

**А. Н. Байбаков, В. М. Гуренко, В. И. Патерикин, С. П. Юношев,
С. В. Плотников, В. В. Сотников, Ю. В. Чугуй**

(Новосибирск)

**АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР
ВО ВРЕМЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА**

Разработан и создан оптико-электронный комплекс для автоматического контроля геометрических параметров колесных пар вагонов во время движения поезда на базе результатов исследований в области систем промышленного размерного контроля. Приводится структура комплекса, обсуждаются режимы его работы. Представлены результаты приемочных испытаний комплекса, а также результаты опытной эксплуатации.

Введение. Технологии бесконтактного автоматического контроля геометрических параметров изделий получают все большее распространение в современной промышленности. Развитием таких технологий Конструкторско-технологический институт научного приборостроения (КТИ НП СО РАН) занимается уже более двадцати лет. Опыт внедрения созданных разработок в различных областях промышленности позволяет ставить и решать новые задачи. Решение одной из задач контроля представлено в данной работе.

Как известно, обеспечение безопасности движения поездов является одной из главных задач эксплуатации железных дорог. С увеличением скоростей движения рельсового транспорта и в связи с этим ускоренным износом подвижного состава все более актуальным становится объективный контроль его технического состояния. Отметим, что для повсеместно внедряемой системы технического обслуживания подвижного состава по фактическому состоянию требуется объективная и точная информация о степени износа всех элементов колесной пары.

Периодические осмотры колесных пар на пунктах технического обслуживания (ПТО) на железных дорогах требуют значительных временных затрат, что существенно увеличивает время нахождения подвижного состава в пути. Поэтому существует необходимость создания автоматизированной бесконтактной системы диагностики, позволяющей во время движения поезда измерять основные параметры колесных пар в реальном времени.

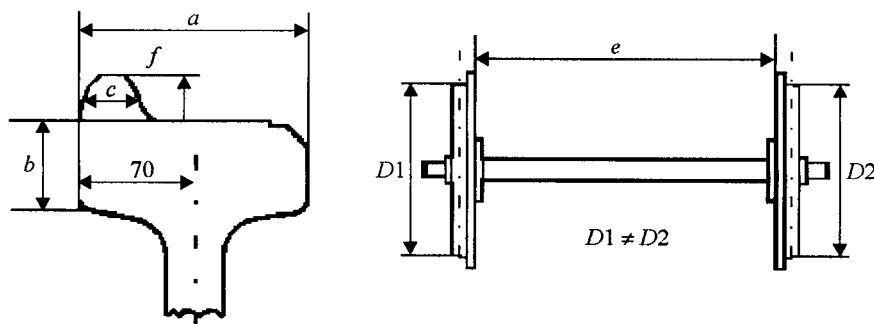


Рис. 1

Существуют устройства, обеспечивающие контроль геометрических параметров колес в депо [1], в условиях специализированных крытых полигонов [2], а также на перегоне при низкой скорости движения поезда в отсутствие атмосферных осадков [3]. Однако до настоящего времени не существовало устройств, обеспечивающих контроль геометрических параметров колесных пар во время движения поезда в реальных условиях постоянной эксплуатации.

Такая система должна измерять геометрические параметры поверхности катания, а также выявлять износ и дефекты цельнокатаных колес во время движения поезда, регистрировать неисправности колесных пар и оперативно передавать полученную информацию на ближайший пункт технического обслуживания. В том числе система должна контролировать следующие параметры колесных пар грузовых вагонов (рис. 1): ширину обода a ; толщину обода b (18–80 мм); толщину гребня c (20–33 мм); сумму толщин гребней на оси; диаметры по поверхности катания $D1, D2$ (844–964 мм); расстояние между внутренними гранями колес e (1437–1443 мм); равномерный прокат f (0–10 мм); разность диаметров колес в колесной паре $\Delta = D1 - D2$.

Измерение c погрешностью не более 0,5 мм необходимо производить при скоростях движения поезда 15–60 км/ч на перегоне при температуре окружающей среды от -50 до $+50$ °С и наличии запыленности и атмосферных осадков.

Для решения такой задачи в КТИ НП СО РАН разработан и создан автоматический комплекс для контроля геометрических параметров колесных пар вагонов на подходе к станции (далее «Комплекс»). В данной работе предложен метод самосканирования, положенный в основу технического решения «Комплекса» (разд. 1), приведены состав и структура «Комплекса» (разд. 2), обсуждаются технические характеристики и особенности работы ключевого элемента комплекса – лазерного дальномера (разд. 3), рассматривается программное обеспечение (разд. 4) и представлены результаты опытной эксплуатации (разд. 5).

1. Оптико-электронный способ контроля геометрии колесной пары на основе самосканирования. В основу технического решения создания «Комплекса» положен принцип самосканирования колесной пары (рис. 2, а) с использованием набора активных лазерных дальномеров (триангуляционного типа), когда каждое из колес параллельно и независимо сканируется двумя измерительными датчиками, установленными внутри и снаружи рельсового пути.

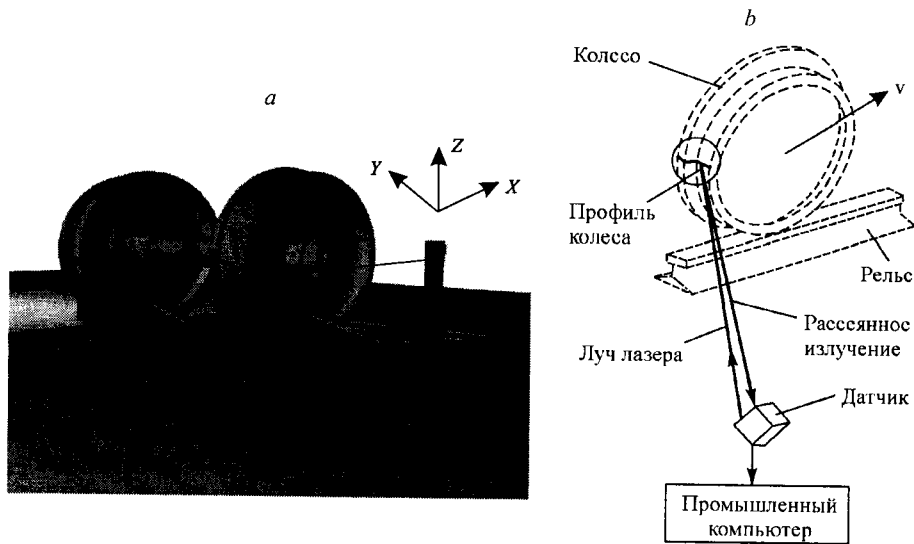


Рис. 2

Схема принципа действия системы контроля геометрических параметров колесных пар во время движения поезда представлена на рис. 2, *b*. На поверхности колеса, движущегося по рельсам, фокусируется излучение лазерного диода измерительного датчика. Рассеянное излучение собирается апертурой приемного объектива, который формирует изображение освещенного участка поверхности на позиционно-чувствительном фотоприемнике. Сигнал от позиционно-чувствительного приемника фиксируется и обрабатывается промышленным компьютером.

При движении колесной пары каждый из датчиков измеряет текущее расстояние до поверхности колеса (вдоль заданного направления измерения). В итоге формируются сигналы, отражающие текущий профиль колесной пары в некотором сечении, угол и высота которого определяются направлениями измерений датчиков. На рис. 3 приведены типичные профили сечений колеса для наружного (*a*) и внутреннего (*b*) датчиков.

Данные сечения соответствуют сечениям колесной пары плоскостями под некоторыми известными углами к горизонтальной плоскости. Далее эти

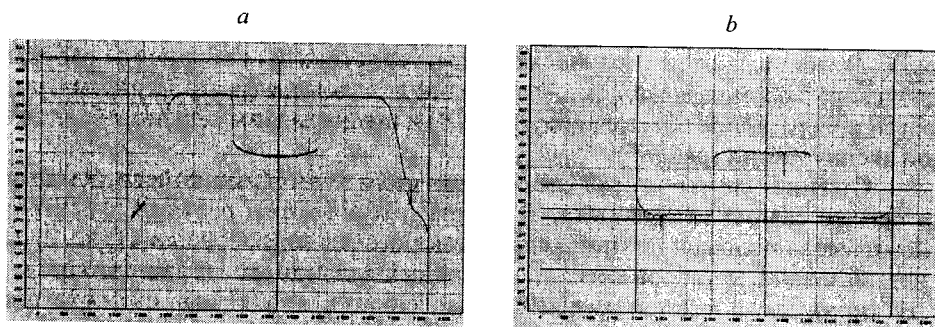


Рис. 3

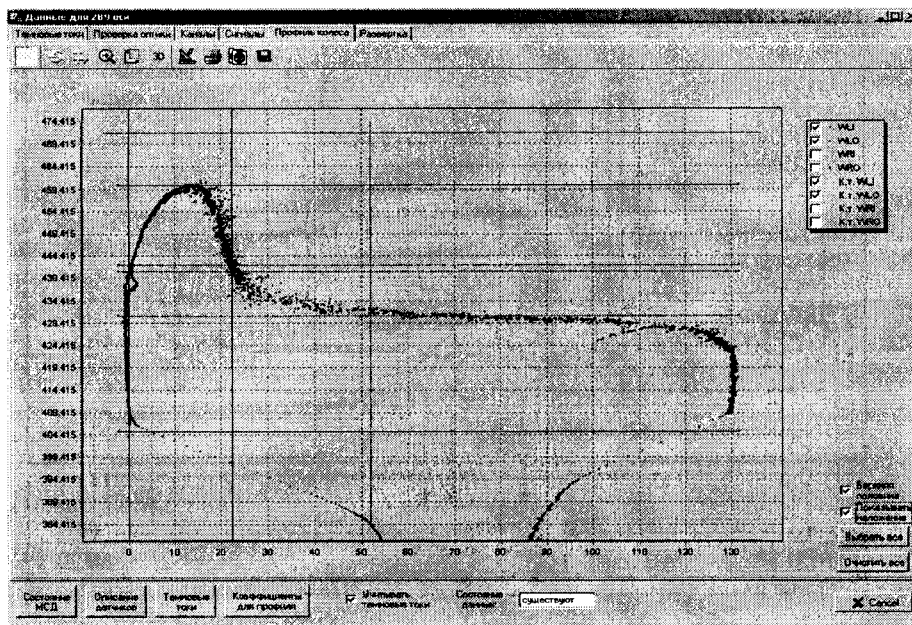


Рис. 4

сечения пересчитываются в общую (глобальную) ортогональную систему отсчета, в которой ось X направлена вдоль оси пути, ось Y – поперек оси пути, ось Z – вертикально вверх. Затем, имея координаты точек на поверхности колеса в глобальной системе координат и используя дополнительные параметры взаимного расположения датчиков, полученные при калибровке «Комплекса», рассчитываются координаты точек в системе отсчета колеса. Таким образом восстанавливается поперечное сечение (разрез) колесной пары. Типичный профиль восстановленного поперечного сечения приведен на рис. 4. По восстановленному профилю вычисляются требуемые геометрические параметры, при этом алгоритм расчета параметров повторяет методику их измерения при помощи стандартного контактного инструмента.

2. Структура и состав «Комплекса». Одной из основных задач при разработке «Комплекса» является обеспечение живучести оборудования и программного обеспечения в условиях высокой вероятности возникновения различного рода помех от железнодорожных тяговых и информационных сетей. Предусмотрена возможность самодиагностики и самовосстановления программно-аппаратного комплекса при любых внешних воздействиях, начиная от сбоя системы передачи информации и кончая отключением электропитания. Таким образом, требовалось разработать и создать автономно работающее малообслуживаемое оборудование для жестких внешних условий.

Для реализации данной задачи разработаны структура и состав «Комплекса», представленные функциональной схемой (рис. 5) и включающие в себя напольное, постовое оборудование и автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора безопасности ПТО.

Напольное оборудование «Комплекса» смонтировано на железнодорожном пути на общей раме и включает в себя колесные наружные датчики 1,

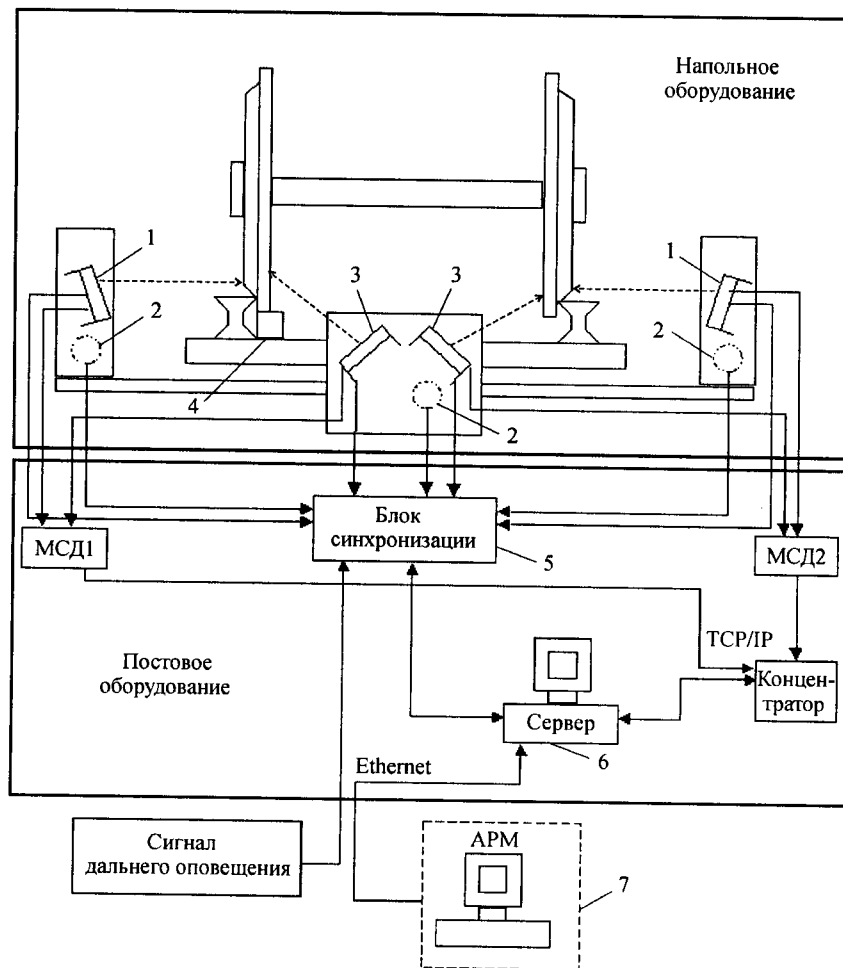


Рис. 5

датчики температуры 2, колесные внутренние датчики 3, датчики синхронизации (магнитные педали) 4.

Постовое оборудование «Комплекса», устанавливаемое в отапливаемом помещении вблизи напольного оборудования, состоит из блока управления и синхронизации 5, двух независимых модулей сбора данных (МСД) и сервера 6.

Управление работой «Комплекса» осуществляется блоком управления и синхронизации, который принимает сигнал о приближении поезда (дальнее оповещение) от средств автоматики железной дороги и выдает сигнал серверу на подготовку к измерениям (тестированию измерительных датчиков и аппаратуры в целом). Далее прохождение колесных пар по зоне контроля фиксируется при помощи магнитных педалей, формирующих импульсы начала («Старт») и конца измерений («Стоп») для данной колесной пары. По сигналу «Старт» МСД начинают фиксировать данные с датчиков и запоминать их в буфере до сигнала «Стоп». После прохода поезда блок управления и

синхронизации формирует сигнал «Конец поезда». Получив данный сигнал, сервер переводит измерительные датчики в режим ожидания и принимает от модулей сбора данных накопленные блоки информации.

Такая структура взаимодействия обеспечивает работу МСД в режиме «жесткого» реального времени, определяемого движением поезда. При каких-либо сбоях во время приема данных от датчиков, относящихся к текущему колесу, необходимо отметить полученные данные как недостоверные и быть готовыми (через 30–50 мс) к приему данных от датчиков, относящихся к следующему колесу.

Сервер работает в режиме «мягкого» реального времени, когда допустимая скорость реакции на события составляет единицы секунд. Он производит прием данных от МСД через внутреннюю сеть с протоколом ТСР/ІР, обработку этих данных и хранение результатов измерений параметров колесных пар, а также передачу тревожных сообщений на АРМ оператора безопасности 7 через единую железнодорожную сеть.

Автоматизированное рабочее место оператора безопасности создается на базе ПЭВМ. На АРМ от сервера поступают результаты измерений, отображаются результаты контроля в удобном для оператора виде, а также данные статистики. Кроме того, АРМ обеспечивает оперативный контроль состояния измерительного устройства и оперативное изменение параметров его настройки (при отладке работы системы).

Автоматический режим позволяет передавать тревожные сообщения (на монитор и принтер) о зарегистрированных дефектных осях с указанием номера поезда, порядкового и инвентарного номеров вагона и порядкового номера оси в вагоне. Диалоговое окно АРМ оператора безопасности приведено на рис. 6.

Допустимые задержки при передаче информации на АРМ составляют единицы минут, поскольку диагностическое оборудование расположено на расстоянии 3–5 км от парка прибытия поезда.

3. Оптико-электронные измерительные датчики. Для реализации предложенного принципа измерения параметров колесных пар необходимы дальнометры, удовлетворяющие жестким требованиям, именно они должны обеспечивать измерение расстояния до движущейся поверхности с различными рассеивающими свойствами. Погрешность измерения должна быть порядка 0,1 % и ниже, не допускается зависимость погрешности от типа поверхности. Быстродействие не менее 10^5 измер./с. Измерения должны производиться в условиях сильных внешних помех и фоновых засветок как постоянных, так и переменных.

Из-за отсутствия серийно выпускаемых датчиков с подобными характеристиками в рамках реализации проекта в качестве дальнометров были разработаны, изготовлены и протестированы лазерные датчики положения (ЛДП) триангуляционного типа (рис. 7).

Созданный датчик ЛДП-170/410 серии Лабракон® (рис. 8) имеет двухканальный аналоговый выход (0–10 В), подключенный к входу платы АЦП модуля сбора данных. Аналоговые сигналы первого и второго каналов преобразуются в цифровой код. По отношению разности сигналов двух каналов АЦП к их сумме с помощью калибровочной таблицы определяется координата контролируемой поверхности, которая используется далее для построения профиля колеса и расчета его геометрических параметров.

Центр управления поставками контроля колес

Обзорить | Флажки | Проверить | Печать | Копировать | Настройки | Выход | 11:08:09

Исходной | Статистика

Информация о поезде

Время заявки: 27/02/2003 8:20:30
 Время сбора: 27/02/2003 8:24:23
 № поезда: 2609 8630 069 8500
 № локомотива: 81
 Вагоны:
 Осей: 276 из 276
 Идентификатор: 1046334030
 Начало: 27/02/2003 8:21:24
 Окончание: 27/02/2003 8:23:08

Информация о вагонах

Номер с головы: 35
 Номер с хвоста: 35
 Паспортный номер: 67525014
 Тип: ПВ
 Количество осей: 4

Информация об осях

Отображать только дефектные оси:
 Всего дефектных осей в статистике по осям, выбранным параметрам: 39
 Не обработанных осей: 0

Изображение поезда

№ вагона	№ оси	Скорость кол/час	Диаметр обода мм	Диаметр протектора мм	Толщина обода мм	Толщина протектора мм	Ширина обода мм	Ширина протектора мм	Толщина гребня обода мм	Толщина гребня протектора мм	Расстояние между внутренними поверхностями конусной пары мм
32	2	34.0	880.0	878.5	35.0	34.2	131.7	131.2	27.4	23.6	1440.3
32	3	34.0	877.1	877.6	33.6	33.8	131.6	130.6	24.8	24.2	1441.7
32	4	34.0	876.4	875.2	33.2	32.6	131.0	131.3	27.6	27.8	1441.6
33	1	34.0	874.1	872.9	32.1	31.4	130.3	129.4	25.7	27.8	1442.5
33	2	34.1	858.4	855.9	24.2	22.9	131.9	131.3	23.5	27.3	1441.9
33	3	34.0	854.7	860.8	22.4	25.4	131.6	130.5	26.1	26.7	1441.1
33	4	34.0	867.1	863.4	28.5	26.7	130.1	131.3	24.0	31.8	1442.7
34	1	34.1	928.4	931.9	59.2	60.9	132.3	131.5	24.8	30.9	1440.4
34	2	34.1	929.8	931.6	59.9	60.8	132.0	131.2	27.1	29.8	1441.5
34	3	34.1	914.6	927.7	52.3	58.8	130.3	131.0	22.5	27.4	1441.4
34	4	34.1	921.7	923.5	55.8	56.7	131.8	131.9	26.1	27.9	1440.2
35	1	34.1	894.7	889.8	42.4	39.9	131.2	131.0	23.5	22.7	1441.5
35	2	34.1	908.4	907.6	48.2	48.8	131.5	129.6	23.1	24.4	1441.9
35	3	34.1	908.7	905.8	49.4	47.9	132.0	130.8	28.0	25.8	1440.6
36	1	34.2	965.3	962.6	77.7	76.3	132.6	130.4	29.8	28.4	1441.2
36	2	34.2	964.0	965.1	77.0	77.6	132.6	131.7	26.9	27.6	1442.3
36	3	34.2	967.9	965.1	78.9	77.6	132.1	132.2	30.9	27.1	1441.9
36	4	34.2	966.0	958.4	78.0	74.2	131.9	132.3	30.4	24.7	1439.5
37	1	34.2	897.2	893.6	43.6	41.8	130.8	130.5	27.8	27.3	1442.3
37	2	34.2	881.7	876.2	35.9	33.1	129.8	130.8	25.9	26.3	1442.4

Рис. 6

Датчики установлены в закрепленные на жесткой раме термостабилизированные корпуса. Внутри корпуса поддерживается постоянная температура 49–51 °С. Корпус имеет шторки для защиты оптических каналов, которые также используются при самотестировании датчиков.

Датчики прошли полный цикл государственных испытаний, внесены в Государственный реестр средств измерения. Собственная погрешность датчиков в диапазоне измерения до 200 мм не превышает 0,2 мм. Быстродействие датчика достигает 500000 измер./с.

4. Программное обеспечение «Комплекса». Ключевая роль в программном обеспечении (ПО) «Комплекса» принадлежит ПО модулей сбора данных, на которое накладываются жесткие ограничения реального времени. Это вызвано необходимостью обработки многоканальной аналоговой информации, поступающей от фотоприемников ЛДП. МСД собран на базе комплекта плат в стандарте MicroPC с использованием платы параллельного АЦП, реализующей одновременную оцифровку сигналов без мультиплексирования.

ПО сервера реализует сбор результатов измерений ЛДП и их совместную обработку, формирование итоговых результатов и их передачу на АРМ оператора безопасности.

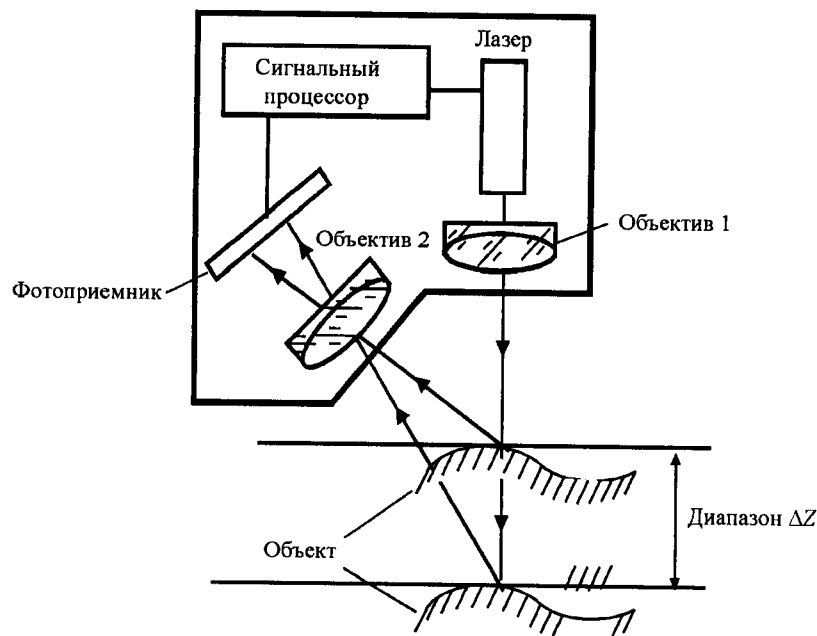


Рис. 7

Программное обеспечение АРМ оператора безопасности осуществляет накопление в базе данных оперативной информации об измеренных значениях геометрических параметров колесной пары с указанием времени измерения и порядкового номера оси в поезде. Кроме того, после запроса и получения данных от АСУ ПТО в эту же базу данных помещается информация о номере поезда, количестве осей в локомотиве и вагонах, номерах вагонов и т. д.

Программное обеспечение предусматривает возможность тестирования отдельных блоков и целого «Комплекса», а также настройку процесса контроля, позволяя включать или отключать отдельные процедуры. Встроенные процедуры калибровки и поверки (тестирования) «Комплекса» выполняются в автоматическом режиме.

5. Результаты испытаний и опытной эксплуатации «Комплекса». Первый экспериментальный образец «Комплекса», осуществляющий контроль геометрических параметров, с 06.05.2002 г. находится в непрерывной

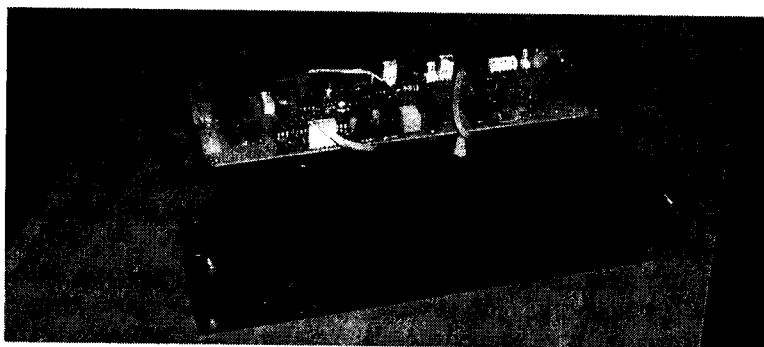


Рис. 8



Рис. 9

эксплуатации на 32-м километре нечетного подхода станции Инская (рис. 9). За время эксплуатации «Комплекс» показал надежную работу в различных погодных условиях.

Экспериментальные исследования точности и достоверности контроля проведены путем сравнения результатов автоматических измерений «Комплексом» и ручных замеров традиционным контактным способом колесных пар неподвижного поезда на ПТО. Многократные сравнительные замеры подтверждают высокую стабильность и точность автоматических замеров в диапазоне скоростей движения поездов на участке контроля до 60 км/ч.

Проведенные измерения позволили оценить достоверность работы «Комплекса». За первые месяцы работы подтверждение тревожных показаний по различным параметрам составило 50–80 %. В процессе доработки напольной аппаратуры и программного обеспечения этот показатель был улучшен до 65–92 %.

В настоящее время в эксплуатации находится пять «Комплексов»: по два на станциях Инская и Входная (Западно-Сибирская железная дорога) и один на экспериментальном кольце Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта.

За время эксплуатации (в течение полутора лет) проконтролировано более 24 миллионов колес, сформировано более 300 тысяч тревожных сообщений, отцепка вагонов по геометрическим параметрам колесных пар увеличилась более чем в 8 раз.

На базе установленных на станции Инская «Комплексов» проведен полный цикл государственных испытаний в целях утверждения типа средств измерения и внесения «Комплекса» в Государственный реестр средств измерения. По результатам испытаний получен сертификат типа средства измерения.

Тиражирование «Комплекса» и установка его по пути следования поезда позволит составить кратко- или долгосрочный прогнозы поведения контролируемых параметров, определить остаточный срок эксплуатации каждой колесной пары и планировать мероприятия по их ремонту. Использование «Комплекса» способствует повышению безопасности движения железнодорожного транспорта и снижению затрат на эксплуатацию подвижного состава.

Заключение. Предложенный способ контроля геометрических параметров колесных пар во время движения поезда на основе самосканирования и использование для его реализации триангуляционного метода, адаптированного для контроля движущихся объектов, позволили создать автоматический оптико-электронный «Комплекс» контроля колесных пар подвижного состава.

Такой «Комплекс» позволяет автоматически контролировать толщину обода и гребня, диаметр колес и другие параметры поперечного профиля колесной пары при скоростях движения до 60 км/ч в жестких климатических условиях (от -50 до $+50$ °С), что в полной мере отвечает требованиям эксплуатации. Результаты испытаний подтвердили надежную работу «Комплекса» в различных условиях окружающей среды и высокую достоверность контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Автоматическая** диагностика колесных пар с помощью системы ARGUS // ЖДМ. 2001. № 12.
2. **Оценка** систем измерения колес // ЖДМ. 2003. № 11.
3. **Венедиктов А. З., Демкин В. Н., Доков Д. С.** Измерение параметров колесных пар подвижного состава в движении // ЖДМ. 2003. № 9.

*Конструкторско-технологический институт
научного приборостроения СО РАН,
E-mail: splot@tdisie.nsc.ru*

*Поступила в редакцию
29 июля 2004 г.*