

На правах рукописи



Сотников Вадим Витальевич

**АВТОМАТИЧЕСКИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ
РАЗМЕРНЫЙ КОНТРОЛЬ КОЛЕСНЫХ ПАР
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СОСТАВА**

Специальность 05.11.07

Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск-2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Конструкторско-технологическом институте научного приборостроения Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: Дубнищев Юрий Николаевич,
доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты: Гужов Владимир Иванович,
доктор технических наук, профессор,
Новосибирский государственный
технический университет, декан АВТФ;
Нежевенко Евгений Семенович,
доктор технических наук, с.н.с.,
Институт автоматизации и электрометрии
СО РАН, в.н.с.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения
Российской академии наук, г. Томск.

Защита состоится 15 мая 2012 г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.173.08 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования Новосибирском государственном техническом университете по адресу: 630092, Новосибирск, просп. К. Маркса, 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Новосибирского государственного технического университета.

Автореферат разослан «__» апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Полубинский В.Л.

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В сети железных дорог России находится около 600 000 грузовых вагонов, соответственно, более 2 400 000 колесных пар. По мере эксплуатации колесные пары непрерывно изнашиваются. Если какой-нибудь из геометрических параметров достигает критической величины, то колесная пара должна быть изъята из эксплуатации и заменена исправной. До сих пор этот контроль возлагается на осмотровиков вагонов в пунктах технического обслуживания (ПТО). На качество осмотра влияет субъективная оценка осмотровика, в результате чего не всегда вовремя производится замена неисправных колесных пар в вагонах, что повышает вероятность аварийных ситуаций.

Своевременное выявление неисправных колесных пар движущегося состава может обеспечить установка автоматических систем контроля на подходе к пунктам технического обслуживания.

На момент начала диссертационной работы в России и за рубежом велись работы по созданию таких автоматических систем контроля колесных пар грузовых вагонов. Однако практически все они предназначены для применения в депо или специализированных цехах. В некоторых из них предусматривается возможность контроля состава в движении, но накладывается ограничение по скорости, и требуется использование специальных путей, как правило, размещенных в крытом помещении для исключения влияния атмосферных помех.

Создание систем контроля геометрических параметров колесных пар движущегося железнодорожного состава в условиях штатной эксплуатации является актуальной задачей. Такие системы должны действовать в едином информационном пространстве для возможности анализа результатов измерений по всей сети железных дорог, что позволило бы отслеживать изменение геометрических параметров колесных пар с течением времени и делать прогноз достижения критических значений, что, в свою очередь, позволяет заранее планировать ремонт вагонов.

Цели и задачи диссертационной работы. Целью диссертационных исследований является разработка и реализация методов, алгоритмов и программных средств, обеспечивающих работу дистанционной автоматической системы оптического размерного контроля колесных пар грузовых составов в движении.

Для достижения указанной цели необходимо было решить следующие задачи:

- разработка и реализация способа контроля геометрических параметров колес движущегося железнодорожного состава системой триангуляционных датчиков в режиме самосканирования;
- разработка и реализация помехоустойчивого быстродействующего алгоритмического модуля восстановления профиля измеряемой колесной пары на скоростях движения железнодорожного состава до 60 км/час;

- разработка и реализация программных средств диагностики влияния солнечной засветки триангуляционных датчиков системы на достоверность измерений;
- исследование влияния установочных параметров измерительной системы на погрешность измерения толщины гребня и обода колеса;
- разработка и реализация программных средств самодиагностики, мониторинга, идентификации и взаимодействия измерительной системы с АСУ предприятия или отрасли.

Научная новизна диссертации состоит в том, что в ней:

- предложена и реализована структурная и функциональная модель измерительной системы, основанная на триангуляционных измерениях в режиме самосканирования, позволяющая контролировать геометрические параметры колесных пар движущегося железнодорожного состава;
- предложены и реализованы помехоустойчивые алгоритмы обработки сигналов для системы бесконтактного контроля геометрии колесных пар движущегося поезда в диапазоне скоростей до 60 км/час с погрешностью не более 0.5 мм;
- предложены и реализованы программные средства для обеспечения самодиагностики, мониторинга, идентификации и взаимодействия измерительной системы КОМПЛЕКС с АСУ железнодорожного транспорта.

Практическая ценность и реализация результатов работы. На основе результатов и выводов, полученных в диссертации, разработана, реализована и внедрена в промышленную эксплуатацию автоматическая оптико-электронная система КОМПЛЕКС, обеспечивающая бесконтактный контроль геометрических параметров колесных пар на ходу поезда с погрешностью не более 0.5 мм на скоростях до 60 км/ч в условиях интенсивных атмосферных и промышленных помех. В настоящее время в сети железных дорог России успешно функционирует около шести десятков таких комплексов. Два комплекса эксплуатируются собственниками вагонов (ГАЗПРОМ и НОВОТРАНС) и один в Республике Беларусь.

На защиту выносятся:

- способ контроля геометрических параметров колес движущегося железнодорожного состава системой триангуляционных датчиков в режиме самосканирования;
- помехоустойчивые алгоритмы обработки сигналов для системы бесконтактного контроля геометрии колесных пар движущегося поезда в широком диапазоне скоростей с погрешностью не более 0.5 мм;
- способ диагностики влияния солнечной засветки на достоверность измерений в произвольный момент времени при различных географических координатах расположения измерительной системы;
- программные средства самодиагностики, мониторинга и идентификации для системы КОМПЛЕКС, обеспечивающие ее взаимодействие с АСУ железнодорожного транспорта.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и представлялись на: 7-й Международной научно-технической конференции «Оптические методы исследования потоков» (Москва, 2003); Sixth International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTII 2003) (Hong, 2003); International Symposium on Photonics in Measurement (Frankfurt, Germany, 2004); 3-rd International Symposium on Instrumentation Science and Technology (Xi'an, China, 2004); The 8-th International Symposium on Measurement and Quality Control in Production (Erlangen, Germany 2004); VIII Международной конференции «Оптические методы исследования потоков» (Москва, 2005); Measurement technology and intelligent instruments VI (Switzerland, 2005); 6-th International Conference on Measurement (Smolenice, Slovakia, 2007).

Личный вклад диссертанта заключается в постановке задач, поиске способов их решений, разработке методов обработки сигналов и реализации алгоритмической базы, обеспечивающей достоверные результаты измерений. Разработка приборов и систем выполнена коллективами сотрудников лаборатории размерного контроля КТИ ИП СО РАН и лаборатории оптических методов исследования потоков ИТ СО РАН при непосредственном участии автора.

Публикации. По теме диссертации соискателем лично и в соавторстве опубликовано 22 работы в отечественных и зарубежных изданиях, в том числе: 5 работ, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК РФ, 13 научных работ – на международных и всероссийских конференциях, получено четыре патента.

Структура работы. Содержание диссертации изложено на 163 страницах, состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников из 95 наименований и приложений, содержит 7 таблиц и 74 рисунка.

II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, определены цели и задачи работы, указано, в чем состоит научная новизна и практическая значимость результатов исследования.

В первой главе приводится обзор основных методов и систем размерного контроля и оценивается возможность их применения для решения поставленной задачи.

Во второй главе рассматривается задача измерения геометрических параметров колесных пар железнодорожного состава в движении.

Система должна контролировать следующие параметры колесных пар (рис. 1) грузовых вагонов: ширину обода (a), толщину обода (b), толщину гребня (c), высоту гребня (h), диаметр ($2 \cdot r$) и равномерный прокат ($h - 28\text{мм}$). Измерения с погрешностью не более 0.5 мм необходимо производить при скоростях движения поезда от 15 до 60 км/час на перегоне при

температуре окружающей среды от -50° до $+50^{\circ}$ $^{\circ}\text{C}$ при наличии запыленности и атмосферных осадков.

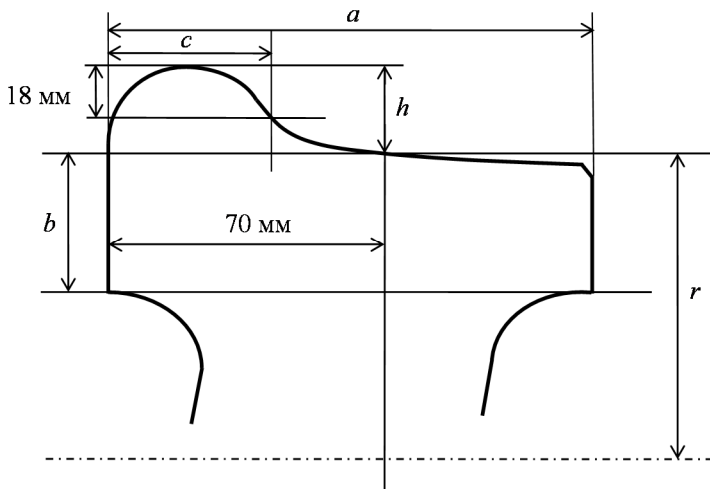


Рис. 1. Основные геометрические параметры колеса грузового вагона.

В Конструкторско-технологическом институте научного приборостроения Сибирского отделения РАН (КТИ НП СО РАН) с участием автора в качестве одного из основных разработчиков создана система автоматического контроля геометрических параметров колесных пар вагонов на подходах к станции (в дальнейшем – КОМПЛЕКС).

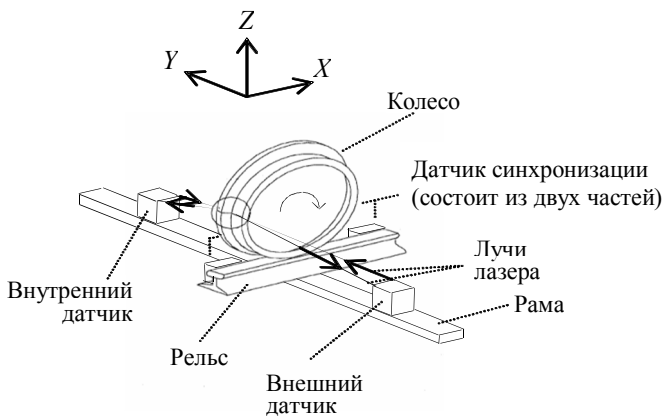


Рис. 2. Принцип самосканирования колесной пары.

Работа системы КОМПЛЕКС основана на принципе самосканирования колесной пары с использованием набора активных лазерных дальномеров (триангуляционного типа), при котором каждое из колес параллельно и независимо сканируется двумя измерительными датчиками – внутренним и наружным, установленными внутри рельсового пути и снаружи соответственно (рис. 2).

При движении колесной пары каждый из колесных датчиков фиксирует текущее расстояние до поверхности колеса (вдоль заданного направления) (рис. 2). В итоге формируются сигналы, отражающие профиль колесной пары в некоторых сечениях, определяемых в системах отсчетов датчиков, приведенных к единому координатно-измерительному базису (рис. 3).

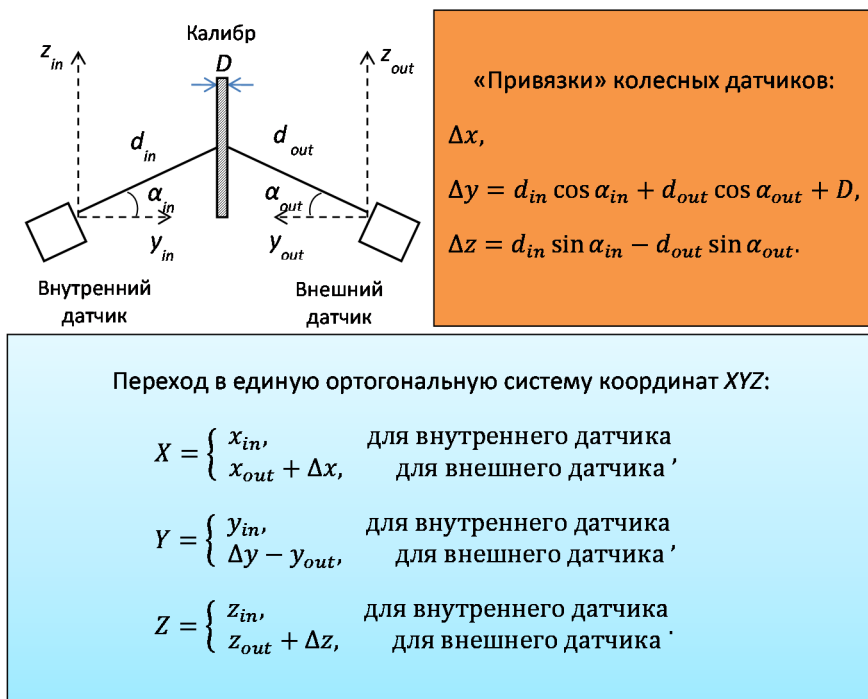


Рис. 3. Взаимная «привязка» систем координат триангуляционных датчиков.

Для реализации принципа самосканирования в заданном диапазоне рабочих скоростей необходимы лазерные триангуляционные дальномеры, удовлетворяющие достаточно жестким требованиям. Они должны обеспечивать измерение расстояния до движущейся поверхности с различными рассеивающими свойствами с погрешностью, не превышающей 0.1% и

быстродействием не менее 10^5 отсчетов в секунду в условиях сильных внешних помех и фоновых засветок.

К моменту начала работ по теме диссертации не существовало датчиков с подобными характеристиками. В рамках реализации проекта они были разработаны, изготовлены и протестированы. Датчики успешно прошли полный цикл государственных испытаний и внесены в государственный реестр средств измерений. Собственная погрешность датчиков в диапазоне измерения от 320 до 560 мм не превосходит 0.15 мм. Быстродействие датчика достигает 500 000 измерений в секунду. Такие параметры обеспечиваются за счет использования методов аппроксимации при лабораторной калибровке, стабилизации суммарного выходного напряжения и учета темновых смещений аналогового тракта датчика.

Работа в режиме самосканирования накладывает определенные требования к синхронизации измерений. Этим требованиям удовлетворяет разработанный для системы КОМПЛЕКС датчик синхронизации на базе двух оригинальных магнитных педалей, устанавливаемых непосредственно на рельсе.

Датчик синхронизации имеет два выхода: цифровой и аналоговый. На цифровом выходе датчика формируется сигнал в виде меандра, длительность которого определяется временем прохода колеса через зону измерений. Этим сигналом стробируются многоканальные параллельные АЦП, в которых производится оцифровка аналоговых сигналов триангуляционных датчиков. Длительность меандра примерно в 1.5 раза превышает время прохождения колеса через зону измерений. Одновременно на аналоговом выходе формируются «колоколообразные» сигналы, соответствующие прохождению колеса вдоль магнитных педалей датчика синхронизации. Фиксация времен прохода колеса через зону измерений на основе обработки этих сигналов позволяет уточнить моменты прохода колесной пары над центрами педалей с погрешностью в несколько сотен микросекунд, что обеспечивает необходимую точность восстановления координаты по оси X (вдоль движения состава).

Кроме того, жесткая фиксация объекта относительно кадра измерений позволила организовать простую, эффективную и быстродействующую программную фильтрацию сигналов с целью выделения участков сигнала, принадлежащих колесу в условиях интенсивных атмосферных и промышленных помех. Идея фильтрации основана на том, что известно среднее положение X координаты оси симметрии сигналов триангуляционных датчиков (центра колеса) в кадре по предыдущим составам.

Ожидаемое положение центра колеса в кадре измерений позволяет сделать оценку достоверности определения положения объекта в кадре и при необходимости применить альтернативные более ресурсоемкие способы нахождения положения центра колеса (например, автокорреляционный метод).

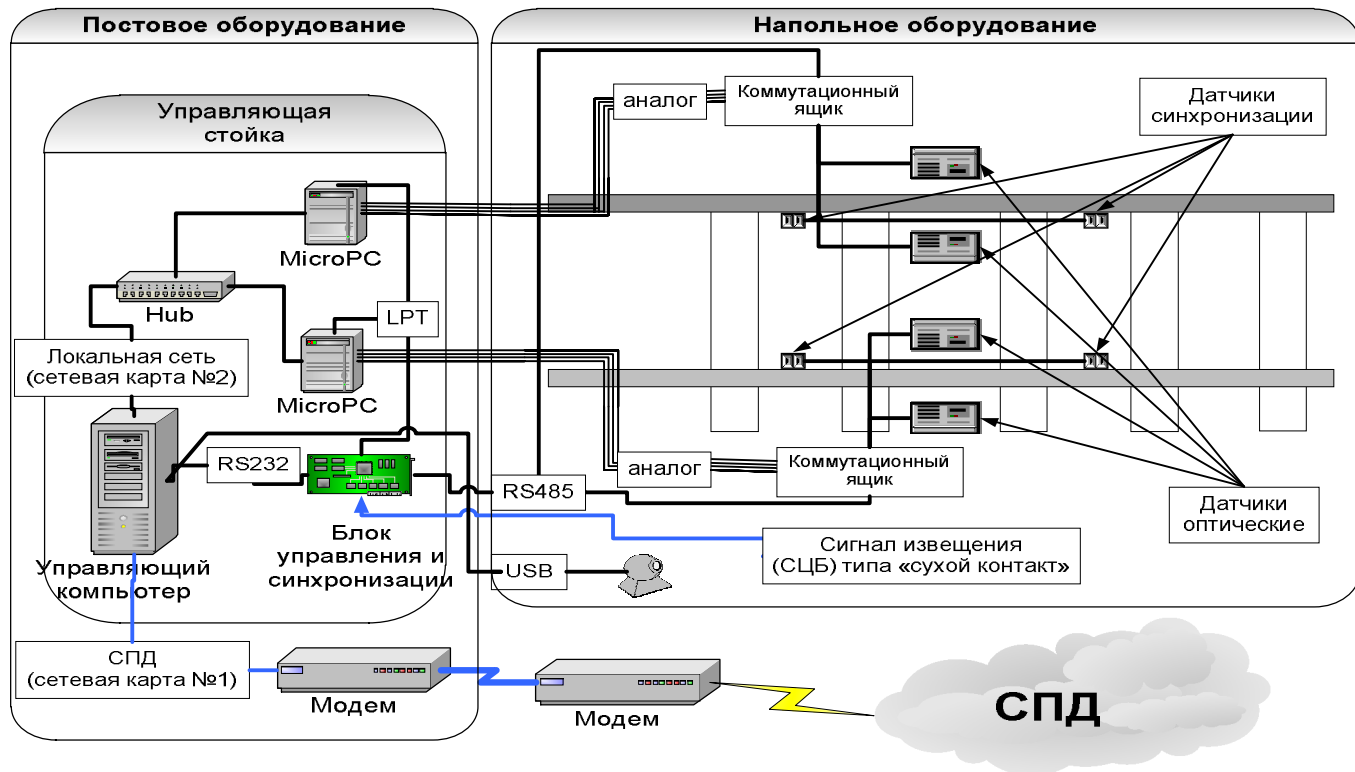


Рис. 4. Постовое и напольное оборудование системы КОМПЛЕКС.

В случае, если не один из методов определения положения центра колеса не попадает в допусковую зону, можно либо остановиться на ожидаемом положении центра колеса, либо пометить результаты измерений по данной оси как недостоверные.

Оборудование системы КОМПЛЕКС (рис. 4) подразделяется на напольное (размещенное вокруг и внутри рельсовой решетки) и постовое (размещаемое внутри отапливаемого помещения), соединенные кабельным каналом.

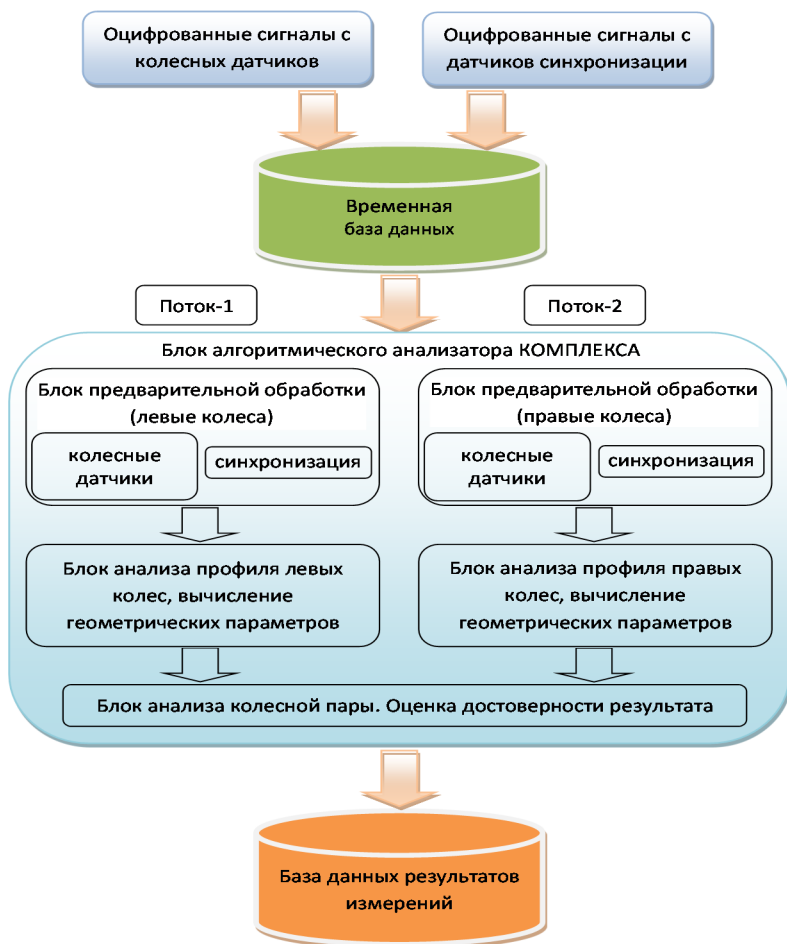


Рис. 5. Структурная схема алгоритмического модуля системы КОМПЛЕКС.

Аналоговые сигналы с датчиков каждой из сторон поступают на параллельный АЦП модулей сбора данных. Управление оцифровкой сигналов осуществляется датчиком синхронизации, который формирует сигналы начала и конца измерений для каждого колеса состава. Частота дискретизации АЦП выбирается динамически в зависимости от скорости движения состава. Критерием выбора текущей частоты дискретизации является разумная избыточность оцифрованных данных по колесу.

Структурная схема алгоритмического модуля системы КОМПЛЕКС, предложенного и разработанного автором, приведена на рис. 5.

Для вычисления геометрических параметров достаточно восстановить его профиль, после чего можно в соответствии с ГОСТ 9036-88 найти их численные значения. Под профилем колеса здесь и далее подразумевается его сечение в плоскости, в которой находится ось вращения колеса.

Обработка сигналов каждого из блоков левого и правого колеса колесной пары производится в отдельных потоках, которые выполняются параллельно по мере готовности данных.

После обработки сигналов в алгоритмических блоках предварительной обработки (рис. 5) данные поступают в блок анализа профиля колеса. Для построения профиля осуществляется переход от декартовой системы координат XYZ в цилиндрическую систему координат φRY . На рис. 6 приведен пример восстановленного профиля колеса, полученного из анализа сигналов. По восстановленному профилю вычисляются искомые геометрические параметры колесной пары на основании ГОСТ 9036-88. При этом алгоритм расчета параметров повторяет отраслевую методику их измерений с помощью стандартного контактного инструмента (рис. 6).

Допускается одновременная работа нескольких копий блоков анализатора, что позволяет при необходимости производить параллельную обработку нескольких составов (например, железнодорожные магистрали с очень интенсивным потоком движения). Продолжительность обработки одной колесной пары составляет 10 – 15 мс (время обработки всего состава около 3 – 5 с). Результаты обработки сохраняются в базе результатов и передаются по локальной сети оператору ПТО. В случае если измеренные значения выходят за допустимые границы, эти измерения помечаются как тревожные, что дает возможность оператору принять решение о возможности дальнейшего следования этого вагона.

В **третьей главе** рассматриваются методы борьбы с помехами и обеспечения достоверности результатов.

Специфичными для триангуляционной схемы являются искажения, вызванные изменениями диаграммы рассеяния зондирующего излучения, возникающими даже при контроле ровной поверхности исследуемого объекта. Кроме того, для движущихся объектов не возможно повторение измерений в интервалах исчезновения или ослабления сигналов. В этих

ситуациях для достоверного восстановления сигналов целесообразно воспользоваться априорной информацией об ожидаемой форме объекта и заведомо избыточной информацией.

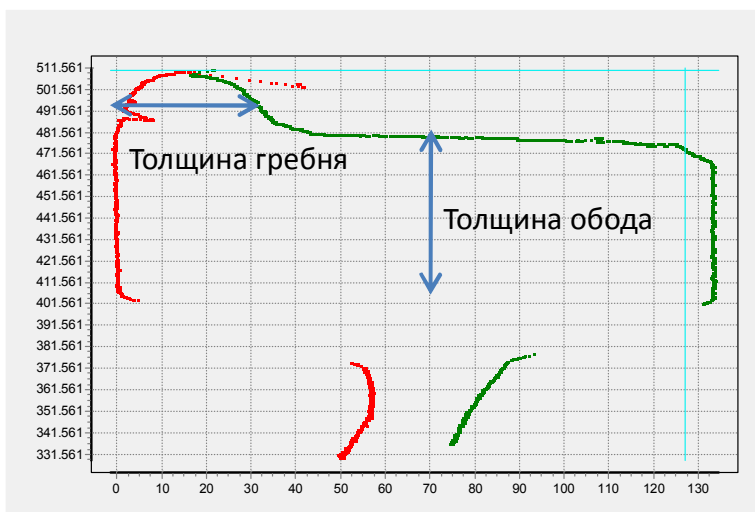


Рис. 6. Основные геометрические параметры колеса.

Наряду с полезной информацией в сигнале могут присутствовать фрагменты, возникающие вследствие помех от посторонних предметов, окружающих объект. Для борьбы с такого рода помехами необходимо четко выделить зону, содержащую полезную информацию об объекте. Основная часть обработки исходных сигналов с триангуляционных датчиков осуществляется в лабораторной системе отсчета XU . Прежде всего, необходимо обеспечить максимальное «подобие» сигналов, полученных для текущего колеса, «эталонному» (ожидаемому). Для этого на первом проходе обработки сигналов осуществляется предварительная оценка положения координат оси колеса и угла набегания колесной пары на рельс. После этого производится поворот системы координат на найденный угол относительно координат оси колеса, что обеспечивает четкую фиксацию сигнала в кадре. На втором проходе уточняется положение координаты оси колеса, и относительно уточненного положения оси ищутся реперные точки. Такая фильтрация сигналов основывается на заранее известной форме и зафиксированном положении оси измеряемого объекта. В этом случае в обрабатываемом кадре можно выделять «разрешенные» и «запрещенные» зоны сигнала для исследуемого объекта, что позволяет локализовать сомнительные участки сигнала и исключать их из последующей обработки.

Кроме сигналов от посторонних предметов возможно экранирование полезного сигнала помехой (снег, дождь, пылевые частицы и т.д.). Борьба с помехами этого рода состоит в устранении или ослаблении их воздействия при помощи адаптированных для этой цели механических конструкций.

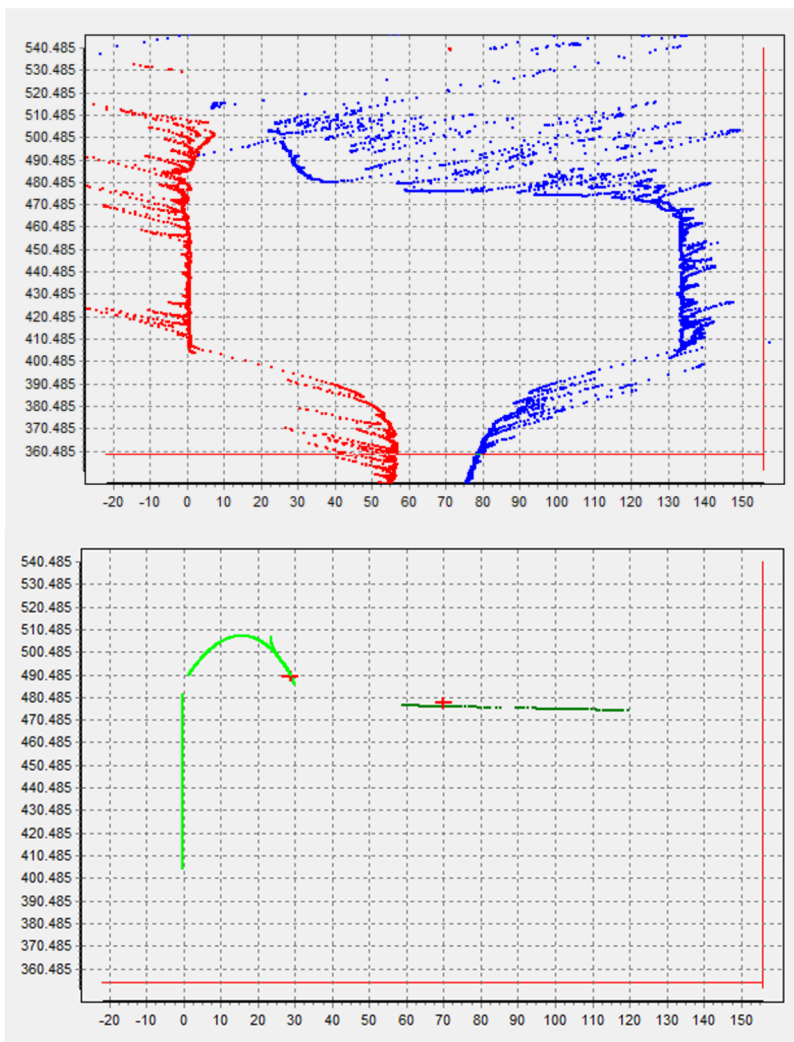


Рис. 7. Пример восстановленного профиля колеса без фильтрации сигналов (сверху) и участки профиля после фильтрации в зонах, используемых для определения толщины обода и гребня (снизу) (мм).

Пример эффективности фильтрации иллюстрирует рис. 7. На нем приведен восстановленный профиль колеса без фильтрации сигналов (сверху) и участки того же профиля в зонах, используемых для определения толщины обода и гребня (снизу). Как хорошо видно, фрагменты сигналов, по которым в дальнейшем будет определяться толщина гребня и обода, могут быть однозначно интерпретированы. Левый крестик на нижнем рисунке соответствует точке измерения толщины гребня, а правый – толщины обода.

Как показали исследования, если угол между направлением на Солнце и оптической осью объектива датчика меньше $7 - 10^\circ$, то в солнечные дни происходит насыщение фотоприемника. В этом случае измеренные параметры окажутся, скорее всего, недостоверными. В зависимости от ориентации железнодорожного пути и географических координат места установки КОМПЛЕКСа такая ситуация возможна до получаса в течение нескольких дней два раза в году. На некоторых КОМПЛЕКСах за счет их удачного местоположения такого не бывает никогда.

Для предупреждения оператора о такой ситуации производится оценка ориентации объективов датчиков относительно вычисленных алгоритмическим блоком угловых координат Солнца с учетом географического положения КОМПЛЕКСа и текущего времени. Зная азимут направления движения состава, угол наклона колесных датчиков и угол триангуляции, можно для каждого из них вычислить азимут и высоту точки, куда направлен его объектив (h_t и A_t). Тогда угловое расстояние θ между Солнцем и оптической осью объектива триангуляционного датчика равно

$$\theta = \cos^{-1}(\sin h_{\odot} \sin h_t + \cos h_{\odot} \cos h_t \cos(A_{\odot} - A_t)).$$

Далее оценивается парциальный вклад погрешностей определения установочных параметров измерительной системы и параметров пространственного положения колесной пары в абсолютную погрешность измерения толщины обода и гребня. Суммарный вклад этих погрешностей приводит к систематической погрешности результатов измерения параметров колесной пары, которая должна учитываться при эксплуатации.

Определение метрологических характеристик (поверка) осуществляется в два этапа. На первом этапе производится оценка погрешности измерений в статическом режиме с помощью поверочного приспособления 5Р.1038.800 собственной разработки, аттестованного с погрешностью ± 0.1 мм. На втором этапе производится оценка погрешности измерений в динамическом режиме путем сравнения результатов измерений, полученных системой КОМПЛЕКС, с прямыми замерами, выполненными традиционным контактным способом на неподвижном составе в ПТО штатным измерительным инструментом.

Поскольку принцип работы системы КОМПЛЕКС подразумевает измерение в одном произвольном сечении колеса, при оценке величины по-

грешности необходимо учитывать возможный разброс значений измеряемого параметра по кругу катания. Конкретные значения величины разброса значений установлены руководящим документом (РД 32 ЦВ 058-97) «Методика выполнения измерений при освидетельствовании колесных пар вагонов колеи 1520 мм».

Суммарная погрешность измерений будет равна:

$$\varepsilon = \sqrt{A^2 + B^2 + C^2},$$

где A – абсолютное значение погрешности измерений КОМПЛЕКСа для данного параметра, B – абсолютное значение погрешности стандартного измерительного инструмента и C – разброс значения параметра по кругу катания, допускаемый в процессе эксплуатации колесной пары.

На основании суммарной погрешности измерений системы КОМПЛЕКС нормативными документами Вагонного департамента РЖД установлены границы максимально допустимых отклонений значений, измеренных системой, от истинных значений этих параметров, полученных при помощи стандартного контактного измерительного инструмента. Например, для толщины гребня этот диапазон задан в пределах ± 1.5 мм. Другими словами, если разница между значением этого параметра, измеренного системой, и его значением, измеренным ручным инструментом, попадает в указанный диапазон, то такое измерение считается подтвержденным. В летний период подтверждаемость составляет около 100 %. В зимний период подтверждаемость измерений системы КОМПЛЕКС по вышеописанной методике составляет 93% в случае отсутствия интенсивных снежных помех и снижается до 89% при их наличии.

В **четвертой главе** рассматриваются вопросы практического использования и результаты внедрения системы КОМПЛЕКС.

Оборудование системы КОМПЛЕКС обычно размещается на перегоне, который может находиться на достаточном удалении от ПТО. Возникает необходимость идентификации (привязки) составов. Кроме этого, необходимо для каждой из осей состава сопоставить принадлежность к конкретному вагону.

Разработанный автором программный модуль обеспечивает разбивку состава на вагоны, исключает из обработки оси, принадлежащие локомотивам, и определяет количество вагонов в текущем составе. Его работа основана на анализе времен прохода колес через измерительную зону системы КОМПЛЕКС.

В этом же модуле реализован программный интерфейс с АСУ железнодорожного транспорта (АСУЖТ), который позволяет получать информацию от одной из АСУ управления движением о составах, находящихся на подходе к участку контроля (рис. 8). На основании этой информации каждому из измеренных системой составов сопоставляется реальный номер и индекс (маршрут) поезда. Дополнительно запрашивается натурный лист

(информация об инвентарных номерах вагонов в составе) на эти составы и производится фотосъемка вагонов. Все это позволяет оператору ПТО контролировать правильность идентификации неисправных вагонов.

Результаты измерений, полученные системой КОМПЛЕКС, отображаются на мониторе АРМ оператора ПТО. Используя эту информацию, оператор ПТО может направить осмотрщика вагонов к конкретному вагону в составе для принятия решения о возможности его дальнейшей эксплуатации.

Предусмотрена возможность передачи результатов измерений в централизованное хранилище для статистического анализа технического состояния как отдельных вагонов, так и всего вагонного парка в целом.

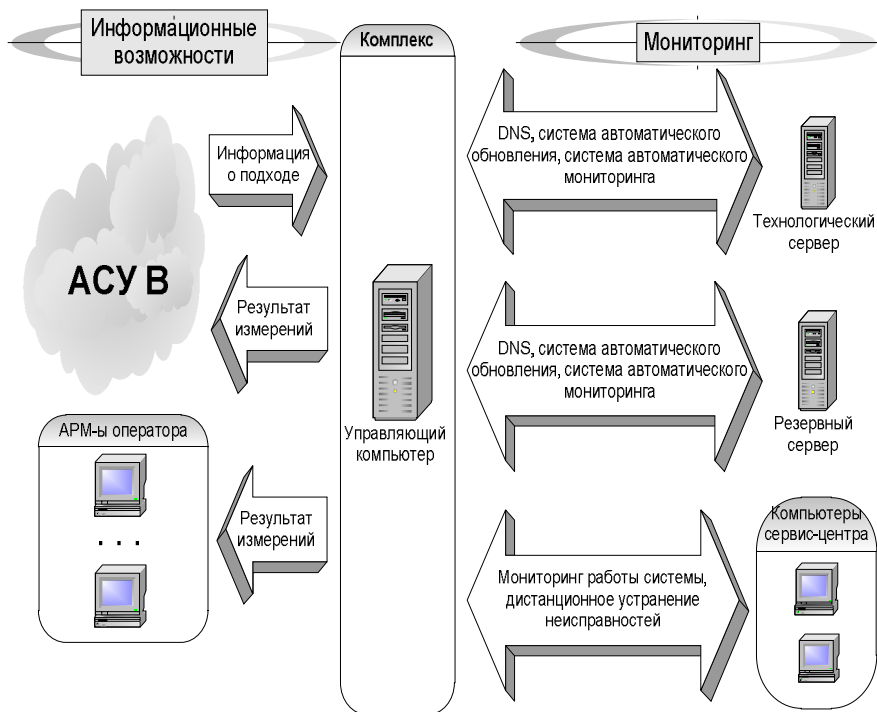


Рис. 8. Схема информационных потоков системы КОМПЛЕКС.

Для каждого из геометрических параметров колесной пары установлены допустимые границы. Например, толщина гребня колеса должна быть не менее чем 23 мм. Колеса, для которых один из измеряемых параметров лежит за пределами допустимых значений, подкрашиваются красным цветом в АРМе оператора. Это так называемые тревожные показания.

Высокие показатели достоверности результатов измерений системы КОМПЛЕКС позволило осенью 2009 г. Департаменту вагонного хозяйства РЖД перевести все ПТО на сети железных дорог на режим безусловной отцепки вагонов по тревожным показаниям систем КОМПЛЕКС.

По состоянию на лето 2011 г. в эксплуатации находятся более шести десятков КОМПЛЕКСов, установленных на 15 железных дорогах России (рис.9), у собственников вагонов (ГАЗПРОМ и НОВОТРАНС) и в Республике Беларусь. Цифрами на рисунке обозначено количество установок, смонтированных в регионе.

Работоспособность системы КОМПЛЕКС обеспечивается практически в любых погодных условиях с оценкой достоверности результатов, о чем сообщается обслуживающему персоналу ПТО.

Результаты многократных сравнительных замеров подтверждают высокую достоверность автоматических замеров в диапазоне скоростей движения поездов на участке контроля до 60 км/ч от 89 до 97% в зависимости от наличия и интенсивности атмосферных помех.

В заключении приведены основные результаты диссертации:

- предложен и реализован способ контроля геометрических параметров колес движущегося железнодорожного состава системой триангуляционных датчиков в режиме самосканирования;
- разработан способ повышения точности измерительных триангуляционных датчиков, основанный на применении методов аппроксимации при лабораторной калибровке, стабилизации суммарного выходного напряжения и учете темновых смещений в элементах аналогового тракта, позволяющий снизить погрешность до 100 мкм в диапазоне измеряемых расстояний 320 – 560 мм;
- предложен и реализован помехоустойчивый быстродействующий алгоритмический модуль восстановления профиля измеряемой колесной пары с учетом априорной модели, обеспечивающий достоверность результатов измерений в условиях интенсивных атмосферных и промышленных помех на скоростях движения железнодорожного состава до 60 км/час;
- предложен и реализован способ диагностики влияния солнечной заливки на достоверность измерений в произвольный момент времени при различных географических координатах расположения измерительной системы;
- выполнена оценка влияния отклонения от номинальных значений установочных параметров измерительной системы, пространственного положения и опорных параметров колесной пары на погрешность измерений; на основе этих оценок сформулированы требования, обес-

- печивающие заданную систематическую погрешность измерений колесных пар;
- разработана и реализована схема информационного взаимодействия с АСУЖТ (АСОУП, ЦУМР, ГИД, АСУ СТ, АСУ НТ), обеспечивающая привязку и идентификацию подвижных единиц и составов; разработан и реализован программный интерфейс автоматического обмена с системой сбора информации СКАТ, через который данные могут поступать в другие информационные системы АСУЖТ;
 - результаты диссертации использованы при создании автоматической оптико-электронной системы КОМПЛЕКС для контроля и диагностики колесных пар вагонов на ходу поезда, принятой в эксплуатацию в сети железных дорог России, у собственников вагонов (ГАЗПРОМ и НОВО-ТРАНС) и в Республике Беларусь.

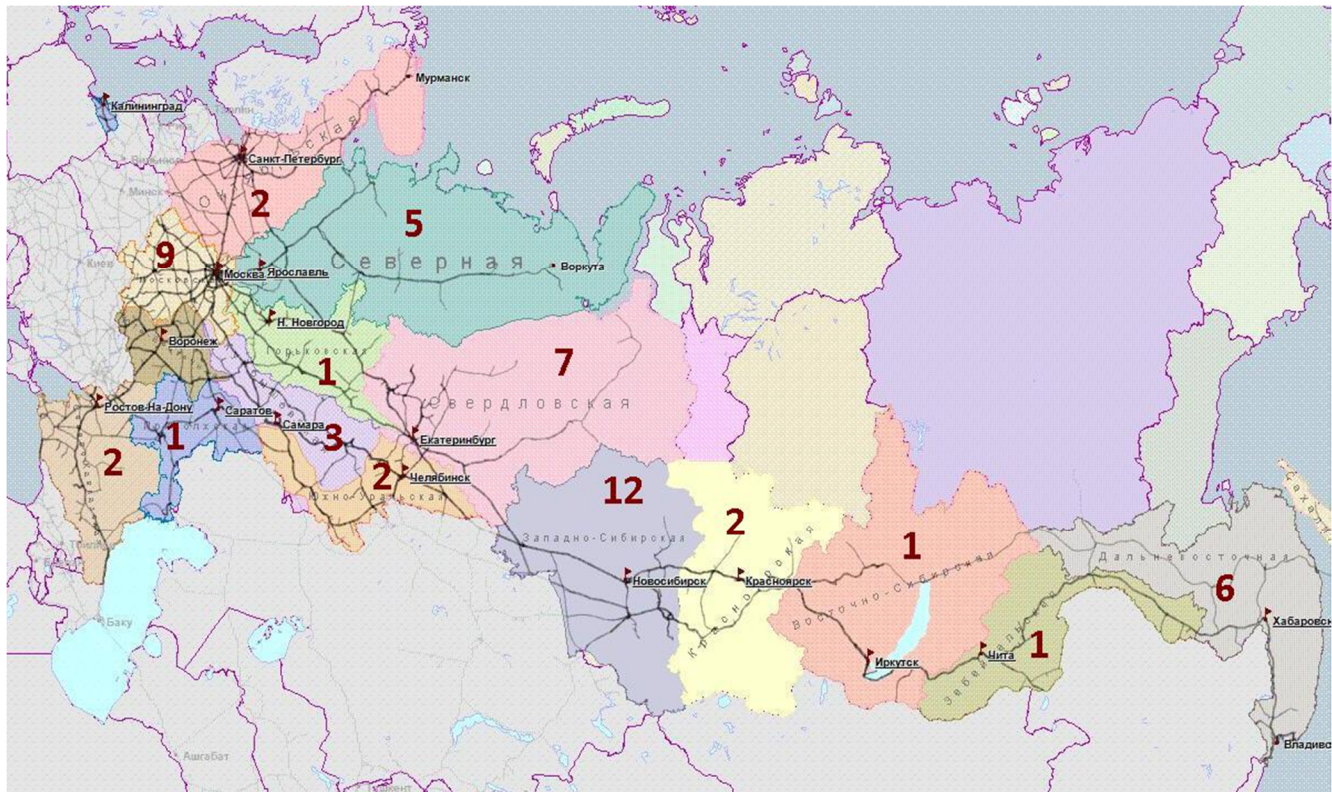


Рис. 9. Действующие установки КОМПЛЕКС в сети железных дорог России.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Байбаков А.Н., Гуренко В.М., Патерикин В.И., Юношев С.П., Плотников С.В., **Сотников В.В.**, Чугуй Ю.В. Автоматический контроль колесных пар на ходу поезда // Автометрия, 2004, т. 40, № 5, с. 94 – 103.
2. Байбаков А.Н., Гуренко В.М., Плотников С.В., **Сотников В.В.** Применение триангуляционного метода измерения для промышленного контроля геометрических параметров динамических объектов // Датчики и системы, 2004, № 6, с. 38 – 41.
3. **Сотников В.В.** Обработка сигналов в лазерных триангуляционных измерителях геометрических параметров движущихся объектов // Автометрия, 2009, т. 45, № 6, с. 52 – 60.
4. Байбаков А.Н., Кучинский К.И., Патерикин В.И., Плотников С.В., **Сотников В.В.** Опыт разработки и эксплуатации лазерных автоматизированных диагностических комплексов для бесконтактного контроля параметров колес грузовых вагонов // Измерительная техника, 2010, № 4, с. 61 – 64.
5. Дубнищев Ю.Н., Белоусов П.Я., Белоусова О.П., **Сотников В.В.** Метод оптического контроля радиуса колеса при качении по рельсу // Автометрия, 2012, т. 48, № 1, с. 87 – 94.
6. Свидетельство РФ № 28348, МПК 7 В 61 К 9/12. Комплекс диагностического контроля колесных пар подвижного состава / Ю.В. Чугуй, С.В. Плотников, В.И. Ладыгин, С.П. Юношев, К.И. Кучинский, Н.Т. Тукубаев, А.Н. Байбаков, **В.В. Сотников**, В.М. Гуренко. № 2002128203/20; Заявл. 24.10.2002; Оpubл. 20.03.2003, Бюл. № 8; Приоритет 24.10.2002, 2 с.
7. Патент РФ № 48172, МПК 7 В 61 К 9/12. Индуктивный датчик фиксации факта прохода колеса / С.В. Плотников, В.И. Патерикин, В.М. Гуренко, **В.В. Сотников**, К.И. Кучинский, А.А. Гайсин. № 2005114047/22; Заявл. 06.05.2005; Оpubл. 27.09.2005, Бюл. № 27, 2 с.
8. Патент РФ № 2266226, МПК 7 В 61 К 9/12. Способ мониторинга параметров колесной пары и ее положения относительно рельсового пути / Ю.В. Чугуй, С.В. Плотников, В.И. Ладыгин, С.П. Юношев, К.И. Кучинский, **В.В. Сотников**, А.С. Одинокоев, В.А. Чижов. № 2003110062/11; Заявл. 09.04.2003; Оpubл. 20.12.2005, Бюл. № 35, 8 с.
9. Патент РФ № 2418264, МПК G 01 В 11/24. Способ измерения параметров колёс движущегося железнодорожного состава / О.П. Белоусова, П.Я. Белоусов, Ю.Н. Дубнищев, **В.В. Сотников**. № 2009148006/28; Заявл. 23.12.2009; Оpubл. 10.05.2011, Бюл. № 13, 13 с.
10. Байбаков А.Н., Гуренко В.М., Зинченко В.С., Константинова Е.А., Кучинский К.И., Плотников С.В., **Сотников В.В.**, Чугуй Ю.В. Оптико-электронный комплекс для контроля геометрических параметров дви-

- жущихся объектов // Оптические методы исследования потоков. Труды 7-й Международной научно-технической конференции. Москва, 2003, с. 462 – 465.
11. Baybakov A.N., Gurenko V.M., Yunoshev S.P., Plotnikov S.V., **Sotnikov V.V.**, Kacheev K.P. Comprehensive inspection of geometric parameters of running freight car wheel pairs // Proc. of the Sixth International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTII 2003), 28 November – 1 December, 2003. Hong, 2003, p. 73. [Комплекс для контроля геометрических параметров колесных пар грузовых вагонов в движении]
 12. Baybakov A., Gurenko V., Konstantinova E., Kuchinsky K., Plotnikov S., **Sotnikov V.** Using the triangulation measurement method for industrial inspection of dynamic objects // International Symposium on Photonics in Measurement, 23-24 June, 2004. Frankfurt, Germany, 2004, p. 189 – 197. [Использование триангуляционного метода для контроля динамических объектов]
 13. Baybakov A.N., Kascheev K.P., Koutchinski K.I., Ladygin V.I., Pastushenko A.I., Plotnikov S.V., **Sotnikov V.V.**, Tukubaev N.T., Yunoshev S.P., Zinchenko V.S. Optoelectronic system for a industrial dimensional inspection // 3-rd International Symposium on Instrumentation Science and Technology, 18-22 Aug, 2004. Xi'an, China, 2004, p. 2-1075 – 2-1081. [Опτικο-электронная система для промышленного размерного контроля]
 14. Байбаков А.Н., Гуренко В.М., Зинченко В.С., Константинова Е.А., Кучинский К.И., Ладыгин В.И., Пастушенко А.И., Патерикин В.И., Плотников С.В., **Сотников В.В.**, Юношев С.П. Системы размерного контроля для предприятий атомной промышленности и железнодорожного транспорта // Материалы VII Международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения» (АПЭП-2004), 21-24 сентября 2004. Т. 3. Новосибирск, 2004, с. 129 – 134.
 15. Кучинский К.И., Плотников С.В., **Сотников В.В.**, Чугуй Ю.В. 3D оптические измерительные технологии для промышленных применений // The 8-th International Symposium on Measurement and Quality Control in Production, October, 2004. Erlangen, Germany, 2004, p. 416 – 424.
 16. Baybakov A.N., Gurenko V.M., Plotnikov S.V., **Sotnikov V.V.** Using the Triangulation Measurement Methods for Diagnostics of Moving Objects in Industry // Труды VIII Международной конференции «Оптические методы исследования потоков». М., Изд-во МЭИ, 2005, с. 448 – 451. [Использование триангуляционного метода измерений для промышленного контроля движущихся объектов]
 17. Плотников С.В., Байбаков А.Н., Гуренко В.М., Патерикин В.И., **Сотников В.В.**, Юношев С.П., Чугуй Ю.В. Лазерный диагностический комплекс для контроля колесных пар вагонов на ходу поезда // Гео-Сибирь-

2005. Т. 6. Специализированное приборостроение, метрология. Сб. материалов научного конгресса, 25-29 апреля 2005. Новосибирск, СГГА, 2005, с. 64 – 70.
18. Baybakov A.N., Gurenko V.M., Yunoshev S.P., Plotnikov S.V., **Sotnikov V.V.**, Kascheev K.P. Comprehensive inspection of geometric parameters of running freight car wheel pairs // Measurement technology and intelligent instruments VI / Eds. Yongsheng Gao, Shuetfung Tse, Wei Gao. Switzerland, Trans. Tech. publications ltd, 2005, p. 349 – 354. [Комплекс для контроля геометрических параметров колесных пар грузовых вагонов в движении]
 19. Baybakov A.N., Gurenko V.M., Plotnikov S.V., **Sotnikov V.V.** High-speed triangulation method for industrial inspection of dynamic objects // Automation, control, and applications (ACIT 2005): Proc. of the Second IASTED International Multi-Conference (Novosibirsk, June 20-24, 2005). IASTED, 2005, p. 161 – 165. [Высокоскоростной триангуляционный метод для промышленного контроля динамических объектов]
 20. Baybakov A.N., Chugui Yu.V., Gurenko V.M., Kascheev K.P., Plotnikov S.V., **Sotnikov V.V.**, Yunoshev S.P. Comprehensive Laser Inspection of Geometrical Parameters of Running Freight Car Wheel Pairs // 6-th International Conference on Measurement, Smolenice, 20-24 May 2007. Slovakia, 2007, p. 318 – 321. [Комплекс для лазерного контроля геометрических параметров колесных пар грузовых вагонов в движении]
 21. Chugui Yu.V., Baybakov A.N., Gurenko V.M., Kascheev K.P., Plotnikov S.V., **Sotnikov V.V.**, Yunoshev S.P. Noncontact laser inspection of running freight car wheel pairs // ISMQC 2007 Proceedings of the 9-th International Symposium on Measurement and Quality Control, Indian Institute of Technology Madras, November 21-24, 2007. Chennai, India, 2007, p. 222 – 225. [Бесконтактный лазерный контроль движущихся колесных пар]
 22. Baybakov A.N., Kuchinsky K.I., Losev D.N., Paterikin V.I., Plotnikov S.V., **Sotnikov V.V.** Experience of development and operation of automated laser non-contact COMPLEXes for running freight car wheels monitoring // The 9-th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTII 2009), 29 June – 2 July, 2009. Saint-Petersburg, 2009, p. 4-082 – 4-086. [Опыт разработки и эксплуатации автоматизированных лазерных бесконтактных КОМПЛЕКСов для контроля колес грузовых вагонов]

Подписано к печати 27.03.2012.
Формат 60x84/16. Печать офсетная.
Печ. л. 1.2. Тираж 120. Заказ № 123.

ФГУП «Издательство СО РАН»,
630090, Новосибирск, Морской просп., 2.
Отпечатано в ФГУП «Издательство СО РАН».