

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
КОЛЕСНЫХ ПАР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Аннотация. Рассмотрены принципы функционирования разработанной авторским коллективом автоматической измерительной системы для контроля геометрических параметров колесных пар железнодорожного подвижного состава, приведено описание разработки и аппаратной реализации приборов, интегрируемых в ее состав.

Ключевые слова: подвижной состав, колесная пара, параметры, прибор, измерительная система, программный комплекс.

Abstract. The article considers the functioning principles of an automatic measuring system developed by the authors to control geometric parameters of wheel pairs of railway rolling stock. The study describes the processes of development and hardware realization of the devices integrated into the system's structure.

Key words: rolling stock, wheel pair, parameters, device, measuring system, program complex.

Отсутствие резерва пропускной способности диктует повышенные требования к надежности и безопасности движения поездов. Для удовлетворения этих требований необходим переход к эксплуатации и техническому обслуживанию железнодорожного подвижного состава по данным безразборного контроля самых важных параметров, определяющих действительное техническое состояние узлов [1]. В этом случае техническое диагностирование проводится на основе внедрения автоматизированных систем. Практически все автоматизированные системы железнодорожного транспорта входят в состав комплексной автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ) [2].

В настоящее время на сети дорог России внедряется комплекс многоцелевых информационных технологий, обеспечивающих мониторинг технического состояния ходовых частей подвижного состава [3]. Специалистами давно доказано, что необходимо отслеживать нагруженность ходовых частей подвижного состава, прогнозировать развитие неисправностей в привязке к местам с повышенной опасностью для движения [4, 5].

Для создания эффективной системы мониторинга нужны: достоверная база данных о профиле и состоянии пути; базы данных по условиям пропуска грузовых поездов, тяговой нагруженности локомотивов, состоянию ходовых частей. Особую базу составят результаты мониторинга состояния колесных пар подвижного состава с применением систем обратной связи в масштабе реального времени [3].

В рамках комплексной автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом в Уральском государственном университете путей сообщения на кафедре электрической тяги создана автоматическая измерительная система для контроля геометрических параметров колесных пар железнодорожного подвижного состава, схема которой представлена на рис. 1.

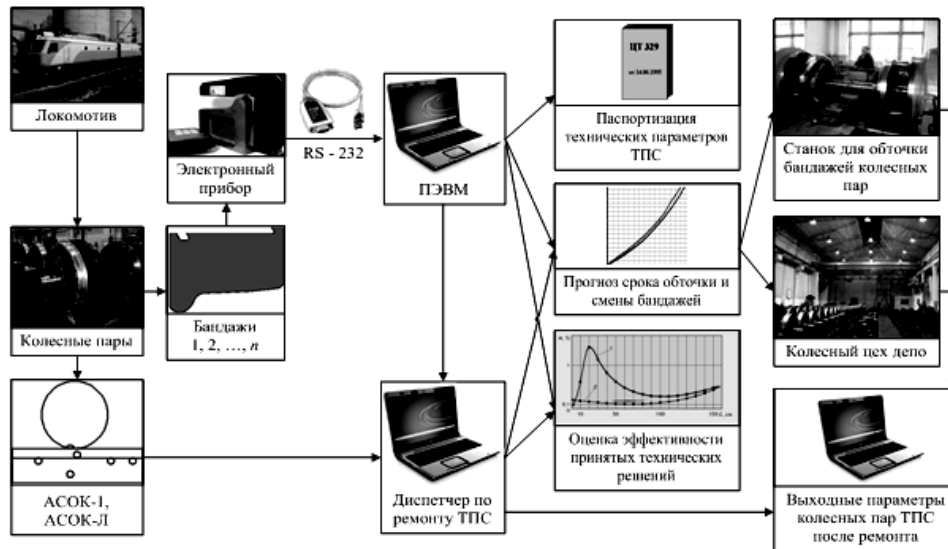


Рис. 1. Автоматическая измерительная система для контроля геометрических параметров колесных пар железнодорожного подвижного состава

Автоматическая измерительная система, объединяющая разработанные авторами приборы и автоматическую систему обмера колес при движении, предназначена для оперативного высокоточного контроля основных параметров колесных пар подвижного состава: диаметра по кругу катания, разности диаметров, толщины гребня, проката, параметра крутизны гребня, расстояния между внутренними гранями колес, параллельности осей колесных пар в тележках и др., а также для ведения паспорта колесных пар и прогнозирования их ресурса до обточки и смены. В систему входят электронные автоматизированные переносные приборы КИП (комплексный измеритель параметров) и ИД (измеритель диаметра). В состав обоих приборов входят вычислитель и измерительная скоба с установленными на ней двумя резистивными датчиками [6]. Вычислитель выполнен на базе микропроцессора фирмы Intel 80C51, с помощью которого осуществляется измерение, обработка и индикация параметров непосредственно на месте проведения замеров. Блок питания представляет собой аккумулятор или обычную батарею типа «Крона», расположенную в корпусе вычислителя. Включение питания производится выключателем, расположенным на корпусе вычислительного блока. В качестве функциональной клавиатуры использованы микрокнопки типа ПКН-159-3. Все измеренные параметры хранятся в энергонезависимой памяти прибора в течение одной или нескольких рабочих смен, их можно оперативно просмотреть на блоке индикации. Объем оперативной памяти микропроцессорного блока – 32 килобайта. Кроме того, в состав измерительной системы входит автоматическая система обмера колес при движении подвижного состава АСОК-1 (АСОК-Л) [7, 8]. Алгоритм измерения параметров прибором КИП представлен на рис. 2, а функциональная схема измерителя приборов КИП и ИД – на рис. 3.

Технические характеристики прибора КИП (рис. 4):

- диапазон измерения проката – 0–8 мм;
- диапазон измерения толщины гребня – 22–34 мм;

- диапазон измерения параметра крутизны гребня – 0–20 мм;
- диапазон измерения диаметра колеса – 910–1310 мм;
- погрешность измерения проката и толщины гребня – $\pm 0,2$ мм;
- погрешность измерения крутизны гребня – $\pm 0,1$ мм;
- дискретность индикации параметров – 0,01 мм;
- время измерения – не более 0,5 с.

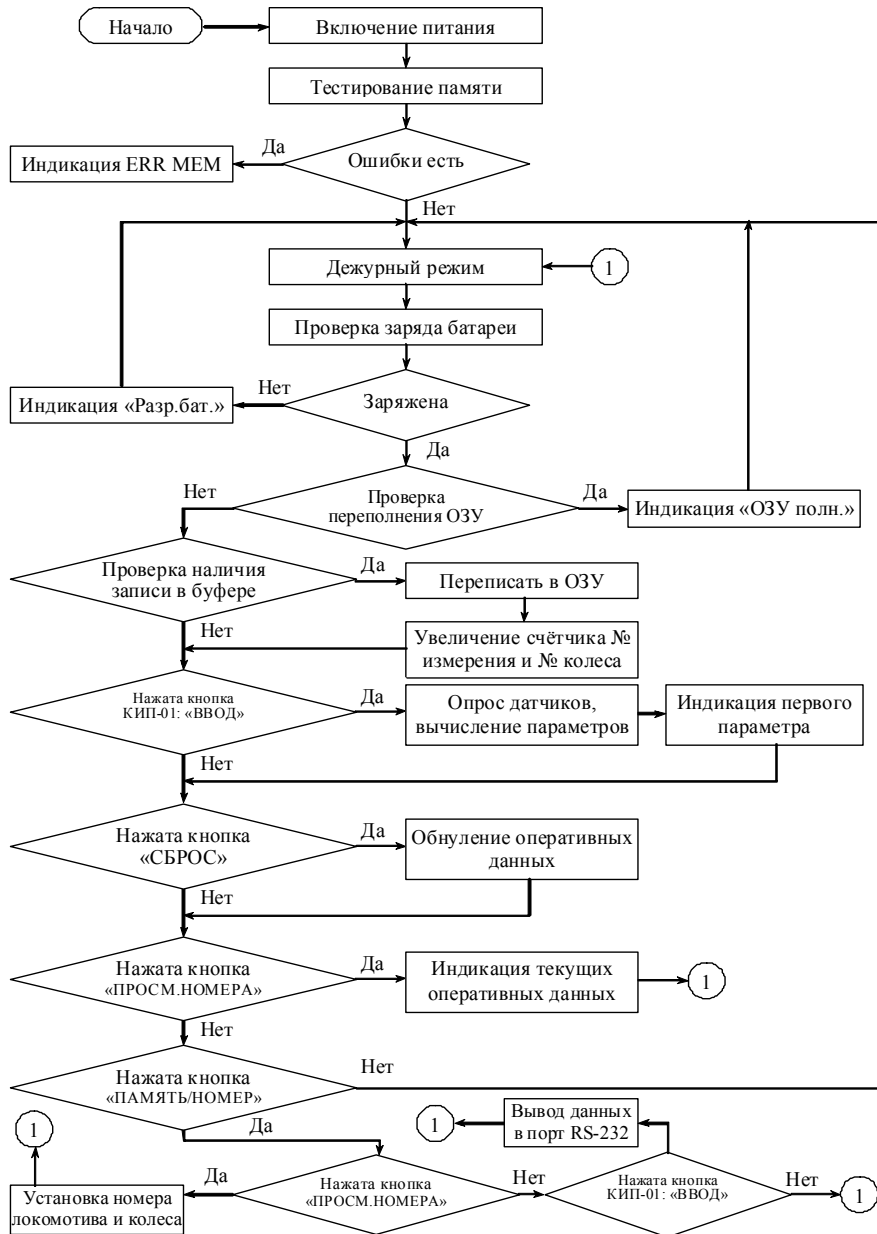


Рис. 2. Алгоритм измерения параметров прибором КИП

Напряжение, снимаемое с датчиков прибора КИП, преобразуется восьмиразрядными АЦП для каждого датчика отдельно и передается по шине данных в ответ на запрос центрального процессора. Измерение параметров

конфигурации профиля гребня выполняется с учетом номинального значения высоты гребня (30 мм). Величина проката определяется как разница между измеренной высотой гребня и ее номиналом. Толщина гребня определяется прямым измерением на уровне 20 мм от вершины гребня при номинальной высоте гребня 30 мм и измерением на уровне 18 мм при номинальной высоте гребня 28 мм [9]. Датчик измерения высоты гребня и проката должен располагаться на расстоянии 70 мм от торца обода колеса (рис. 5).

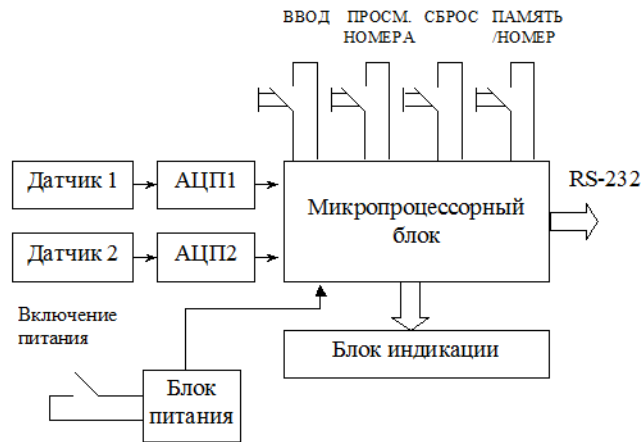


Рис. 3. Функциональная схема измерителя приборов



Рис. 4. Комплексный измеритель параметров КИП

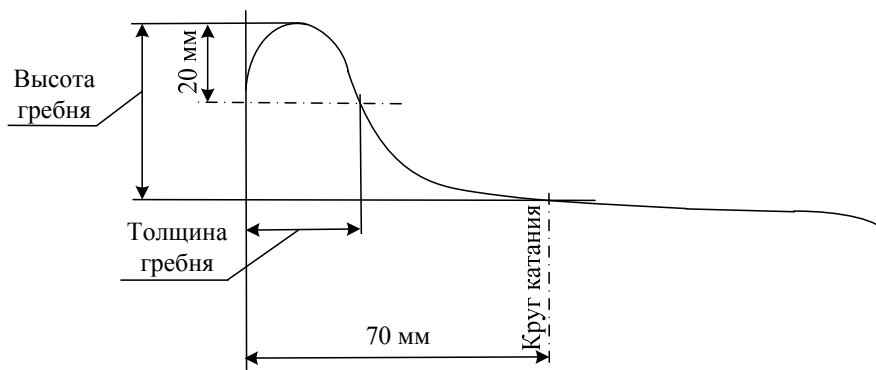


Рис. 5. Измерение параметров колесных пар

Толщина гребня в этом варианте вычисляется следующим образом:

$$T_{гр} = X - y \cdot \sin \alpha, \quad (1)$$

где y – длина измерительного крюка.

При использовании для измерения толщины гребня датчика с измерительным крюком за базовые размеры можно принять приведенные ниже величины (рис. 6).

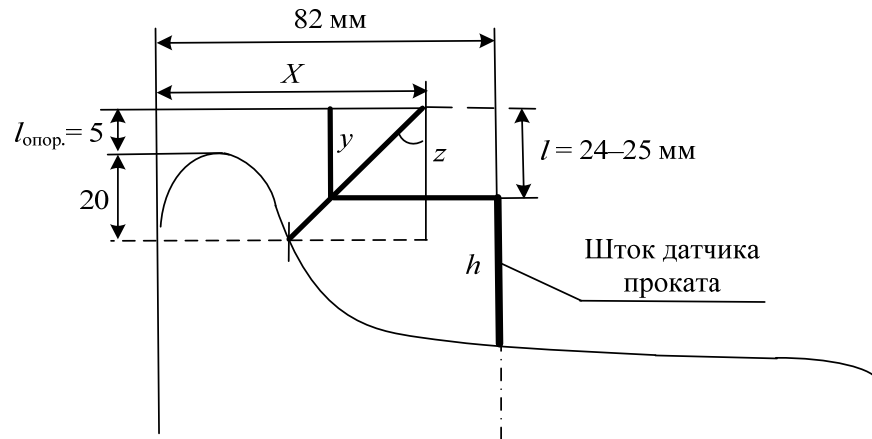


Рис. 6. Базовые размеры при производстве измерений

Величина проката вычисляется как

$$T_{пр} = (l - l_{\text{опор}}) + h - 30. \quad (2)$$

Технические характеристики прибора ИД (рис. 7):

- диапазон измерения диаметра колеса – 910–1310 мм;
- погрешность измерения диаметра колеса – не более $\pm 0,3$ мм;
- потребляемая мощность – 0,5 Вт;
- дискретность индикации параметров – $\pm 0,01$ мм;
- время измерения – не более 0,5 с.

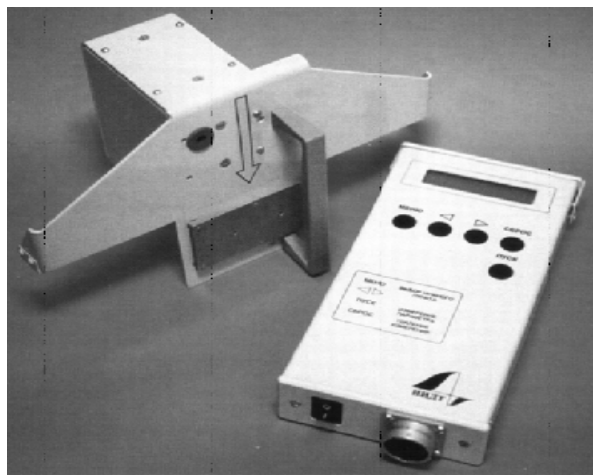


Рис. 7. Измеритель диаметров ИД

Принцип измерения диаметра колесных пар основан на определении величины стрелы сегмента, образуемого при установке измерительной скобы на колесо [10]. В отличие от имеющихся аналогов, у которых измерительная скоба и сами датчики измерения устанавливаются прямо на круг катания колеса, в разработанном приборе скоба и один из датчиков устанавливаются на гребень колеса. В разработанном приборе установлен второй датчик для измерения высоты гребня. Такая конструкция позволила минимизировать влияние углового смещения измерительной скобы относительно торца колеса на результат измерения [11]. Диаметр колеса вычисляется как

$$D = (a^2 + 4h^2) / 4 \cdot h - 2H_{гр}, \quad (3)$$

где $H_{гр}$ – высота гребня, измеренная на расстоянии 82 мм от внутренней грани колеса; h – стрела сегмента; a – расстояние между базовыми опорами измерительной скобы.

При разработке прибора ИД было учтено, что на точность измерения влияет люфт хода датчика. Уменьшение влияния можно осуществить технологически [12].

Выражение для определения ошибки измерения диаметра при люфте датчика Δh имеет вид

$$\Delta D = (1 - a^2 / 4 \cdot h^2) \cdot \Delta h. \quad (4)$$

Поскольку диаметры колесных пар могут варьировать в пределах от 910 до 1310 мм, то был сделан вывод о том, что при изготовлении прибора необходимо обеспечить продольный люфт датчика для измерения (h) не более 0,01 мм при базе ИД $a = 350$ мм. Кроме того, при разработке прибора было учтено, что на точность измерения влияют отклонения размеров между базовыми опорами измерительной скобы (a). Выражение для этого параметра имеет вид

$$\Delta D = (2a / 4 \cdot h) \cdot \Delta a. \quad (5)$$

Аналогично был сделан вывод о том, что точность выдерживания параметра a не должна быть хуже $\pm 0,01$ мм. Было учтено влияние смещения одной из опор относительно торца колеса на ошибку измерения диаметра [13]. Выражения для оценки этих погрешностей выглядят следующим образом:

– оценка погрешности измерения высоты гребня:

$$\Delta H_{гр} = (\Delta X / 2) \operatorname{tg} \beta; \quad (6)$$

– оценка ошибки измерения диаметра:

$$\Delta D = 2\Delta H_{гр} = \Delta X \operatorname{tg} \beta, \quad (7)$$

где β – угол наклона поверхности катания колесной пары (коничность) в точке измерения проката, $\beta = 1^\circ 25' 56''$ (по ГОСТ 11018–2000); ΔX – смещение одной из опор относительно другой, мм.

Был сделан вывод о том, что ошибку можно уменьшить, если шток датчика измерения диаметра по гребню колеса будет иметь наконечник, диаметром не менее 20 мм. Вследствие использования наконечника смещение одной из опор измерительной скобы относительно торца колеса не оказывает влия-

ние на измерение диаметра по гребню. Можно оценить погрешность, вносимую самим резистивным датчиком и ее влияние на суммарную ошибку измерения прибора. Погрешность датчика имеет следующий вид:

$$\Delta D = \Delta R / R, \quad (8)$$

где ΔR – чувствительность датчика, равная 16,6 Ом; R – полное сопротивление датчика, равное 10 кОм.

Суммарная погрешность будет равна

$$\Delta D_{\Sigma} = \Delta D \cdot (\Delta R / R). \quad (9)$$

Если использовать резистивный датчик не полностью, то увеличивается коэффициент вносимой погрешности. Поэтому для уменьшения суммарной погрешности было принято решение использовать полный оборот резистивного датчика.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что точность изготовления, сборки и настройки разработанных приборов существенным образом влияют на точность измерения контролируемых параметров.

Система АСОК-1 (АСОК-Л) предназначена для автоматического оперативного контроля параметров колесных пар (параметры гребня, диаметр колеса, наличие и размеры ползуна, непараллельность колесных пар тележек и др.). Система обеспечивает измерение параметров колесных пар при движении поезда со скоростью до 50 км/ч. При использовании системы АСОК оператор, имея оперативные данные о колесных парах, может с помощью своевременного ремонта продлить их ресурс и снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций [14].

Важной частью разработанной измерительной системы контроля параметров колесных пар локомотивов является программный комплекс «АРМ «Депо». Программы, входящие в комплекс, позволяют создавать базу данных электронных паспортов колесных пар индивидуально для каждого локомотива, определять степень износа и прогнозировать изменение геометрических параметров колесных пар в зависимости от наработки, отслеживать динамику износа бандажей.

В информационной базе измерительной системы осуществляется прогнозирование дальнейшего изменения износа колес и формирование протоколов, стратегические прогнозы по всему парку локомотивов. Программный комплекс удобен для работы с базой данных электронных паспортов колесных пар, он максимально автоматизирует и ускоряет работу техотдела. Информация в базу данных поступает с электронных переносных приборов и (или) с автоматических систем обмера колесных пар, относительная погрешность которых не превышает 2–5 % [8, 15].

Окно программного комплекса «АРМ «Депо» «Параметры колесных пар» показано на рис. 8.

Журнал замеров состоит из двух связанных таблиц и панели выбора серии и номера локомотива. Верхняя таблица отображает все произведенные замеры выбранного локомотива по датам, нижняя таблица – замеренные данные.

На рис. 9 представлено окно «Графики параметров» АРМ «Депо».

Графики, которые может строить программный комплекс АРМ «Депо»: количества обточек и перекаток по месяцам; среднего износа гребня по месяцам; динамики изменения параметров колеса. Построение графика осуществ-

ляется через меню «Графики» – «Динамика изменения параметров», при этом в журнале замеров должен быть выбран необходимый локомотив.

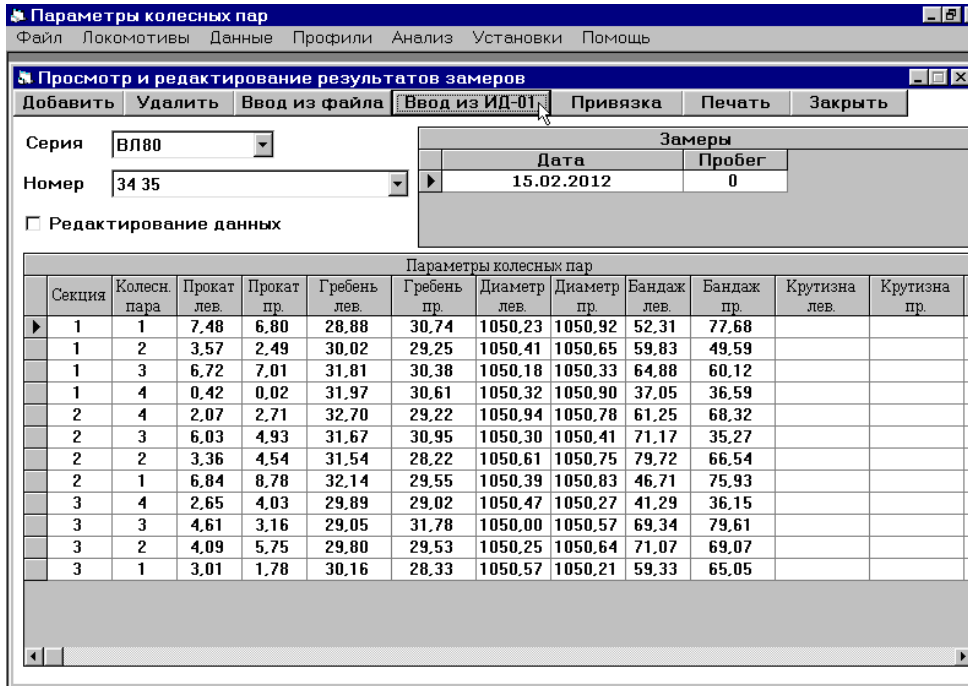


Рис. 8. Окно «Параметры колесных пар»

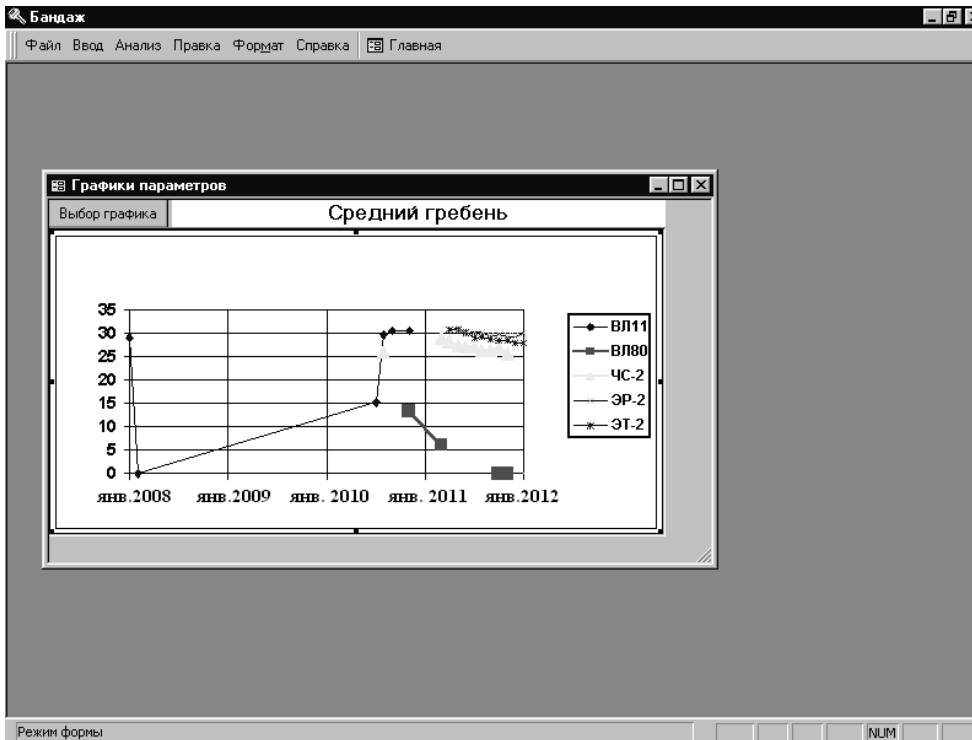


Рис. 9. Окно «Графики параметров»

Программный комплекс позволяет прогнозировать геометрические параметры колесных пар, максимально автоматизирует и ускоряет работу отдела с базами данных колесных пар локомотивов.

Программный комплекс обрабатывает первичную локационную информацию для каждого бандажа колесной пары, поступающую из измерительных блоков приборов; систематизирует информационный поток; осуществляет вычисление геометрических параметров бандажей колесных пар на основе анализа первичной априорной информации; формирует файл отчета о результатах вычислений отдельно по каждому бандажу колесной пары, локомотиву или парку ТПС с фиксацией всех параметров; диагностирует собственную аппаратную часть контрольно-измерительных приборов.

Кроме этого, программный комплекс через устройство аварийного предупреждения о выходах контролируемых параметров колесных пар за пределы допуска подает соответствующие сигналы в подсистемы измерения, а также формирует базу текущих данных обследования колесных пар для последующего использования при обработке и прогнозирования их ресурса. Программный комплекс работает под управлением систем Microsoft Windows 98 Second Edition, Windows NT 4.0, Windows 7 в среде Microsoft Access пакета Microsoft Office Professional. Имеется поддержка работы в сети нескольких программных комплексов с одной базой данных, для чего выделяется файл-сервер.

Программный комплекс измерительной системы отвечает международным требованиям RFC1697, RFC1123 и RFC1095 на сетевые клиент-серверы приложения и системы управления базами данных.

Информация с измерительной системы о ремонте или обточке колесных пар принимается либо диспетчером по ремонту, либо эта информация автоматически через ПЭВМ с установленным программным комплексом передается непосредственно на станок с ЧПУ или колесный цех локомотивного депо.

Таким образом, разработанная в Уральском государственном университете путей сообщения автоматическая измерительная система для контроля геометрических параметров с использованием приборов КИП и ИД, автоматической системы обмера колес при движении локомотива АСОК-Л и программного комплекса позволяет на самом высоком уровне производить мониторинг состояния колесных пар локомотивов, прогнозировать сроки обточки и ремонта бандажей, направлять колесные пары либо на станок для обточки, либо в колесный цех депо, производить оценку принятых технических решений по снижению интенсивного износа колесных пар локомотивов и повышению их ресурса.

Список литературы

1. **Буйносов, А. П.** Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации / А. П. Буйносов, И. М. Пышный, В. А. Тихонов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – Т. 60, № 1. – С. 85–91.
2. **Наговицын, В. С.** Измерение параметров колесных пар локомотивов. Автоматизированная система : моногр. / В. С. Наговицын, А. П. Буйносов, В. Л. Балдин. – Саарбрюккен (Германия) : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 244 с.
3. **Балдин, В. Л.** Автоматическая система мониторинга состояния бандажей колесных пар тягового подвижного состава / В. Л. Балдин, А. П. Буйносов // Вестник ВЭЛНИИ. – 2010. – № 2 (60). – С. 113–125.

4. **Буйносов, А. П.** Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения : моногр. / А. П. Буйносов. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. – 224 с.
5. **Буйносов, А. П.** Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава : дис. ... докт. техн. наук / Буйносов А. П. – Екатеринбург, 2011. – 455 с.
6. **Буйносов, А. П.** Прибор для измерения параметров бандажей колесных пар тягового подвижного состава / А. П. Буйносов // Тяжелое машиностроение. – 2011. – № 3. – С. 17–19.
7. **Буйносов, А. П.** Система бесконтактного измерения бандажей / А. П. Буйносов, В.С. Наговицын // Локомотив. – 1995. – № 12. – С. 27–28.
8. **Буйносов, А. П.** Автоматизированный контроль параметров колесных пар тягового подвижного состава / А. П. Буйносов // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 7. – С. 52–53.
9. **Буйносов, А. П.** Износ бандажей необходимо снизить / А. П. Буйносов // Локомотив. – 2004. – № 10. – С. 25–26.
10. **Буйносов, А. П.** Уменьшаем износ колесных пар локомотивов / А. П. Буйносов // Локомотив. – 1999. – № 4. – С. 33–36.
11. **Буйносов, А. П.** Контроль бандажей колесных пар / А. П. Буйносов // Локомотив. – 1991. – № 9. – С. 36.
12. **Буйносов, А. П.** Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава : моногр. / А. П. Буйносов. – М. : ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2010. – 244 с.
13. **Буйносов, А. П.** Еще раз об износе колеса и рельса / А. П. Буйносов // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – № 9. – С. 23–26.
14. **Буйносов, А. П.** Методы повышения ресурса бандажей колесных пар локомотивов : моногр. / А. П. Буйносов. – Саарбрюккен (Германия) : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 284 с.
15. **Буйносов, А. П.** Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава : автореф. дис. ... докт. техн. наук / Буйносов А. П. – Екатеринбург : УрГУПС, 2011. – 44 с.

Буйносов Александр Петрович

доктор технических наук, доцент,
кафедра электрической тяги,
Уральский государственный
университет путей сообщения

E-mail: byinosov@mail.ru

Buynosov Alexander Petrovich

Doctor of engineering sciences, associate
professor, sub-department of electric
traction, Ural State University
of Railway Transport

Стаценко Константин Алексеевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра электрической тяги,
Уральский государственный
университет путей сообщения

E-mail: kstatsenko@mail.ru

Statsenko Konstantin Alexeevich

Candidate of engineering sciences, associate
professor, sub-department of electric
traction, Ural State University
of Railway Transport

Кислицын Александр Михайлович

аспирант, Уральский государственный
университет путей сообщения

E-mail: alex_teem@mail.ru

Kislitsyn Alexander Mikhaylovich

Postgraduate student, Ural State
University of Railway Transport

УДК 629.421.1

Буйносов, А. П.

Автоматическая измерительная система для контроля геометрических параметров колесных пар железнодорожного подвижного состава / А. П. Буйносов, К. А. Стаценко, А. М. Кислицын // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 2 (22). – С. 146–156.