

УДК 681.518.5:681.786

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР ВАГОНОВ ВО ВРЕМЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Е. В. ШАПОВАЛОВ, В. А. КОЛЯДА, Н. Ф. ЛУЦЕНКО, А. Н. МАНГОЛЬД

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Разработан опытный образец системы для автоматизированного бесконтактного контроля технического состояния колесных пар железнодорожных вагонов. Система предназначена для лазерно-триангуляционного измерения профилей рабочей поверхности вагонных колес и оценивания степени их износа непосредственно в процессе движения поездов. Результаты контроля могут использоваться для принятия решений о необходимости проведения ремонта колесных пар или вывода их из эксплуатации с целью обеспечения безопасности движения железнодорожного транспорта. Библиогр. 9, рис.8.

Ключевые слова: колесные пары, железнодорожные вагоны, автоматизированный контроль, геометрические параметры, лазерно-триангуляционный сенсор, сенсорные блоки

Железнодорожный транспорт является одной из важнейших составляющих транспортно-дорожного комплекса. Отсутствие резерва пропускной способности железных дорог диктует повышенные требования к надежности и безопасности движения поездов. Для обеспечения этих требований необходим переход к эксплуатации и техническому обслуживанию подвижного состава по результатам оперативного контроля наиболее важных параметров, которые определяют действительное техническое состояние отдельных узлов. Колесные пары являются одними из важнейших элементов в конструкции железнодорожного транспорта, которые подлежат значительным механическим нагрузкам и влияют на характеристики движения каждого локомотива или вагона. При взаимодействии рельсовой колеи и подвижного состава возникают напряжения в точках контакта колес с рельсами, которые приводят к износу поверхностей трения, а также к их упругим и пластическим деформациям [1]. При достижении установленных величин износа или при появлении повреждений колес необходимо изымать такие колесные пары из эксплуатации для ремонта или утилизации. Несвоевременное выявление дефектов колесных пар является причиной чрезмерного износа верхнего строения пути и может приводить к сходу подвижного состава с рельсов, особенно на стрелочных переводах.

В Украине контроль геометрических параметров колесных пар чаще всего выполняется путем визуального осмотра или измерения отдельных параметров с помощью ручного измерительного инструмента [2]. Как следствие, результаты такого контроля имеют низкую достоверность, поскольку

ку в значительной мере зависят от человеческого фактора. В последнее время на железных дорогах многих стран начали активно применяться бесконтактные средства оперативного контроля геометрических параметров поверхности катания колесных пар вагонов, которые способны определять параметры изношенности колес непосредственно во время движения поездов [3, 4]. Такой подход позволяет существенно повысить качество и повторяемость результатов контроля за счет полной или частичной автоматизации процесса. Вместе с тем, бесконтактное диагностическое оборудование зарубежного производства нуждается в доработке под нормы и условия железных дорог Украины, имеет значительную начальную стоимость и требует существенных дополнительных эксплуатационных затрат. Поэтому разработка импортозамещающего оборудования, предназначенного для бесконтактного контроля технического состояния колесных пар в процессе движения поездов, является важной и актуальной задачей.

Характеристики колесных пар вагонов как объектов оперативного контроля. В настоящее время применяются два основных типа колесных пар, которые отличаются способом торцевого крепления подшипников. Внешняя поверхность (поверхность катания) вагонных колес имеет специальный профиль, который состоит из гребня, основной и боковой поверхностей, а также торцевой фаски. Гребни направляют движение колес вдоль колеи и предотвращают сход колесных пар с рельсов. Как показывает мировой опыт, для оперативного контроля геометрических параметров колесных пар наиболее целесообразно применять системы технического зрения (СТЗ), функциони-

рующие в соответствии с методом лазерной триангуляции [5]. Такие СТЗ за один рабочий такт способны измерять профиль рельефа поверхности объекта в плоскости, которая совпадает с плоскостью излучения лазера. В случае вагонных колес за один рабочий такт СТЗ может получать полные профили их рабочей поверхности в одном фиксированном сечении. Это ограничивает возможный перечень контролируемых параметров, но в то же время позволяет контролировать такие важные параметры колесных пар, как толщина, высота, крутизна гребня, толщина и ширина обода колес (рис. 1).

В качестве толщины гребня принимается расстояние, измеренное по горизонтали на высоте 10 мм от поверхности круга катания колеса между двумя точками, которые лежат по разные стороны от вершины гребня, одна из которых принадлежит плоскости внутренней грани обода, а другая находится на внешней поверхности гребня. В свою очередь, круг катания колеса находится на расстоянии 70 мм от плоскости внутренней грани обода. Высота гребня – это расстояние, измеренное по вертикали между вершиной гребня и поверхностью круга катания колеса. Разность между измеренной и номинальной высотой гребня характеризует величину равномерного проката по кругу катания колеса, который возникает в процессе эксплуатации. Толщина обода колеса измеряется по вертикали между точкой на поверхности круга катания колеса и точкой, которая углублена на 10 мм относительно плоскости внутренней грани обода. Ширина обода – это расстояние по горизонтали между плоскостями внешней и внутренней граней колеса. Параметр, который определяет крутизну гребня, применяется для обнаружения дефекта типа «подрез гребня», который определяется на высоте 18 мм от круга катания колеса. Также лазерно-триангуляционная СТЗ дает возможность определять расстояние между внутренними поверхностями колес, которое относится к

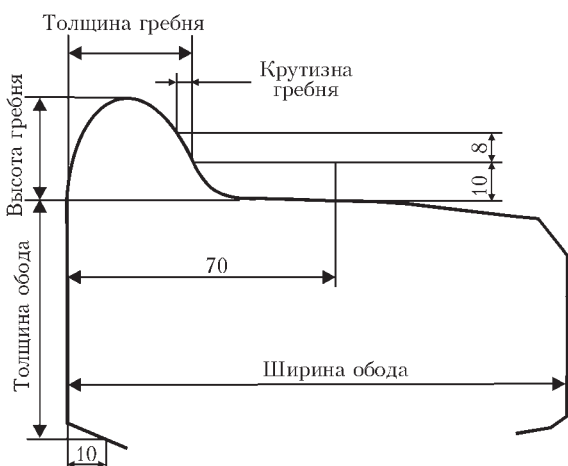


Рис. 1. Геометрические параметры рабочей части вагонного колеса

жестко регламентированным параметрам колесной пары.

Структура системы автоматизированного контроля технического состояния колесных пар. Для измерения рассмотренных выше параметров колесных пар необходимо получать полный профиль рабочей поверхности каждого из колес, что невозможно сделать с одной точки наблюдения. Поэтому в состав технических средств системы должны входить два отдельных измерительных канала, каждый из которых должен состоять из двух сенсорных блоков. Момент получения профилей необходимо синхронизировать с появлением колеса в рабочей зоне лазерно-триангуляционных сенсоров, т. е. в состав каждого измерительного канала также должен входить быстродействующий датчик приближения колеса. Результаты измерения профилей нужно передавать на удаленное автоматизированное рабочее место оператора, которое может быть построено на базе промышленного или мобильного компьютера. Обобщенная структурная схема системы автоматизированного контроля технического состояния колесных пар приведена на рис. 2.

В структуру системы добавлен датчик D_n , который устанавливается на некотором расстоянии от позиции контроля и позволяет автоматически переводить систему из режима ожидания в основной рабочий режим при приближении поезда. Предложен следующий принцип работы измерительных каналов (на примере канала 1). При приближении колеса срабатывает датчик $D_{к1}$, сигнал от которого передается контроллеру сбора данных КСД₁. При этом контроллер КСД₁ формирует синхронизирующие импульсы для сенсорных блоков СБ₁₁ и СБ₁₂. После этого выполняется регистрация цифровых изображений и их предварительная об-

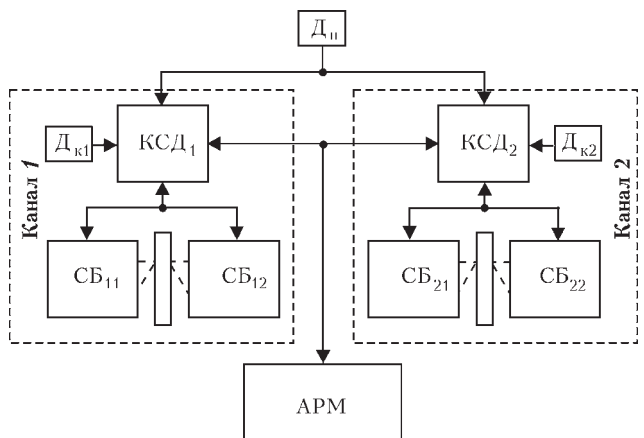


Рис. 2. Обобщенная структурная схема системы автоматизированного контроля технического состояния колесных пар вагонов: D_n – датчик приближения поезда; $D_{к1}$, $D_{к2}$ – датчики приближения колес; СБ₁₁, СБ₁₂ и СБ₂₁, СБ₂₂ – сенсорные блоки измерительных каналов 1 и 2 соответственно; КСД₁ и КСД₂ – контроллеры сбора данных; АРМ – удаленное автоматизированное рабочее место оператора

работка, при которой выполняется распознавание полного профиля рабочей поверхности колеса. Полученный профиль сразу же передается удаленному рабочему месту оператора АРМ, где выполняется его окончательная обработка, определяются и анализируются геометрические параметры вагонного колеса. Расстояние между внутренними гранями колес вычисляется после получения профилей от измерительных каналов 1 и 2.

Имитационное моделирование процесса формирования исходных сигналов. Основная цель имитационного моделирования состоит в определении оптимальной оптической схемы для сенсорных блоков системы. Поэтому в программную среду имитационного моделирования достаточно внедрить модели объекта контроля, видеокамер и лазерных модулей. На взаимное положение оптических элементов системы накладываются ограничения, связанные с требованиями, которые касаются допустимых габаритов приближения сооружений к железнодорожному пути [6]. Как правило, модель видеокамеры входит в состав среды трехмерного моделирования. Для создания модели видеокамеры достаточно просто выбрать ее прототип и задать параметры модели. В свою очередь, модель лазерного модуля, формирующего световую секущую плоскость, не относится к стандартным элементам, но такую модель несложно построить с помощью встроенных функций [7]. Для удобства желательно дополнить модели видеокамер и лазерных модулей собственными графическими объектами, поскольку они являются программными элементами без графических прототипов. Положение каждого из элементов модели задается трехмерными координатами и углами поворота вокруг координатных осей (рис. 3, а). Модели лазерных модулей формируют на поверхности объекта (колеса) световой след, который повторяет рельеф его поверхности. Соответственно, модели видеокамер способны формировать изображения, которые зависят от заданного взаимного размещения элементов модели и фокусного расстояния объектива (рис. 3, б). Изображения проекций светового следа, которые регистрируются моделями видеокамер, позволяют оценивать качество исходного сигнала и выбирать оптимальное взаимное размещение оптических компонентов сенсорных блоков.

В результате проведения имитационного моделирования выбрана оптическая схема, которая удовлетворяет требованиям по размещению компонентов сенсорных блоков относительно рельсов и позволяет получать информативные начальные сигналы (рис. 4). В соответствии с предложенной схемой оси визирования видеокамер расположены в плоскости, которая перпендикулярна направлению движения колес, и направлены вверх под углом 35° . Угол между видеокамерами и лазерными модулями во фронтальной плоскости выбран равным 40° . Точка измерения вынесена относительно точки контакта колесо–рельс на расстояние, которое обеспечивает световое сечение колеса лазерной плоскостью по его радиусу. При этом рельс, который в данном случае является помехой, выводится из поля зрения видеокамер. Видеокамеры и лазерные модули находятся на значительном расстоянии от боковых поверхностей рельсов (> 200 мм) и от верха головок рельсов (80 мм), что полностью отвечает требованиям к допустимому приближению габаритов сооружений. Также уста-

татами и углами поворота вокруг координатных осей (рис. 3, а). Модели лазерных модулей формируют на поверхности объекта (колеса) световой след, который повторяет рельеф его поверхности. Соответственно, модели видеокамер способны формировать изображения, которые зависят от заданного взаимного размещения элементов модели и фокусного расстояния объектива (рис. 3, б). Изображения проекций светового следа, которые регистрируются моделями видеокамер, позволяют оценивать качество исходного сигнала и выбирать оптимальное взаимное размещение оптических компонентов сенсорных блоков.

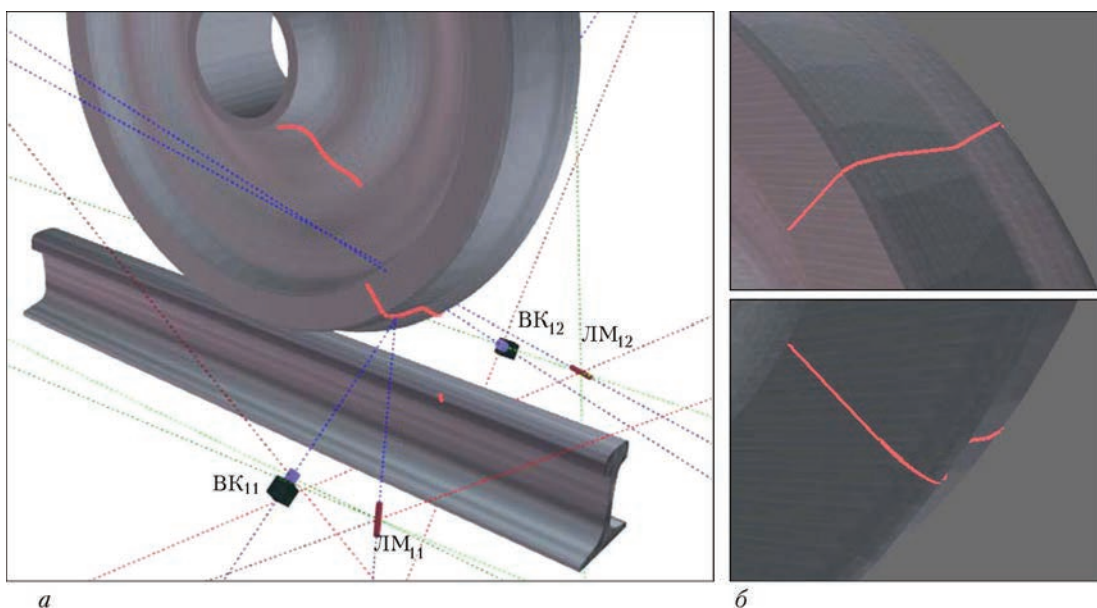


Рис. 3. Имитационная модель процесса лазерно-триангуляционного сканирования профиля рабочей поверхности вагонного колеса: а – моделирование взаимного размещения видеокамер и лазерных модулей BK_{11} , BK_{12} и JM_{11} , JM_{12} сенсорных блоков $СБ_{11}$ и $СБ_{12}$ соответственно; б – изображения проекций светового следа, полученные с помощью моделей видеокамер

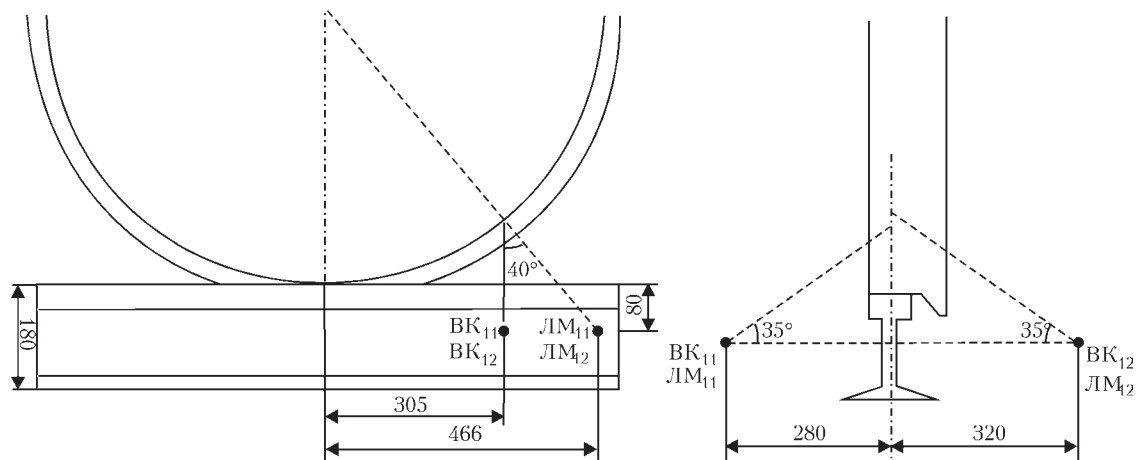


Рис. 4. Оптическая схема сенсорных блоков системы бесконтактного контроля технического состояния колесных пар: BK_{11} , BK_{12} – видеокамеры; LM_{11} , LM_{12} – лазерные модули

новлено, что при такой оптической схеме наиболее целесообразно применять объективы видеокамер с фокусным расстоянием 8 мм и лазерные модули с углом раскрытия 40° .

Разработка аппаратного обеспечения и механических узлов сенсорных блоков. При разработке конструкции сенсорных блоков применена схема двойных корпусов, при которой лазерно-триангуляционные сенсоры и другие электронные компоненты собираются в собственных герметичных корпусах, которые, в свою очередь, устанавливаются внутри корпусов большего размера, непосредственно контактирующих с внешней средой. Такая схема позволяет защитить оптико-электронные компоненты и обеспечить их работоспособность даже в случае попадания пыли и влаги внутрь внешних защитных корпусов сенсорных блоков.

Разработана конструкция внешнего и внутреннего лазерно-триангуляционных сенсоров, которые предназначены для установки снаружи и внутри рельсовой колеи соответственно. В качестве микропроцессорного оборудования сенсоров применены модули видеокамер МТ9М, контроллеры видеокамер CamContol548 и контроллеры сбора данных DAQ532 производства ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. Стандартные лазерные модули от зарубежного производителя были доработаны путем установки специальной цилиндрической линзы для развертывания лазерного луча в плоскость. Конструкция модулей видеокамер предусматривает фиксацию интерференционных светофильтров между матрицей фотоприемника и объективом. Светофильтры, полоса пропускания которых согласована с длиной волны излучения лазеров, применяются для подавления внешних оптических помех. Перед лазерными модулями и видеокамерами предусмотрены оптические окна-иллюминаторы. Корпуса сенсоров закрываются крышками через резиновые прокладки, что обеспечивает их защиту от проникновения пыли и влаги на уровне, не ниже IP64.

Конструкция и компоновка сенсорных блоков разработаны исходя из требований относительно допустимого приближения оборудования к рельсам и ограничений, которые накладываются принятой оптической схемой сенсорной системы (рис. 5). Защитный корпус внутреннего сенсорного блока состоит из двух основных деталей: основной части 1, которая имеет прямоугольную форму, и верхней защитной панели 2 с наклонными краями. На передней панели корпуса находятся два отверстия, для открывания/закрывания которых предусмотрена защитная шторка 3. Лазерно-триангуляционный сенсор 4 устанавливается на специальном кронштейне, который обеспечивает необходимую ориентацию оптических осей видеокамеры и лазерного модуля (под углом 35°). На одной из боковых панелей корпуса размещены разъемы 5, предназначенные для подключения источника электропитания, внешнего сенсорного блока, компьютера автоматизированного рабочего места оператора, датчиков приближения колеса и поезда. Внутри возле противоположной боковой панели расположен нагреватель 7, оснащенный радиатором и предназначенный для подогрева воздуха внутри сенсорного блока при низких температурах. На задней панели корпуса устанавливается вентилятор с пылевым фильтром в сборе 6, который применяется для охлаждения аппаратуры и принудительного обдува выходных окон с целью недопущения проникновения пыли внутрь корпуса при открытой защитной шторке. Для фиксации датчика приближения колеса 8 снаружи корпуса предусмотрен угловой кронштейн. Также внутри корпуса устанавливается блок релейный 9, электронные компоненты которого размещены в отдельном корпусе. Электропривод защитной шторки 10 крепится к нижней панели сенсорного блока. Для фиксации сенсорного блока на консоли предусмотрены четыре отверстия под болтовые крепления. Внешний сенсорный блок имеет подобную конструкцию за исключени-

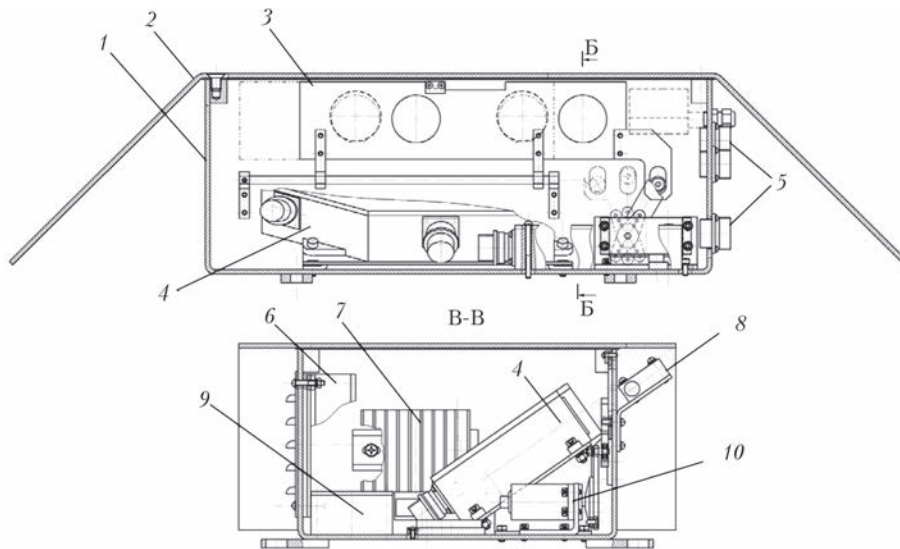


Рис. 5. Схема компоновки внутреннего сенсорного блока: 1 – основной корпус; 2 – верхняя защитная панель; 3 – защитная шторка; 4 – лазерно-триангуляционный сенсор; 5 – разъемы; 6 – вентилятор; 7 – нагреватель; 8 – датчик приближения колеса; 9 – блок релейный; 10 – электропривод механизма защитной шторки

ем компонентов, которые не входят в его состав (датчика приближения колеса и блока релейного).

Для установки сенсорных блоков на рельсовой колее разработана специальная консоль, на которой предусмотрены резьбовые отверстия под винтовые соединения. Консоль крепится к железнодорожным рельсам с помощью специальной системы креплений с изолирующими элементами, которые, с одной стороны, обеспечивают фиксированное положение сенсорных блоков относительно рельсовых нитей, а с другой – не допускают электрического замыкания рельсов.

Математическое обеспечение системы. Разработано математическое обеспечение для контроллеров видеокамер, контроллеров сбора данных и компьютера автоматизированного рабочего места оператора. Основное назначение контроллера видеокамеры – получение цифровых изображений от матрицы фотоприемника и их обработка для распознавания контура светового следа, который повторяет рельеф рабочей поверхности вагонного колеса. Для нахождения точек светового следа разработан алгоритм обработки изображений, который основан на применении одномерно-согласованно-избирательного фильтра [8]. Результатом распознавания контура светового следа является массив двухмерных дискретных точек, координаты которых заданы в виде номеров строк и строк изображения (в экранных координатах).

Математическое обеспечение контроллера сбора данных выполняет следующие основные функции: формирование сигнала синхронизации видеокамер в момент срабатывания датчика приближения колеса, получение контуров от двух контроллеров видеокамер, преобразование экранных координат точек контуров в опорную метрическую систему координат; обработка контуров

для определения геометрических параметров колесных пар и передача результатов обработки на автоматизированное рабочее место оператора. Также реализовано выполнение вспомогательных функций, связанных с управлением средствами температурной стабилизации и механизмом открывания/закрывания защитных шторок. Преобразование между экранными и метрическими координатами точек контура базируется на применении математической модели оптической системы, которая описывает взаимную связь между видеокамерой, объектом и его изображением [9]. Для определения геометрических параметров колесных пар применены алгоритмы поиска координат характерных точек, которые соответствуют принятой методике измерения параметров гребня и обода вагонных колес.

Основные задачи, которые возложены на математическое обеспечение автоматизированного рабочего места оператора, состоят в реализации следующих функций: обмен командами и данными с контроллерами сбора данных сенсорных блоков, сохранение, просмотр и анализ полученных результатов измерений, визуальное сопровождение процесса контроля, управление исполнительными механизмами сенсорных блоков, мониторинг состояния оборудования и формирование отчетных документов. Для выполнения всех необходимых функций создано специализированное программное обеспечение АРМ, главное диалоговое окно которого имеет три основные области (рис. 6). В верхней области расположены две графические панели, предназначенные для отображения полученных профилей рабочих поверхностей левого и правого колес. Также на панели выводятся найденные характерные точки, относительно которых вычисляются

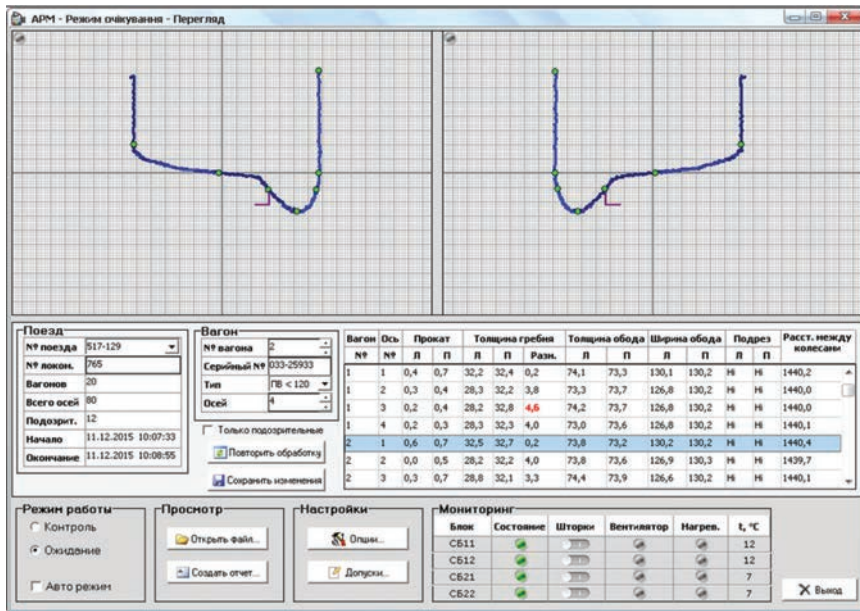


Рис. 6. Главное диалоговое окно программного обеспечения АРМ

ся геометрические параметры колес, и имитаторы шаблона для проверки профилей на наличие дефекта типа «подрез гребня». Средняя область предназначена для просмотра и редактирования числовой и символьной информации. Панель «Поезд» и «Вагон» содержат поля, предназначенные для индикации и редактирования данных о составе и каждом из его вагонов соответственно. Правая панель средней области главного диалогового окна предназначена для вывода полученных геометрических параметров колес в табличном виде. Нижняя область диалогового окна предназначена для реализации функций управления режимом работы системы («Ожидание» или «Контроль»), просмотра результатов контроля, настройки системы и мониторинга состояния оборудования. Предусмотрено формирование отчетных документов в виде ведомостей контроля и их вывод на печать или сохранение в файл.

Экспериментальное исследование процесса бесконтактного автоматизированного контроля геометрических параметров колесных пар. Для проведения экспериментов в соответствии с разработанной рабочей конструкторской документацией были изготовлены компоненты опытного образца оборудования системы автоматизированного бесконтактного контроля колесных пар. Корпуса лазерно-триангуляционных сенсоров и внутренние крепления оптических и электронных компонентов изготовлены из конструкционного алюминиевого сплава с применением фрезерного станка с числовым программным управлением, что позволило получить высокую точность обработки деталей ($\pm 0,1$ мм). Изготовлены корпусные элементы четырех сенсорных блоков и консоль для их фиксации. Основные корпусные детали сенсорных блоков и

верхние защитные панели изготовлены из конструкционной стали толщиной 4 мм, что обеспечивает высокую прочность корпусов и стойкость к возможным внешним ударам. Для предварительного оценивания точности измерения геометрических параметров вагонных колес использовался тестовый стенд, состоящий из полного комплекта оборудования системы и образцов частей (секторов) вагонных колес (рис. 7). Абсолютные погрешности серии измерений в статическом режиме определялись путем сравнения действительных и измеренных значений геометрических параметров при номинальном положении колеса относительно сенсорных блоков.

Получено, что в статическом режиме средние погрешности измерения геометрических параметров вагонных колес $\Delta_{ст}$ не превышают $\pm 0,2$ мм (рис. 8, а).

Возникновение динамических погрешностей связано со смещением точки измерения вдоль колеи в зависимости от скорости движения поезда. Согласно сформированным исходным техническим требованиям максимальная скорость движения через позицию контроля ограничена на уровне 60 км/ч. Паспортное время реакции датчика приближения колеса не превышает 330 мкс, т.е. при изменении скорости движения от 0 до 60 км/ч точка измерения за 330 мкс может сместиться максимум на 5,5 мм. Поэтому динамические погрешности оценивались путем сравнения результатов измерений геометрических параметров колеса при его номинальном положении с

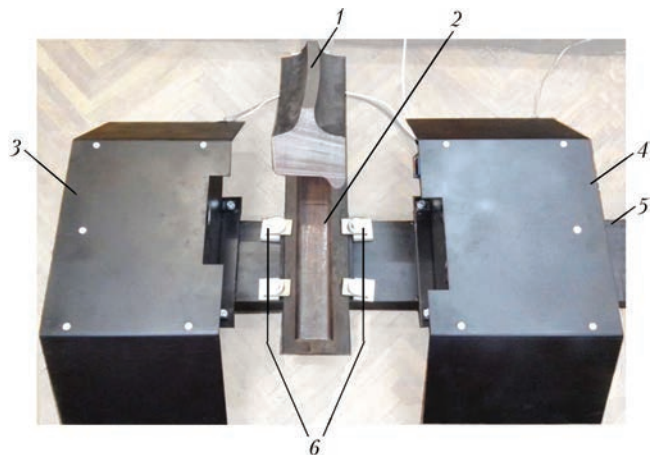


Рис. 7. Тестовый стенд: 1 – образец сектора вагонного колеса; 2 – рельс; 3, 4 – внешний и внутренний сенсорные блоки соответственно; 5 – консоль для фиксации сенсорных блоков; 6 – крепления с изолирующими элементами

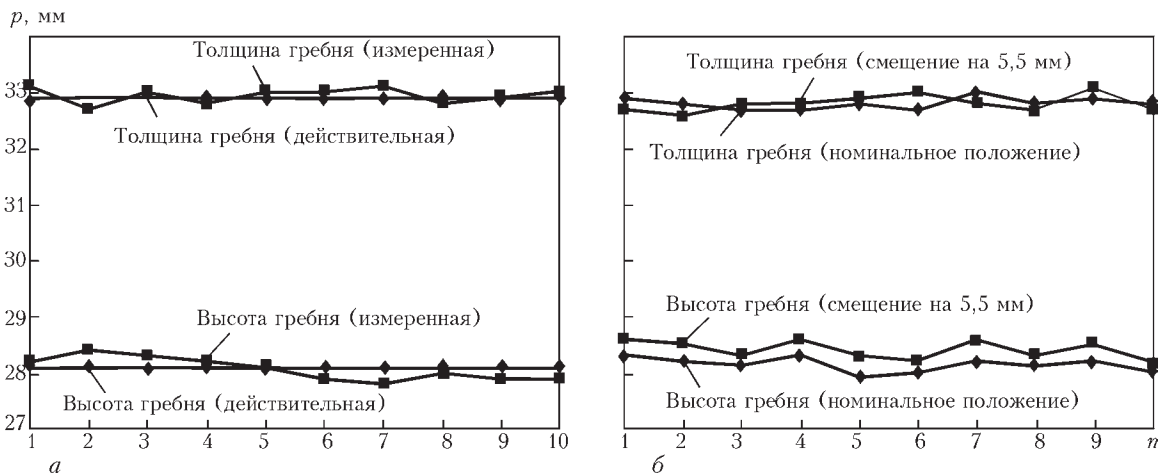


Рис. 8. Результаты оценивания статических (а) и динамических (б) погрешностей измерения геометрических параметров гребня вагонного колеса

результатами измерений, полученными при смещении колеса на 5,5 мм вдоль колеи. Получено, что в динамическом режиме средние погрешности измерений геометрических параметров вагонных колес Δ_d не превышают $\pm 0,3$ мм, причем наибольшие значения погрешностей характерны при измерении параметров, которые относятся к радиальным размерам колеса, т. е. толщины обода и высоты гребня (рис. 8, б). Это связано с тем, что при смещении точки измерения плоскость лазерного излучения не совпадает с направлением радиуса колеса. Таким образом, общие средние погрешности серии измерений $\Delta_{ст} + \Delta_d$ не превышают $\pm 0,5$ мм, что соответствует требованиям к необходимой точности измерения геометрических параметров колесных пар (не хуже ± 1 мм).

Выводы

Предложенные технические решения имеют инновационный характер для железных дорог Украины, поскольку на сегодня параметры изношенности колесных пар вагонов в основном выборочно контролируются с помощью ручного измерительного инструмента при остановке поездов на станциях. Внедрение систем автоматизированного бесконтактного контроля технического состояния колесных пар в отечественное путевое хозяйство позволит существенно улучшить количественные и качественные показатели контроля геометрических параметров вагонных колес и даст возможность повысить безопасность движения на желез-

ных дорогах за счет своевременного выявления опасных дефектов колесных пар.

1. Буряк С. Ю. Диагностирование состояния поверхности катания колеса подвижного состава железных дорог / С. Ю. Буряк // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна. – 2013. – Вып. 1. – С. 22–29.
2. Інструкція з огляду, обстеження, ремонту та формування вагонних колісних пар [Текст]: ЦВ-ЦЛ-0062. – затв. «Укрзалізниця» 01.04.05. – вид. офіц. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2006. – 102 с.
3. WheelView (S/F/D/I). Accurate, Rugged, Reliable, Automatic Wheel Profile Measurement System [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.beenavigation.com/products_wheelview.html#.
4. Measuring Equipment. E.V.A (Artificial Vision Wheelset Parameter Equipment) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.talgo.com/index.php/en/medida.php>.
5. Демкин В. Н. Лазерные методы и средства контроля геометрических размеров изделий [Текст] / В. Н. Демкин, В. А. Степанов // Измерительная техника. – 2008. – № 2. – С. 32–35.
6. ГОСТ 9238–83, MOD: ДСТУ Б В.2.3-29:2011. Габарити наближення будівель і рухомого складу залізниць колії 1520 (1524) мм. – Затверджено: Мінрегіон України, наказ від 30.12.2011 р. № 464.
7. Коляда В. А. Трехмерное моделирование как инструмент проектирования систем технического зрения / В. А. Коляда // Электронное моделирование. – 2012 – 34, № 6. – С. 107–114.
8. Фурман Я. А. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я. А. Фурман, А. В. Кревецкий, А. К. Передерев [и др.]; под ред. Я. А. Фурмана. – [2-е изд., искр.] – М.: ФИЗМАТ ЛИТ, 2003. – 592 с.
9. Zhang Z. A Flexible New Technique for Camera Calibration / Z. Zhang // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2000. – 22, № 11. – P. 1330–1335.

Pilot model of a system for automated contract-free examination of technical conditions of railway car wheel pair was developed. The system is designed for laser-triangulation measurement of profiles of working surface of car wheels and estimation of level of their wear-out directly in the process of train movement. The results of testing can be used for decisions on repair of wheel pairs or removing them from operation for safe movement of railway transport. Ref.9, Figures 8.

Keywords: wheel pair; railway cars, automated testing, geometry, laser-triangulation sensor; sensor blocks

Поступила в редакцию
23.02.2016