ -й отсчет продольного положения колесной пары относительно центра системы датчиков в моменты измерения дальности;  $n$  — номер измерения;  $n_{\max}$  — количество измерений на интервале наблюдения.

Для определения прямоугольной матрицы отсчетов дальности  $L[n]$  используются процедуры обработки сигналов дальномерных каналов левого и правого колеса. Набор отсчетов  $L_n$  соответствует  $n$ -му столбцу матрицы  $L[n]$  и содержит информацию о текущей дальности, измеренной в каждом из восьми дальномерных каналов в  $n$ -й момент времени.

Нелинейный оператор  $P$  преобразует заданные входные параметры в  $n$ -й набор отсчетов дальности  $L_n$ , а также определяет расстояния, которые проходит звук от датчиков до поверхности бандажа и обратно, в соответствии с законами геометрической акустики. В программе обработки данных эти нелинейные преобразования задаются с помощью математической модели измерительной системы [9].

Наборы параметров  $\mu$  и  $\xi$  должны определяться непосредственно при калибровке измерительной системы, так как датчики при их изготовлении и монтаже невозможно установить в заданной точке пространства с точностью  $\pm 1$  мм. Однако такой точности установки датчиков недостаточно для получения приемлемых значений погрешности при измерении параметров колесной пары, поэтому после монтажа системы, а также в ходе контрольных проверок, требуется измерять и уточнять реальные координаты каждого датчика [22].

К неизвестным величинам, входящим в данное соотношение, относятся массив отсчетов продольного положения  $X[n]$  и набор геометрических параметров колесной пары  $\eta$ . Таким образом, расчет геометрических параметров колесной пары сводится к решению уравнения (1).

Строгое решение уравнения (1) в общем виде представляется довольно сложным, поэтому при вычислении искомых параметров колесной пары используется упрощенный метод решения, суть которого заключается в следующем [11, 12]:

1) вводится начальное приближение для всех параметров колесной пары — считается, что параметры конкретной колесной пары соответствуют параметрам идеальной колесной пары. Под идеальной колесной парой понимается такая колесная пара, профиль бандажа которой полностью соответствует ГОСТ 11018—2011, а диаметр по кругу катания и межбандажное расстояние имеют средние значения из допустимого ГОСТом диапазона;

2) проводится пробное моделирование изменения дальностей в измерительных каналах при текущем состоянии набора параметров колесной пары с варьированием значения оцениваемого параметра в пределах возможного диапазона его значений;

3) по рассчитанным дальностям, соответствующим текущему значению варьируемого параметра, вычисляется соответствующее значение критерия, используемого для оценки данного параметра. Таким образом табулируется зависимость конкретного параметра от критерия при текущем состоянии остальных параметров;

4) вычисляются коэффициенты полинома, аппроксимирующего зависимость контролируемого параметра колесной пары от критерия;

5) рассчитывается критерий для измеренных дальностей;

6) с использованием аппроксимирующего полинома, вычисляется значение оцениваемого параметра. Результат заносится в выходной массив;

7) п. 2—6 по очереди выполняются для каждого вычисляемого параметра, при этом последовательно уточняется геометрия колесной пары (значения параметров идеальной колесной пары постепенно замещаются рассчитан-

ными значениями, соответствующими конкретной колесной паре).

Очередность расчета параметров выбрана таким образом, чтобы первыми вычислялись параметры, у которых критерий наименее подвержен влиянию мешающих факторов. Параметры рассчитываются в следующем порядке: межбандажное расстояние; поперечное смещение; скорость движения колесной пары; перекос колесной пары относительно оси пути; прокат; диаметр по кругу катания; текущие координаты установленных датчиков.

При вычислении этих параметров колесных пар вводятся следующие допущения:

1) опирающаяся на рельс поверхность колеса является фрагментом круглой конической поверхности. Считается, что при износе бандажа угол между образующей прямой и осевой линией конической поверхности остается постоянным. Конусность поверхности катания (КПК) является вспомогательным параметром, равным тангенсу этого угла;

2) каждое колесо соприкасается с рельсом в единственной точке, лежащей на линии катания, т. е. в качестве опоры колеса вместо рельса рассматривается линия катания;

3) при движении колесной пары в зоне наблюдения системы датчиков величины перекоса и поперечного смещения остаются постоянными (т. е. считается, что в общем случае пара движется с проскальзыванием);

4) колесная пара движется вдоль рельсового пути прямолинейно и с постоянной скоростью.

Входными параметрами процедуры являются следующие исходные данные (рис. 3):

- расстояние между внутренней поверхностью рельса и его линией катания (половина ширины головки рельса на уровне 13 мм от вершины) — ВПЛК;

- расстояние между внутренними поверхностями рельсов (на уровне 13 мм от вершины головок рельсов) — МР;

- расстояние между внутренней поверхностью колеса и его кругом катания (70 мм) — ВПКК;

- межбандажное расстояние колесной пары — МБР;

- перекос колесной пары — ПКП;
- поперечное смещение колесной пары — ПС;
- радиус правого колеса по кругу катания —  $R_{п}$ ;

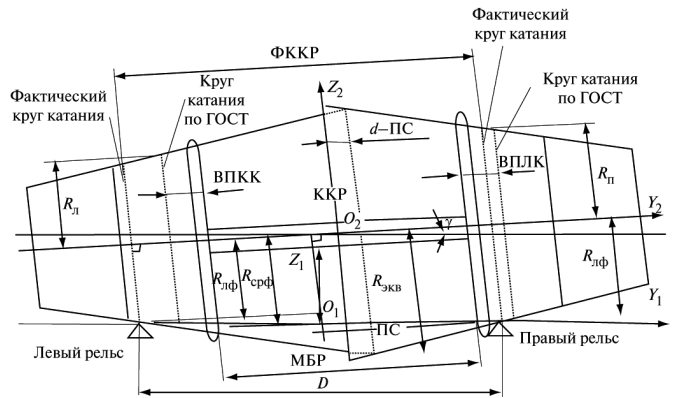


Рис. 3. Перемещение колесной пары в системе координат

- радиус левого колеса по кругу катания —  $R_{л}$ ;
- конусность поверхности катания (определяется ГОСТом) — КПК.

Сначала процедура CalcShiftRotParam-3 Dcoord [12] вычисляет вспомогательные параметры (см. рис. 2): расстояние между линиями катания рельсового пути  $ЛКР = МР + 2ВПЛК$ ; расстояние между кругами катания левого и правого колеса  $ККР = МБР + 2ВПКК$ ; средний радиус колес по кругу катания  $R_{ср} = (R_{п} + R_{л}) / 2$ ; эквивалентный радиус колесной пары  $R_{экр} = R_{ср} + (ККР / 2КПК)$ ; расстояние между точками соприкосновения колесной пары и рельсового пути  $D = ЛКР / \cos \gamma$ ; полуразность радиусов правого и левого колеса по кругу катания  $d - R = (R_{п} + R_{л}) / 2$ ; поперечное смещение колесной пары, соответствующее равным радиусам фактических кругов катания левого и правого колеса  $d - ПС = d - РКПК$ ; эквивалентное поперечное смещение  $ПС_{экр} = ПС + d - ПС$ ; расстояние между фактическими кругами катания левого и правого колеса  $ФККР = \sqrt{D^2 - (2ПС_{экр} / КПК)^2}$ .

После расчета вспомогательных параметров вычисляются выходные параметры колесной пары при движении локомотива [23].

Кроме того, составляющей частью измерительной системы является автоматическая система обнаружения трещин и дефектов поверхности катания колесных пар (АСОД-Л). Наличие этой составляющей системы обусловлено тем, что совершенно новым явлением эксплуа-



тационной практики на повышенных скоростях движения железнодорожного транспорта (скоростные поезда «Сапсан») оказалось не монотонное изменение геометрических параметров колесных пар, а выкрашивание из рабочих поверхностей бандажей колесных пар компактных групп зерен сплава с образованием каверн.

Таким образом, разработанная в УрГУПС измерительная система для контроля параметров с использованием приборов (КИП, ИД), автоматических систем обмера колес при движении локомотива АСОК-Л, обнаружения трещин и дефектов поверхности катания колесных пар АСОД-Л и программного комплекса позволяет на высоком уровне проводить мониторинг состояния колесных пар локомотивов, прогнозировать сроки обточки и ремонта, направлять колесные пары либо на станок для обточки, либо в колесный цех депо, выполнять оценку принятых технических решений по снижению интенсивного износа бандажей локомотивов, предупреждению отказов колесных пар и повышению их долговечности.

## Литература

- [1] Буйносов А.П., Тихонов В.А. Аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар. *Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Техника и технологии*, 2013, т. 6, № 2, с. 211—220.
- [2] Буйносов А.П. Контроль бандажей колесных пар. *Электрическая и тепловозная тяга*, 1991, № 9, с. 36—38.
- [3] Горский А.В., Буйносов А.П. Правильно измеряйте износ бандажей. *Электрическая и тепловозная тяга*, 1991, № 12, с. 36—37.
- [4] Freeman J., Watling C. ReMain-Modular System for Reliability and Maintainability Management in European Rail Transport. *Transport Research European Commission*, 1998, no. 4/9, pp. 59—63.
- [5] Steven R., Ditmeyer A. Vision for the Future Intelligent Railroad. *Proceedings International Heavy Haul Association*, May 5—9 2003, Dallas, Texas, USA, pp. 4.37—4.45.
- [6] Буйносов А.П., Наговицын В.С. Система бесконтактного измерения бандажей. *Локомотив*, 1995, № 12, с. 27—28.
- [7] Буйносов А.П. Прибор для измерения параметров бандажей колесных пар тягового подвижного состава. *Тяжелое машиностроение*, 2011, № 3, с. 17—19.
- [8] Буйносов А.П., Тихонов В.А., Пышный И.М. Измерение диаметра бандажей колесных пар тягового подвижного состава. *Тяжелое машиностроение*, 2012, № 10, с. 22—24.
- [9] Буйносов А.П., Тихонов В.А. Разработка автоматизированного рабочего места мониторинга параметров колесных пар локомотивов. *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока*, 2011, № 1, с. 43—46.
- [10] Буйносов А.П. Определение допустимой разности диаметров бандажей колесной пары электровозов. *Вестник РГУПС*, 2010, № 4, с. 25—34.
- [11] Наговицын В.С., Буйносов А.П., Балдин В.Л. Измерение параметров колесных пар локомотивов. *Автоматизированная систе-*

ма. Саарбрюккен (Германия), Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011, 244 с.

- [12] Балдин В.Л., Буйносов А.П. Автоматическая система мониторинга состояния бандажей колесных пар тягового подвижного состава. *Вестник ВЭЛНИИ*, 2010, № 2, с. 113—125.
- [13] Буйносов А.П. Автоматизированный контроль параметров колесных пар тягового подвижного состава. *Железнодорожный транспорт*, 2010, № 7, с. 52—53.
- [14] Буйносов А.П. *Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава*. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. Екатеринбург, УрГУПС, 2011. 44 с.
- [15] Буйносов А.П. Как контролировать разность диаметров бандажей колесных пар. *Электрическая и тепловозная тяга*, 1991, № 3, с. 35—37.
- [16] Буйносов А.П. *Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава*. Москва, ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2010, 244 с.
- [17] Буйносов А.П., Кислицын А.М. Измерение и вычисление параметров колесной пары при движении локомотива. *Научно-технический вестник Поволжья*, 2012, № 4, с. 54—58.
- [18] Буйносов А.П. Выбор остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11. *Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Техника и технологии*, 2013, вып. 6, № 2, с. 221—228.
- [19] Балдин В.Л., Буйносов А.П. Выбор технического решения для автоматизированного измерения параметров колесных пар при движении локомотивов. *Научно-технический вестник Поволжья*, 2011, № 5, с. 53—62.
- [20] Буйносов А.П. *Методы повышения ресурса бандажей колесных пар локомотивов*. Саарбрюккен (Германия), Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011, 284 с.
- [21] Буйносов А.П., Кислицын А.М. Измерительная система для контроля диаметра бандажей колесных пар электровозов на основе разработанного электронного прибора. *Научное обозрение*, 2012, № 4, с. 179—187.
- [22] Буйносов А.П. *Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения*. Екатеринбург, Изд-во УрГУПС, 2009, 224 с.
- [23] Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А. Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации. *Вестник Иркутского государственного технического университета*, 2012, т. 60, № 1, с. 85—91.

## References

- [1] Buinosov A.P., Tikhonov V.A. Apparataia realizatsiia pribora dlia izmereniia geometricheskikh parametrov bandazhei kolesnykh par [Hardware Realization of the Device for Measurement of the Geometrical Parameters of Bandages of Wheelpairs]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser. Tekhnika i tekhnologii* [Siberian Federal University Journal. Ser. Engineering and Technologies]. 2013, vol. 6, no. 2, pp. 211—220.
- [2] Buinosov A.P. Kontrol' bandazhei kolesnykh par [Control bandages wheelsets]. *Elektricheskaja i teplovoznaia tiaga* [Electric and diesel traction]. 1991, no. 9, pp. 36—38.
- [3] Gorskii A.V., Buinosov A.P. Pravil'no izmeriaite iznos bandazhei [Correctly measure the wear bandages]. *Elektricheskaja i teplovoznaia tiaga* [Electric and diesel traction]. 1991, no. 12, pp. 36—37.
- [4] Freeman J., Watling C. ReMain-Modular System for Reliability and Maintainability Management in European Rail Transport. *Transport Research European Commission*, 1998, no. 4/9, pp. 59—63.
- [5] Steven R., Ditmeyer A. Vision for the Future Intelligent Railroad. *Proceedings International Heavy Haul Association*, May 5—9 2003, Dallas, Texas, USA, pp. 4.37—4.45.
- [6] Buinosov A.P., Nagovitsyn V.S. Sistema beskontaktnogo izmereniia bandazhei [The system of non-contact measurement of bandages]. *Lokomotiv* [Locomotive]. 1995, no. 12, pp. 27—28.
- [7] Buinosov A.P. Pribor dlia izmereniia parametrov bandazhei kolesnykh par tiagovogo podvzhnogo sostava [The device for measurement of parameters of bandages of wheelpairs of the traction rolling stock]. *Tiazheloe mashinostroenie* [Heavy engineering]. 2011, no. 3, pp. 17—19.

[8] Buinosov A.P., Tikhonov V.A., Pyshnyi I.M. Izmerenie diametra bandazhei kolesnykh par tiagovogo podvizhnogo sostava [Measuring the diameter of the wheel pairs bandages locomotives]. *Tiazheloe mashinostroenie* [Heavy engineering]. 2012, no. 10, pp. 22–24.

[9] Buinosov A.P., Tikhonov V.A. Razrabotka avtomatizirovannogo rabocheho mesta monitoringa parametrov kolesnykh par lokomotivov [Development of the automated workplace monitoring of parameters of wheel pairs locomotives]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Scientific problems of transport in Siberia and the Far East]. 2011, no. 1, pp. 43–46.

[10] Buinosov A.P. Opredelenie dopustimoi raznosti diametrov bandazhei kolesnoi pary elektrovozov [Definition of the admissible difference of diameters of bandages for wheel pair of electric locomotives]. *Vestnik RGUPS* [Bulletin RSTU]. 2010, no. 4, pp. 25–34.

[11] Nagovitsyn V.S., Buinosov A.P., Baldin V.L. *Izmerenie parametrov kolesnykh par lokomotivov. Avtomatizirovannaya sistema* [The measurement of locomotive wheelsets. Computer-aided system]. Saarbruecken (Germany), LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 244 p.

[12] Baldin V.L., Buinosov A.P. Avtomaticheskaya sistema monitoringa sostoianiia bandazhei kolesnykh par tiagovogo podvizhnogo sostava [Automatic monitoring system for traction rolling stock wheelsets bandages]. *Vestnik VEINII* [Bulletin VELNII]. 2010, no. 2, pp. 113–125.

[13] Buinosov A.P. Avtomatizirovannyi kontrol' parametrov kolesnykh par tiagovogo podvizhnogo sostava [Automated parameter control wheel sets locomotives]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway]. 2010, no. 7, pp. 52–53.

[14] Buinosov A.P. *Metody povysheniia resursa bandazhei kolesnykh par tiagovogo podvizhnogo sostava* Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk [Methods to improve the resource bandages wheelsets locomotives. Synopsis doct. tech. sci. diss.]. Ekaterinburg, UrGUPS publ., 2011. 44 p.

[15] Buinosov A.P. Kak kontrolirovat' raznost' diametrov bandazhei kolesnykh par [How to control the diameter difference bandages wheelsets]. *Elektricheskaya i teplovoznaya tiaga* [Electric and diesel traction]. 1991, no. 3, pp. 35–37.

[16] Buinosov A.P. *Metody povysheniia resursa kolesnykh par tiagovogo podvizhnogo sostava* [Methods to improve the resource wheelsets locomotives]. Moscow, GOU UMTs po obrazovaniiu na zheleznodorozhnom transporte publ., 2010. 244 p.

[17] Buinosov A.P., Kislytsyn A.M. Izmerenie i vychislenie parametrov kolesnoi pary pri dvizhenii lokomotiva [Measurement and calculation of parameters of wheel pair at locomotive movement]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ia* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga]. 2012, no. 4, pp. 54–58.

[18] Buinosov A.P. Vybor ostatochnogo prokata bandazhei pri obtochke kolesnykh par elektrovozov VL11 [Choice of Residual Hire of Bandages when Turning Wheelpairs of Electric Locomotives VL11]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser. Tekhnika i tekhnologii* [Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies]. 2013, vol. 6, no. 2, pp. 221–228.

[19] Baldin V.L., Buinosov A.P. Vybor tekhnicheskogo resheniia dlia avtomatizirovannogo izmereniia parametrov kolesnykh par pri dvizhenii lokomotivov [Choice of the technical decision for the automated measurement of parameters of wheel pairs at movement of locomotives]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ia* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga]. 2011, no. 5, pp. 53–62.

[20] Buinosov A.P. *Metody povysheniia resursa bandazhei kolesnykh par lokomotivov* [Methods to improve the resource bandages locomotive wheelsets]. Saarbruecken (Germany), LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 284 p.

[21] Buinosov A.P., Kislytsyn A.M. Izmeritel'naya sistema dlia kontroliia diametra bandazhei kolesnykh par elektrovozov na osnove razrabotannogo elektronnoho pribora [Measurement system for controlling the diameter of wheel-set treads of electric locomotives based on the developed electronic device]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review]. 2012, no. 4, pp. 179–187.

[22] Buinosov A.P. *Osnovnye prichiny intensivnogo iznosa bandazhei kolesnykh par podvizhnogo sostava i metody ikh ustraneniia* [The main reasons for the intensive wear bandages wheelset rolling stock and troubleshooting]. Ekaterinburg, UrGUPS publ., 2009. 224 p.

[23] Buinosov A.P., Pyshnyi I.M., Tikhonov V.A. Remont lokomotivov bez prekrashcheniia ikh ekspluatatsii [In-service repair of locomotives]. *Vestnik of Irkutsk State Technical University* [Bulletin of Irkutsk State Technical University]. 2012, vol. 60, no. 1, pp. 85–91.

Статья поступила в редакцию 04.07.2013

## Информация об авторах

**БУЙНОСОВ Александр Петрович** (Екатеринбург) — доктор технических наук, профессор кафедры «Электрическая тяга». Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС) (620034, Екатеринбург, Российская Федерация, Колмогорова ул., д. 66, e-mail: byinosov@mail.ru).

**КИСЛИЦЫН Александр Михайлович** (Екатеринбург) — аспирант кафедры «Электрическая тяга». Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС) (620034, Екатеринбург, Российская Федерация, Колмогорова ул., д. 66, e-mail: alex\_teem@mail.ru).

## Information about the authors

**BUYNOSOV Aleksandr Petrovich** (Ekaterinburg) — Dr. Sci. (Eng.), Professor of «Electric Propulsion» Department. Ural State University of Railway Transport (USURT) (Kolmogorova str., 66, 620034, Ekaterinburg, Russian Federation, e-mail: byinosov@mail.ru).

**KISLITSYN Aleksandr Mikhaylovich** (Ekaterinburg) — Post-Graduate of «Electric Propulsion» Department. Ural State University of Railway Transport (USURT) (Kolmogorova str., 66, 620034, Ekaterinburg, Russian Federation, e-mail: alex\_teem@mail.ru).