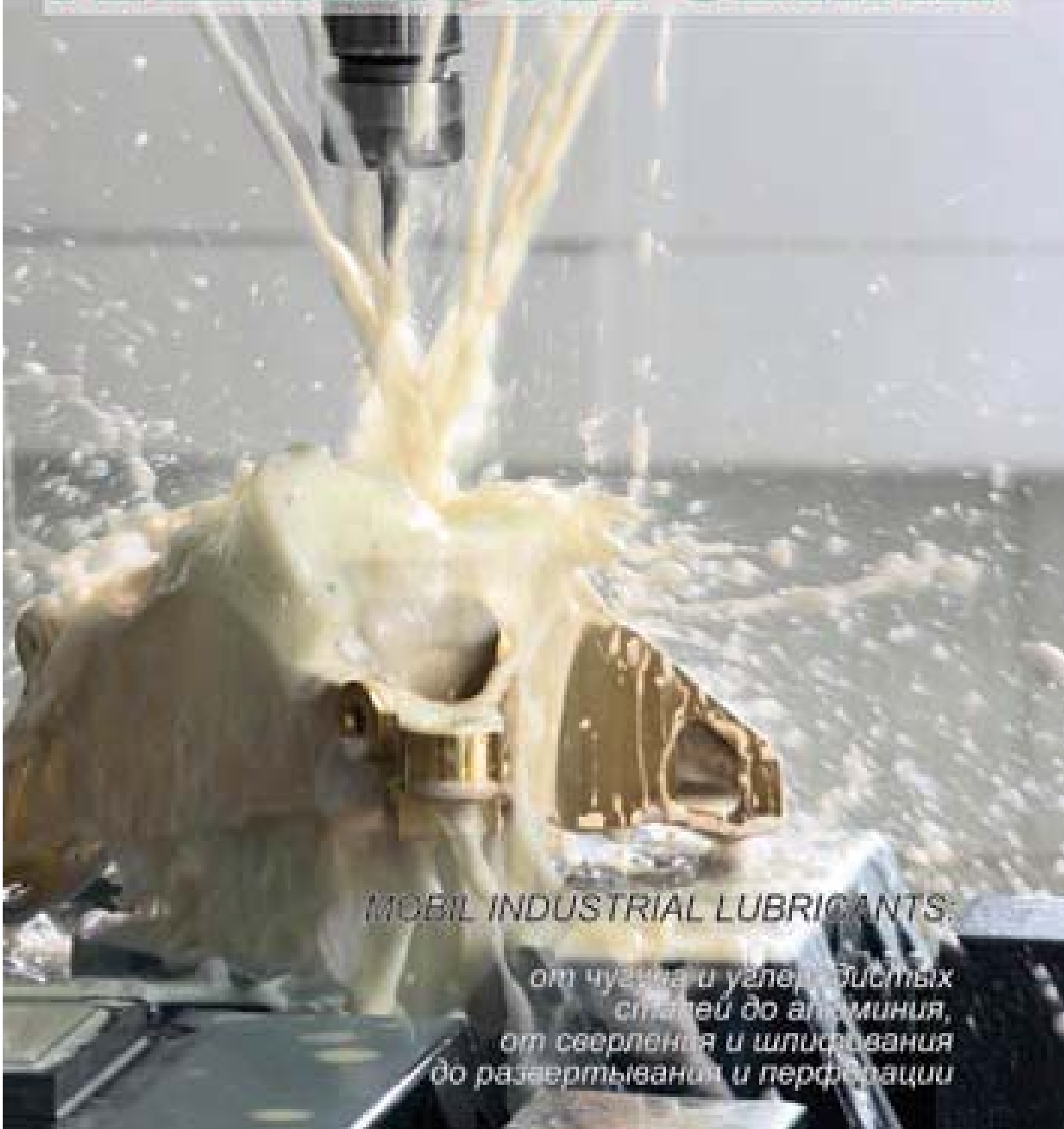




ISSN 0131-1336

10/2012

ТЯЖЕЛОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ



MOBIL INDUSTRIAL LUBRICANTS

*от чугуна и углеродистых
сталей до алюминия,
от сверления и шлифования
до развёртывания и перфорации*



10/2012 октябрь

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ТЯЖЕЛОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Издается с октября 1955 года

Редакционная коллегия:

ДУРЫНИН В. А.
(главный редактор)
ГОЛУБЕВ П. В.
ДУБ А. В.
ЗАРУДНЫЙ В. С.
ЗУБЧЕНКО А. С.
КОПАНИЦКАЯ М. Ю.
(зам. гл. редактора)
ЛОГАЧЕВ С. И.
МИНТАХАНОВ М. А.
МИРОНОВ Н. И.
ОНУФРИЕНКО С. В.
ПАСЕЧНИК Н. В.
СИВАК Б. А.
СОТНИКОВ А. А.
УРЬЕВ Е. В.
ФИЛИППОВ Г. А.
ФИРСОВ Б. Н.
ЧАВЧАНИДЗЕ Е. К.
ЮХНЕВСКИЙ А. А.

Журнал
включен в перечень изданий ВАК
для публикации результатов
диссертаций на соискание
ученой степени доктора наук

Электронная версия журнала
«Тяжелое машиностроение»
(включая архивные выпуски)
размещена на платформе
Научной электронной
библиотеки.

Условия доступа к массиву
выложены на сайте
www.elibrary.ru

АДРЕС РЕДАКЦИИ:
115088, Москва,
ул. Шарикоподшипниковская,
дом 4.
E-mail: dva347@cniitmash.ru
red-2011-mk@yandex.ru
www.tiajmash.ru
Тел.: (495) 675-89-36

СОДЕРЖАНИЕ

■ ИССЛЕДОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ

- Б. А. Сивак, А. А. Филатов, А. А. Жуков, Е. А. Масленникова. Исследование возможности применения низколегированной бериллиевой бронзы для кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок 2
- И. В. Ушаков, И. С. Сафронов. Механические характеристики тонкой ленты многокомпонентного аморфно-нанокристаллического металлического сплава, обработанного серией наносекундных лазерных импульсов 6
- Д. Ю. Пименов. Влияние технологических параметров обработки и износа торцовых фрез на силы резания 10

■ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ХХІ ВЕКА

- В. П. Бирюков, А. А. Фишков. Анализ отказов деталей вагонов метрополитена и восстановление их методом лазерной наплавки 14
- А. И. Ивахин. Варианты реализации и динамические свойства асинхронного тягового привода локомотивов с дугостаторными электродвигателями 17
- А. П. Буйносов, В. А. Тихонов, И. М. Пышный. Измерение диаметра бандажей колесных пар тягового подвижного состава 22

■ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ

- С. П. Косырев, Н. Л. Марьина, И. О. Кудашева. Динамическое нагружение шатунного подшипника высокофорсированного дизеля в условиях использования поверхностно-активных веществ 26
- А. Н. Виноградов, Д. К. Кушалиев. Подшипники скольжения с пружинным вкладышем и область их применения 30

■ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И ДЕТАЛЕЙ МАШИН

- Р. Х. Муратов. Расчетное построение кривых статического и динамического деформирования материалов. Часть II. Истинные кривые статического деформирования 37

Учредитель: Фонд поддержки и развития НПО «ЦНИИТМАШ»

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-43939 от 17 февраля 2011 года).

Сдано в набор 03.09.2012. Подписано в печать 05.10.2012. Формат 60×88 1/8.

Тираж отпечатан в ООО «ФАСТПРИНТ-ПРО», 143968, Московская обл., г. Реутов, автомагистраль «Москва—Н. Новгород», вл. 19. Бумага мелованная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 5.

© Предупреждаем о правовой защите наименования и авторских прав на публикуемые материалы. Перепечатка материалов из журнала «Тяжелое машиностроение» возможна только с письменного согласия редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал «Тяжелое машиностроение» обязательна.

Измерение диаметра бандажей колесных пар тягового подвижного состава

Стратегия развития железнодорожного транспорта России до 2030 г. предусматривает повышение технико-экономической эффективности перевозок, увеличение скорости доставки грузов, повышение безопасности движения и снижение расходов на техническое обслуживание и ремонт тягового подвижного состава (ТПС) и связанной с ним инфраструктуры.

Вопросы ресурсосбережения в связи с ростом цен на энергоносители, материальные ресурсы, трудозатраты на замену бандажей и обточку колесных пар приобретают особую остроту, и для их решения необходимы исследования по повышению ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава с целью снижения эксплуатационных расходов, обеспечения надежности и требований безопасности в эксплуатации. Для повышения долговечности колесных пар необходима разработка комплекса мероприятий и технических решений с учетом типа и серии ТПС, а также конкретных условий эксплуатации [1, 2].

Актуальность проблемы определяется большими эксплуатационными расходами, связанными с износом колесных пар подвижного состава. По оценке экспертов, в мире ежегодно обтачивается более 70 тыс. колесных пар. В России начиная с 1985 г. фактическая интенсивность износа в 3–6 раз превышала предусмотренную нормами эксплуатации пути и подвижного состава. Если в начале 1980-х гг. срок службы бандажей колесных пар локомотивов составлял 6–7 лет, то в 1990-е гг. он сократился до 2–3 лет. В 2011 г. ремонту обточкой подверглось более 3 млн колесных пар [3].

Увеличение срока службы бандажей — один из крупных источников экономии проката черного металла. Расчеты показывают, что если существующее использование ресурса бандажей (по толщине) сохранится и на последующие годы, то потребность в них в ближайшее время возрастет на 65–70%. Износ гребней с неплановыми обточками колес значительно сокращает их срок службы до замены по предельной толщине бандажа (200–300 тыс. км пробега). При умеренном износе гребней с интенсивностью 0,2–0,4 мм/10 тыс. км ресурс бандажа должен обеспечить пробеги не менее 600 тыс. км [4].

Анализ неисправностей колесных пар ТПС на железнодорожном транспорте показывает, что они суще-

ственно влияют на безопасность движения. Поэтому совершенствование методов контроля и предупреждение параметрических и непараметрических отказов колесных пар в пути следования является одним из самых важных факторов обеспечения безопасности движения поездов.

Износ элементов бандажа следует считать нормальным тогда, когда износ по кругу катания опережает износ гребня. Ненормальным следует считать такой износ, когда износ гребня существенно опережает прокат, и именно подобная ситуация наблюдалась по сети дорог за последние 15 лет. Причем, если раньше интенсивный износ гребня, который проявляется в виде большого количества углублений, расположенных в радиальном направлении от вершины гребня к центру колесной пары, был характерен для локомотивов, которые эксплуатируются на дорогах с многочисленными кривыми малого радиуса, то сейчас износ гребня актуален и при работе на прямолинейных участках. Эту ситуацию следует считать ненормальной, поскольку формирование нового профиля из-за значительного износа гребня происходит вследствие снижения толщины бандажа и обращения металла в стружку [5].

Поскольку сейчас технологический износ превышает естественный, то следует признать, что больше металла бандажа расходуется на обточке, чем в эксплуатации.

Одной из причин интенсивного износа гребней колесных пар локомотивов и рельсов является выход за допустимые пределы величины разности диаметров колесной пары. В соответствии с инструкциями ЦТ/329 [6] и ЦТ/3745 максимально допустимая разница диаметров бандажей одной колесной пары по кругу катания составляет 3 мм, и это строго соблюдается до проведения первого ТО-4, далее контроль становится проблематичным ввиду отсутствия на производстве средств измерения.

Движение колесных пар разных диаметров, механически связанных между собой, сопровождается их проскальзыванием относительно рельсов в результате всползания и соскальзывания. Под всползанием понимается вертикальное перемещение колеса относительно рельса, возникающее в результате набегания гребня на головку рельса, а под соскальзыванием — аналогичное перемещение под воздействием сил от массы экипажа. При наличии всползания колесная пара переходит в режим одно-



Рис. 1. Измеритель диаметра

точечного касания с рельсом, с точкой контакта, приходящейся на гребень. Наличие непрерывного вползания с одновременным соскальзыванием и является одной из основных причин интенсивного износа гребней колесных пар локомотивов и рельсов. Таким образом, недопустимая разность диаметров колесной пары не только угрожает безопасности движения, но и является одной из причин повышенного износа гребней, поэтому ее контроль имеет большое значение. Однако существующие до последнего времени способы измерения величины разности диаметров позволяли осуществлять подобный контроль лишь при выкатке колесно-моторных блоков.

На кафедре «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения была разработана новая версия прибора (ИД-03) для замера диаметров бандажей колесных пар по кругу катания без выкатки из-под электровоза. Приборы УрГУПС (ИД-01, ИД-02 и новая разработка ИД-03) просты по конструкции и в отличие от скобы КИ-124, разработанной ПКБ ЦТ и скоб, применяемых в депо «Витебск» Белорусской ж. д., депо «Иркутск—Сортировочный» Восточно-Сибирской ж. д., позволяют производить замеры диаметров бандажей колесных пар на электровозах всех серий без применения таблиц пересчета [7].

Известен также прибор для измерения диаметра бандажа колеса, содержащий измерительную линейку со шкалой, которая перемещается в движке с окном, с нанесенной риску, а также стопорным винтом и элементами фиксирования прибора на ступице измеряемого колеса, которые выполнены в виде охватывающих ступицу ножек. Однако, пользуясь этим прибором, невозможно произвести замер диаметра бандажа непосредственно под электровозом в период эксплуатации.

Кроме того, известно устройство для измерения геометрических параметров колес, содержащее излучатель, фотоприемник, усилитель, генератор, вентиль и счетчик импульсов. Недостатком такого прибора является сложность его конструкции и невозможность замера диаметра бандажа непосредственно под локомотивом в период эксплуатации [8].

С помощью прибора ИД-03, как и устройств ИД-01, ИД-02 УрГУПС, возможно замерить диаметр бандажа непосредственно под электровозом в период эксплуатации. Однако точность разработок ИД-01, ИД-02 и диа-

пазон измерения не отвечали современным требованиям, поэтому переносное электронное устройство ИД-03 было разработано для исключения вышеуказанных недостатков (рис. 1).

Принцип измерения диаметра колесных пар в приборе основан на определении величины стрелы сегмента, образуемого при установке измерительной скобы на колесо. В отличие от имеющихся аналогов, у которых измерительная скоба и сами датчики измерения устанавливаются прямо на круг катания колеса, в приборе ИД-03 скоба и один из датчиков устанавливаются на гребень колеса; установлен также второй датчик для измерения величины гребня. Такая конструкция позволяет минимизировать влияние углового смещения измерительной скобы относительно торца колеса на результат измерения.

Основное выражение для диаметра колеса может быть представлено в следующем виде:

$$D = \frac{a^2 + 4 \cdot h^2}{4h} - 2H_{гр}, \quad (1)$$

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 было учтено, что на точность измерения влияет люфт хода датчика. Уменьшение влияния можно осуществить технологически.

Выражение для определения ошибки измерения диаметра при люфте датчика Δh :

$$\Delta D = \left(1 - \frac{a^2}{4h^2}\right) \Delta h. \quad (2)$$

Поскольку диаметры колесных пар могут варьироваться в пределах от 910 до 1310 мм, был сделан вывод, что при изготовлении прибора необходимо обеспечить продольный люфт датчика для измерения (h) не более 0,01 мм при базе $a = 350$ мм.

Кроме того, при разработке было учтено, что на точность измерения влияют отклонения размеров между базовыми опорами измерительной скобы (a). Выражение для этого параметра имеет вид

$$\Delta D = \frac{2a}{4h} \Delta a. \quad (3)$$

Аналогично был сделан вывод о том, что точность поддержания параметра a не должна быть хуже $\pm 0,01$ мм.

Было также учтено влияние смещения одной из опор относительно торца колеса на ошибку измерения диаметра. Выражения для оценки этих погрешностей выглядят следующим образом:

— оценка погрешности измерения высоты гребня

$$\Delta H_{гр} = \frac{\Delta X}{2} \operatorname{tg} \beta; \quad (4)$$

— оценка ошибки измерения диаметра

$$\Delta D = 2 \cdot \Delta H_{гр} = \Delta X \operatorname{tg} \beta, \quad (5)$$

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

Было выявлено, 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 влияние 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:

$$\frac{\Delta R}{R}, \quad (6)$$

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

Суммарная погрешность будет равна

$$\Delta D_{\Sigma} = \Delta D \cdot \left(\frac{\Delta R}{R} \right). \quad (7)$$

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

Технические характеристики измерителя диаметра:

- диапазон измерения, мм, 850–1260;
- погрешность измерения диаметра, мм, $\pm 0,1$;
- время измерения, с, 0,5;
- потребляемая мощность, Вт, 0,5;
- время непрерывной работы, ч, 8;
- масса блока, кг, 1,7.

У прибора предусмотрена возможность передачи накопленных данных на ПК через последовательный RS-232 порт. Протокол передачи данных согласован с программой верхнего уровня АРМ ДЕПО (продукт, разработанный для ведения базы данных по учету износа колесных пар).

АРМ ДЕПО позволяет вести электронные паспорта каждого локомотива или вагона. В базе данных программы хранится информация о толщинах гребня и бандажа, прокате, межбандажном расстоянии и диаметре колес (рис. 2). По полученным данным программа обеспечивает автоматическое создание целого ряда отчетов и графиков, позволяет отслеживать динамику износа колесных пар (рис. 3) и прогнозировать их техническое состояние на несколько месяцев вперед. Встроенный мастер отчетов дает пользователю возможность изменения в случае необходимости внешнего вида отчетов. Все отчеты и графики строятся по определенному локомотиву, вагону, серии или произвольно выбранной группе. При необходимости пользователь может создать свой отчет или график, используя встроенный мастер отчетов. Любой график и отчет можно вывести на любое стандартное

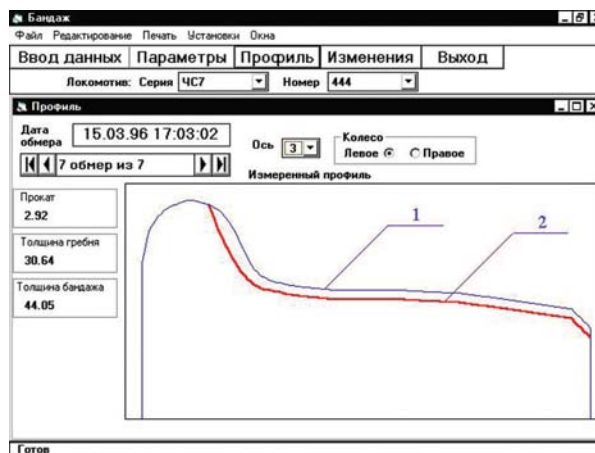


Рис. 2. Копия экрана монитора пульта оператора в режиме ведомости замеров бандажей колесных пар локомотивов

Ось	Величина проката		Толщина гребня		Толщина бандажа		Межбанд. расст.	
	лев.	прав.	лев.	прав.	лев.	прав.	верх.	низ.
1	0.28	0.93	32.17	31.10	36.34	54.57	1440.44	1440.16
2	1.32	2.38	28.99	31.13	50.19	64.87	1441.22	1440.27
3	0.95	1.07	29.68	29.68	55.51	65.62	1438.79	1440.36
4	3.36	3.31	28.22	32.83	77.43	45.13	1440.59	1440.80

Рис. 3. Копия экрана монитора пульта оператора в режиме контроля профиля бандажа колесной пары: 1 — фактический профиль; 2 — изношенный профиль

печатающее устройство или передать в другую программу, поддерживающую технологию OLE, для дальнейшей обработки. Удобный пользовательский интерфейс и интеллектуальная справочная система позволяют пользователю быстро освоиться при работе с программой.

Программа функционирует на компьютерах, совместимых с IBM PC под управлением операционных систем Microsoft Windows. Имеется поддержка работы в сети нескольких АРМ с одной базой данных, для чего выделяется файл-сервер.

Список литературы

1. Буйнов А. П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
2. Наговицын В. С., Буйнов А. П., Балдин В. Л. Измерение параметров колесных пар локомотивов. Автоматизированная система: Монография. Саарбрюккен (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2011. 244 с.

3. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава Повышение ресурса колес рельсовых экипажей / Автореферат дисс. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург: УрГУПС, 2011. 44 с.
4. Буйносов А. П., Пышный И. М., Тихонов В. А. Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85–91.
5. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава: Монография. М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2010. 244 с.
6. Инструкция по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. С изменениями и дополнениями, утвержденными указанием МПС России от 23.08.2000 г., №К-2273у: ЦТ-329. Утв. 14.06.1995. М.: МПС РФ, 1995. 48 с.
7. Буйносов А. П. Автоматизированный контроль параметров колесных пар тягового подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2010. № 7. С. 52–53.
8. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар локомотивов: Монография. Саарбрюккен (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2011. 284 с.