

A.V. ISO Standards and industrial soft at enterprise or whether director needs "Production Transparency" // *Machinery Equipment*. – 2010. – No.9. – pp. 56-61.

5. Frolov E., Iskanderov R. Effective management of small-scale production. // *Russian Engineering Research*, Vol. 31, No. 2, pp. 166–168. Allerton Press, Inc., – 2011. – pp. 34-40.

6. Frolov, E.B. Current concepts of control in production logistics. Part1, 2 // *CAD and Graphics*. – 2010. – No.No. 11, 12.

7. Bazrov, B.M., Frolov, E.B., Arzybaev, A.M., Sakharov, A.V., Kryukov, Timofeev, D.E., Trishkin, A.S. Automated design of technology and formation of equipment groups based on CAD TP and MES integration on principles of modular technology // *Machinery Equipment*. – 2011. – No.8. – pp. 66-73.

8. Frolov, E.B. MES for discrete production – method of priorities computed // *CAD and Graphics*. – 2011. No.1.

Рецензент д.т.н. Ю.Л. Чигуринский

УДК 621.896: 681.518

DOI: 10.30987/article\_5c19275f9d3ee4.61908631

Д.В. Глазунов, к.т.н.

(ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (РГУПС), 344038, Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2)

E-mail: glazunovdm@yandex.ru

## Диагностические и технологические способы повышения надежности рельсового пути

*Проведен обзор основных зарубежных и отечественных средств видео инспекции и диагностики элементов железнодорожного пути и колес подвижного состава. Рассмотрены основные мероприятия по мониторингу железнодорожного пути, типы используемого оборудования средств видео инспекции, основные методы обнаружения дефектов железнодорожного пути. Описана съемная система видео инспекции, разработанная учеными ФГБОУ ВО РГУПС, позволяющая изучить влияние смазывания при взаимодействии колеса подвижного состава с рельсом.*

**Ключевые слова:** средства видео инспекции; железнодорожный путь; система «колесо-рельс»; ультразвуковая система; цифровые системы; аналоговые системы; визуальный контроль; подвижной состав.

D.V. Glazunov, Can. Sc. Tech.,

(FSBEI HE "Rostov State University of Communications" (RSUC),

2, Rostov Infantry National Home Guard Regiment Square, Rostov-upon-Don, 344038)

## Diagnostic and technological methods for track reliability increase

*The review of basic foreign and domestic means of video inspection and diagnostics of track elements and rolling-stock wheels is carried out. Basic measures of track monitoring, types of equipment used of video inspection means, basic methods to reveal track defects are considered. A detachable system for video inspection developed by scientists of FSBEI HE RSUC is described which allows analyzing a lubrication impact at the interaction of rolling-stock wheels with a rail is described.*

**Keywords:** means for video inspection; track; "wheel-rail" system; supersonic system; digital systems; analog systems; visual control; rolling-stock.

Долговечность и безопасность эксплуатации объектов железнодорожного комплекса является важной задачей национального масштаба. На сети железных дорог мира создана эффективная система диагностики и мониторинга инфраструктуры. Затрагивая все хозяйства инфраструктурного комплекса, наибольшее внимание в диагностике уделяется путевому хозяйству как наиболее значимому и фондоемкому в инфраструктурном комплексе,

состояние которого является определяющим звеном железнодорожного транспорта, существенно влияющим на себестоимость перевозок, скорость и безопасность движения поездов. Внедрение и комплексное использование новых средств видеоинспекции и диагностики пути, а также обрессоренной части подвижного состава, регламентация их работы позволили повысить качество и достоверность контроля железнодорожного пути [1, 2].

На железных дорогах действует многоуровневая система контроля (мониторинга) железнодорожного пути, включающая в себя

следующие мероприятия, представленные на рис. 1.

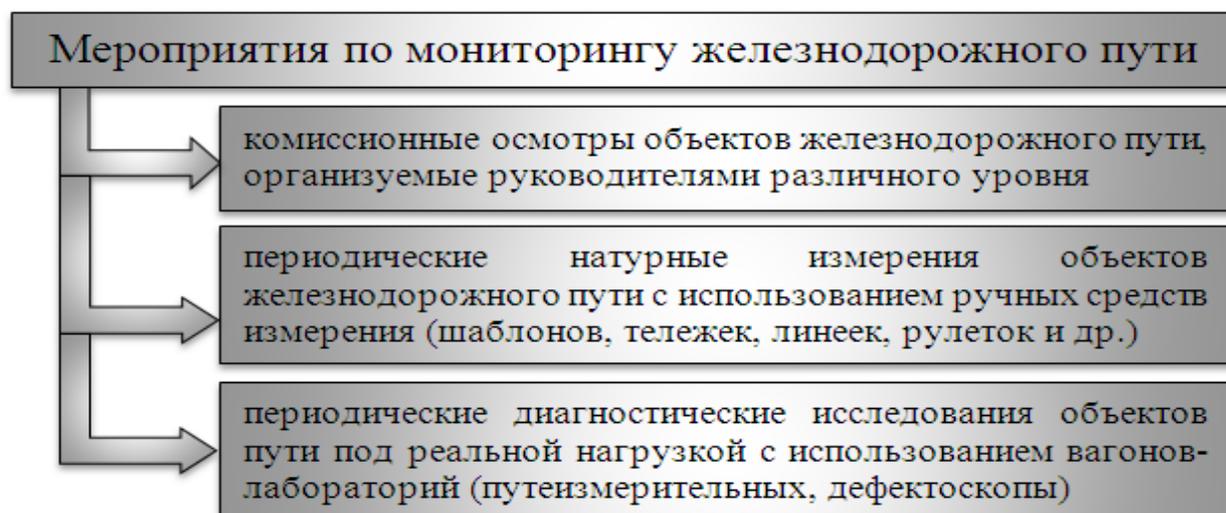


Рис. 1. Многоуровневая система контроля объектов железнодорожного пути

В зависимости от типа используемого оборудования средства видеоинспекции делят на аналоговые и цифровые. Аналоговые системы существуют давно, и их неуниверсальность и ограниченность функций являются обратной стороной высокой надежности. Сегодня существует большой выбор цифровых систем видеоинспекции, которые внедрены на объекты и подвижной состав железнодорожного транспорта [3].

Основным методом обнаружения дефектов является ультразвуковой с контактным способом ввода упругих колебаний. В дополнение к ультразвуковому методу в некоторых системах используют индукционный или вихретоковый, в основном для обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов [4].

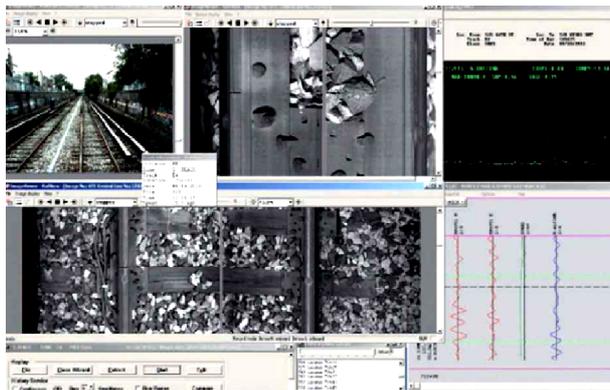
В качестве объектов для средств видеоинспекции применяют вагоны, автомотрисы (rail bound), автомобили на комбинированном ходу (Hi-rail), самоходные тележки, а также мобильные системы [5, 6].

Основными мировыми производителями путевой техники и средств видеоинспекции объектов инфраструктуры являются следующие компании: Plasser & Theurer (Австрия); Speno (Швейцария); Rail Technology International (RTI, Австралия); Geismar (Франция); MTH Hranice (Чехия); Schweerbau (Германия); Harsco Rail (США); LORAM (США); CRRC (Китай). Рассмотрим некоторые из них.

Компанией Plasser & Theurer выпускаются

производительные модели выправочно-подбивочно-рихтовочных, выправочно-подбивочных и отделочных, шпалоподбивочных, щебнеочистительных и балластоочистительных, рихтовочных машин, машин для смены шпал и рельсов, стабилизаторов пути, железнодорожных кранов, путеизмерителей, вагонов-дефектоскопов, автомотрис, специальных самоходных подвижных составов и других технических средств. Одним из новейших технических решений компании Plasser & Theurer в сфере видео мониторинга верхнего строения пути является ультразвуковая система обнаружения дефектов рельсов (рис. 2).

Ультразвуковая система обнаружения дефектов рельсов функционирует при скоростях движения подвижного состава до 60 км/ч и включает систему видео мониторинга, позволяющую синхронизировать данные пути (рис. 2, а) и многофункциональную тележку для записи пути (рис. 2, б). Шестнадцать преобразователей, диагностирующих рельс, расположены в двух колесных датчиках многофункциональной тележки. Датчики направлены по центру рельса. Отдельное рабочее место для записи пути расположено внутри тележки и предназначено для управления системой и анализа ультразвуковых сигналов. Ультразвуковые данные используются для создания бокового профиля фактического рельса (консолидированное видео сканирование изображения).



а)



б)

**Рис. 2. Ультразвуковая система обнаружения дефектов рельсов:**

а – система видео мониторинга, позволяющая синхронизировать видео и данные пути; б – многофункциональная тележка для записи пути

Программное обеспечение распознавания образов используется для идентификации и классификации дефектов рельсов. Измерительная система позволяет определить местоположение объекта, а также создавать и анализировать сравнительные гистограммы с автономным анализом. Ультразвуковая система компании Plasser & Theurer является эффективным средством обнаружения дефектов рельсов. Однако основным недостатком данной конструкции является ограниченный диапазон скоростей движения подвижного состава (до 60 км).

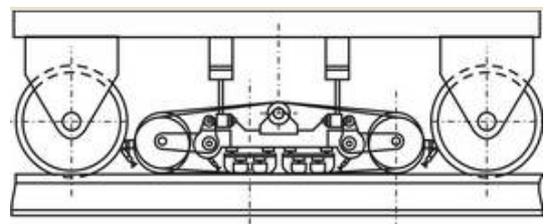
Специально разработанная конструкция колесного датчика обеспечивает максимальную доступность при обнаружении дефектов рельсов. Поперечное направление колесных датчиков позволяет эффективно обнаружить трещины вертикальной направляющей головки рельса. Система состоит из полностью интегрированной операционной системы Windows с дополнительной базой для хранения данных. Высокотехнологичная ультразвуковая дефектоскопия рельсов позволяет уве-

личить эксплуатационную надежность пути, поэтому компания Plasser & Theurer продолжает дальнейшее развитие диагностического оборудования для идентификации и классификации дефектов рельсов [7].

Компания Speno является международным производителем путевых машин и оборудования. В номенклатуру выпускаемой продукции компании входят рельсошлифовальные машины, путеизмерительные поезда, дефектоскопные моторы и прочие путевые машины. В последних модификациях поезда-дефектоскопа фирмы Speno используют весьма оригинальную систему ввода ультразвуковых колебаний, занимающую среднее положение между системой скольжения и ультразвуковым колесом.

Ультразвуковые колебания с акустических блоков скольжения проходят через непрерывно двигающуюся по замкнутому кольцу полимерную ленту. Гладкая лента (в виде гусеницы трактора) при проходе дефектоскопического средства движется. На поверхность ленты с внутренней стороны (со стороны акустических блоков) и на поверхность головки рельса под давлением подается распыленная вода. Гибкая лента хорошо облегает (огibt) небольшие неровности поверхности рельса, защищая преобразователи от повреждения и одновременно обеспечивая стабильный акустический контакт на всем пути сканирования. Более совершенная конструкция такой системы ввода реализована в действующей автомоторисе US 2 (V 1.10) фирмы Speno (рис. 3).

Данная конструкция, сохраняет положительные свойства системы скольжения и колесной системы ввода ультразвуковых колебаний, состоит из полимерной ленты, натяжного ролика, акустических блоков, распылителей воды.



**Рис. 3. Ленточная система ввода ультразвуковых колебаний в рельс**

Отмечается, что применение ленточной системы, сочетающей в себе положительные стороны систем скольжения (возможность реализации схем прозвучивания с двумя разнесенными преобразователями, более высокая

скорости контроля) и колесных систем (стабильное прилегание к поверхности рельса), позволяет проходить стрелочные переводы, не поднимая искатели. Кроме того, защитные функции полимерной ленты дают возможность ставить эксперименты с очень дорогими многоэлементными фазированными решетками по обнаружению дефектов в рельсах при больших скоростях сканирования. Как сообщают разработчики, фазированная решетка позволяет осуществлять электронное качание ультразвукового луча в пределах  $150^\circ$  (от  $-75^\circ$  до  $+75^\circ$ ), более полно прозвучивая сечение рельса [4, 8].

Основным недостатком ленточной системы ввода ультразвуковых колебаний в рельс компании Speno является сложность конструкции, что вызывает необходимость в высококвалифицированных специалистах при ремонте и обслуживании данной диагностической системы.

В наиболее совершенных мобильных автомобилях на комбинированном ходу фирмы Rail Technology International (RTI, Австралия) один оператор при скорости движения автомобиля 20...40 км/ч успевает управлять автомобилем и оперативно расшифровывать дефектограммы обеих нитей пути (рис. 4). Причем после оперативного анализа в кабине автомобиля в ответственных случаях принимают решение о подаче машины назад (обычно автомобиль при рабочем проезде и текущем анализе не успевает уехать от дефектного места на расстояние более 30...40 м). С точностью  $\pm 20$  см машина останавливается около дефектного места. Оператор, выйдя из машины, уточняет дефектное сечение с помощью портативного дефектоскопа и при подтверждении дефекта непосредственно с машины передает телеграмму об ограничении движения (или сообщает сопровождающему представителю железной дороги).



Рис. 4. Автомобиль-дефектоскоп на комбинированном ходу

Персональная ответственность за возможный пропуск дефекта и необходимость выполнения заданного объема контроля требует от оператора поиска оптимального решения по визуальной оценке сигналов и минимизации остановок на ложных сигналах. Регулярное сравнение групп поступающих сигналов с реальными объектами рельсового пути способствует достаточно быстрому самообучению оператора и минимизации ошибок первого и второго рода.

Средняя дневная производительность одной машины с одним оператором составляет около 100 км проверенного пути (за месяц – около 3000 км). Пожалуй, на настоящее время это самая высокая производительность при достаточной достоверности контроля. Такие показатели делают данную технологию наиболее конкурентоспособной на мировом рынке услуг по неразрушающему контролю рельсов. Однако при работе автомобиля-дефектоскопа на комбинированном ходу необходимо закрытие перегона на железнодорожных участках, что может привести к срыву расписания рейсовых поездов на данном направлении [4, 8].

В настоящее время для диагностики железнодорожного пути ОАО «РЖД» используется более 8000 средств контроля (из них 427 мобильных и 7650 съёмных) [2].

Основными производителями путевой техники в России являются компании: ЗАО «ПИК Прогресс», НПЦ «Инфотранс», группа компаний «Твема».

ЗАО «ПИК Прогресс» единственное предприятие в России, серийно выпускающее путеобследовательскую станцию ЦНИИ-4МД (далее ПС). ПС предназначены для контроля геометрических параметров рельсовой колеи (модификации М, МД), и дополнительно габаритов вдоль пути (модификация МГ). Система позволяет контролировать состояние пути через основные параметры по типовым схемам измерений вагонов-путеизмерителей в соответствии с инструкцией ЦП-515, производить оценку пути по дополнительным параметрам.

Результаты измерений могут выводиться в виде диаграмм, таблиц и сводных ведомостей на мониторах компьютеров, накапливаться и передаваться в базы данных различного уровня, распечатываться в виде путеизмерительных лент и отчетов. Все данные привязываются к местности через системы навигации и систему маркеров на объектах вдоль пути.

Объем данных может соответствовать до

10 000 км пути.

В качестве примеров рассмотрим принцип действия основных оптических систем ПС. Система измерения ширины колеи (рис. 5) включает в себя два источника оптического излучения 3 и 6. Используется монохромный луч лазера, который в меньшей степени подвержен засветкам при дневном освещении. Через объективы 2 и 7 на боковой поверхности головок рельсов 10 и 11 на расстоянии 15 мм ниже УВГР высвечиваются узкие горизонтальные световые полосы. Положение этих полос относительно неподрессоренной балки 9 определяется фотоприемниками, имеющими объективы 1 и 8 и линейные матрицы фотоэлементов 4 и 5.

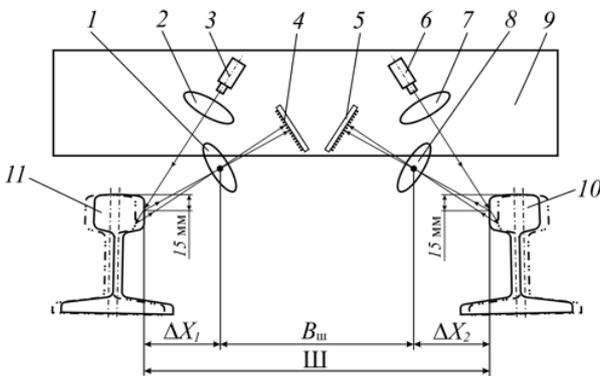


Рис. 5. Схема измерения ширины колеи оптическими датчиками:

1, 2, 7 и 8 – объективы; 3, 6 – оптические источники лазерного луча; 4, 5 – линейные матрицы фотоэлементов (ПЗС-линейки); 9 – неподрессоренная балка ходовой тележки; 10, 11 – рельсовые нити

Фотоприемники по конструктивному устройству являются своеобразными цифровыми фотоаппаратами с линейной матрицей засвечиваемых светодиодов большой разрешающей способности.

Ширина колеи, мм, определяется по формуле

$$Ш = \Delta X_1 + \Delta X_2 + B_{ш},$$

где  $\Delta X_{1,2} = N_{j(1,2)} - N_{0(1,2)} d S / f_{пр}$  – относительное перемещение рельса;  $N_{j(1,2)}$  – текущее значение параметра светочувствительного элемента ПЗС-линейки, соответствующее геометрическому центру изображения световой полосы первого или второго датчика;  $N_{0(1,2)}$  – номер светочувствительного элемента ПЗС-линейки, соответствующий началу отсчета;  $d$  – шаг светочувствительных элементов ПЗС-линейки;  $S$  – расстояние от датчика до рельса;  $f_{пр}$  – фокусное расстояние объектива приемной части;  $B_{ш}$  – базовое расстояние между датчиками.

Вследствие изменений величин  $\Delta X_1$  и  $\Delta X_2$  по сравнению с определенными при настройке на номинальный размер ширины колеи (1520 мм) световая полоса смещается вверх (уменьшение расстояния) или вниз (увеличение расстояния). Это смещение приводит к засветке соответствующего фотоэлемента на линейке, по номеру которого оценивается рассматриваемое расстояние [3, 8].

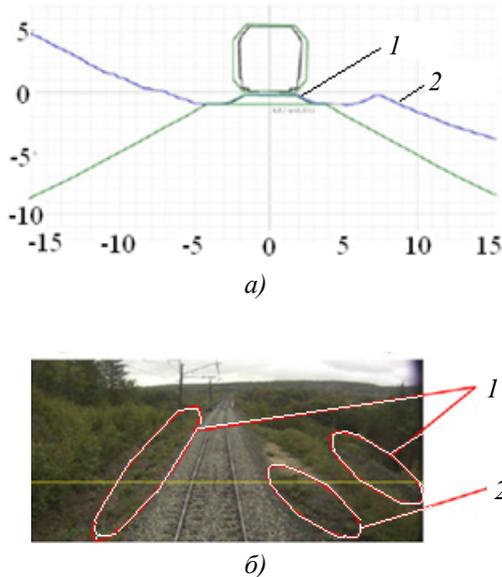
При работе путеобследовательской станции ЦНИИ-4МД фирмы ЗАО «ПИК Прогресс» отмечаются случаи задержки времени между контролем и выдачей результатов.

В НПЦ ИНФОТРАНС разработана информационно-аналитическая система комплексной диагностики железнодорожной инфраструктуры «ЭКСПЕРТ», которая обеспечивает сбор, хранение, накопление, верификацию, синхронизацию и интеграцию данных. Система «ЭКСПЕРТ» и программа расчета предотказного состояния позволяют выявлять проблемы, связанные с земляным полотном, так как они проявляются в геометрии пути как постоянно неблагоприятные участки. Эти участки невозможно привести в порядок только текущим содержанием, так как проблемы имеют более глубокий характер и связаны с земляным полотном.

На рис. 6 представлен график мониторинга земляного полотна на участке Куйбышевской железной дороги Вырыпаевка – Базарная, 1 путь, 754 км и показано превышение положительного приращения ССКО (рис. 6, а, поз. 1) заданного порога (рис. 6, а, поз. 2) на период май–ноябрь 2012 г.

При дальнейшем анализе поперечного профиля земляного полотна с использованием графиков поперечного профиля (рис. 6, а), а также системы обзорного видеонаблюдения (рис. 6, б) видно ненадлежащее содержание земляного полотна на 754 км: при проведении путевых работ была нарушена технология выполнения работ – произведена отсыпка старого щебня на откос насыпи, который препятствует пропуску грунтовых и подземных вод и способствует развитию нестабильности земляного полотна в данном месте (поз. 1, рис. 6, б); отсутствуют дренажные каналы и наличие растительности на откосах земляного полотна (поз. 2, рис. 6, б); излишнее количество щебня в шпальных ящиках [9, 10].

Система «ЭКСПЕРТ» компании НПЦ ИНФОТРАНС при взаимодействии с программой расчета предотказного состояния является пока пилотным проектом и не получила широкого распространения на железных дорогах.



**Рис. 6.** Причины неблагоприятного состояния участка Куйбышевской железной дороги Вырыпаевка – Базарная, 1 путь, 754 км:

*а* – график поперечного профиля земляного полотна;  
*б* – система обзорного видеонаблюдения

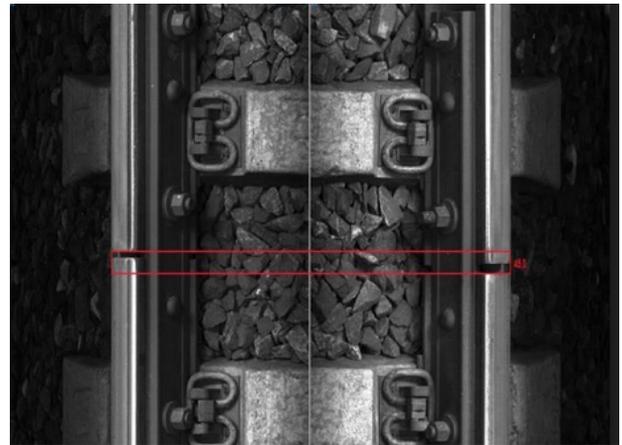
Компанией ТВЕМА созданы комплекс скоростного визуального контроля «СВОД-2» (рис. 7) и вагон-рельсосмазыватель с современным высокотехнологичным оборудованием (рис. 8). Одними из основных компонентов скоростного визуального комплекса контроля «СВОД-2» являются высокоскоростные линейные камеры, которые позволяют производить съемку изображения с разрешением 0,5 мм/пк на скоростях до 250 км/ч. Специально разработанная для этого система освещения гарантирует сохранение четкого и контрастного изображения при любой погоде в любое время суток. Мощная система записи и анализа данных обеспечивает сжатие изображения без потери качества в режиме реального времени, увеличивая автономное время рабочих проездов без архивации данных до 10 000 км. Линейка аналитического программного обеспечения позволяет решать задачи по выявлению дефектов объектов инфраструктуры в зависимости от потребностей заказчика.

Автоматическая система анализа позволяет обнаруживать в режимах реального времени и постобработки следующие виды неисправностей: смятия в стыках, выкрашивание рельса на поверхности катания в зоне стыков, повреждение сварных стыков, боковые ступеньки в стыках рельсов, забег стыковых зазоров по двум нитям пути, боксовины, трещины на поверхности катания рельса, отсутствие или повреждение креплений, недостаточную затяж-

ку болтов, нарушение в ориентации шпал и трещины в них, выплески и заполнение балластом, локализация и измерение стыковых зазоров. При работе комплекса скоростного визуального контроля «СВОД-2» могут возникать ошибки при привязке к пути [11, 12].



*а)*



*б)*

**Рис. 7.** Комплекс скоростного визуального контроля «СВОД-2»:

*а* – система видео инспекции; *б* – видеофрагмент обнаружения дефектов

Вагон-рельсосмазыватель с современным высокотехнологичным оборудованием, которое по своей функциональности превышает возможности существующих аналогов за счет использования интеллектуального программного обеспечения, является еще одним средством видео инспекции, но направленный на изучение процесса нанесения смазки в контакт «колесо – рельс».

Рельсосмазывающая установка имеет основную (гидравлическую) и резервную (пневматическую) подачу смазки и включает в себя: заправочную систему, два расходных бака для смазки, компрессор с ресивером, автоматическую систему подачи смазки на форсун-

ку с возможностью управления от GPS/ГЛОНАСС или гироскопического датчика (в качестве резервного), узлы подачи смазки на рельсы с системой обогрева внешнего трубопровода и форсунок [11, 12].



а)



б)

**Рис. 8. Рельсосмазывающая установка:**

а – камера видеонаблюдения; б – видео фрагмент

Коллектив ученых ФГБОУ ВО РГУПС тоже добился некоторых успехов в изучении влияния смазывания при взаимодействии колеса подвижного состава с рельсом с помощью видео фиксации (рис. 9) [13–15].

Принцип действия этой систем основан на визуальном исследовании процесса смазывания и обнаружении поверхностных дефектов с помощью линейной видеокамеры. Система освещения подсвечивает поверхность катания колеса. Отраженные от него лучи света проходят через стекло корпуса, объектив видеокамеры и попадают на матрицу. Полученное изображение преобразуется в цифровой вид и передается на спутник через локальную станцию в головной офис посредством высокоскоростного интерфейса на сервер, где происходит запись данных для последующей их расшифровки (рис. 10).



а)



б)

**Рис. 9. Съемная система видеосъемки:**

а – устройство: 1 – корпус камеры; 2 – световая плата; 3 – корпус системы видеонаблюдения; 4 – крепление гребнерельсосмазывателя и системы видеонаблюдения к раме тележки ПС; 5 – гребнерельсосмазыватель; б – область взаимодействия смазочного материала с колесом; б – видеокартинка процесса смазывания колеса подвижного состава

Промышленные испытания данной системы съемной видео инспекции ФГБОУ ВО РГУПС проводились на грузовых электровагонах серии ВЛ80С, оборудованных гребнерельсосмазывателями бесприводного типа, оснащенными твердыми смазочными стержнями на участке Северо-Кавказской железной дороги Батайск–Лихая–Батайск. Оперативный просмотр видеозаписи выполнялся на борту подвижной единицы с использованием режимов «Стоп-кадр», «Вперед», «Назад», «Увеличение», «Ускорение просмотра».



Рис. 10. Схема сбора статистических данных

Программная поддержка позволяет быстро выбрать интересующий видеофрагмент, детально его просмотреть в разных режимах. Испытания производились на одноканальной и четырехканальной аппаратуре. Телекамеры установлены на обрессоренной части у крайних осей головной единицы ПС.

Эффективность использования средств видео инспекции подтверждена результатами промышленных испытаний, представленных на рис. 11. Критерием оценки эффективности средств видео инспекции является расход смазочного материала (в граммах) при смазывании колес одного электровоза серии ВЛ80 в течение одного квартала.

Применение системы видео инспекции для изучения процесса нанесения смазочного материала на гребни колес электровоза серии ВЛ80, позволило свести к минимуму недостатки процесса смазывания твердыми смазочными материалами. А также устранить конструктивные недостатки гребнесмазывателей ГРС 20.07 и повысить ресурс смазочных материалов на 16 %. (рис. 11).

В настоящее время съемная система видео инспекции обладает ограниченными возможностями и работы по ее модернизации и усовершенствованию продолжают. Например, как показали промышленные испытания, процесс смазывания колес подвижного состава без исследования температуры поверхности контакта колеса и рельса изучен не полностью.

Еще одним немало важным фактором повышения ресурса системы «колесо–рельс» является изучение уровня шума, вызываемого взаимодействием колес подвижного состава и

рельсов в прямых и кривых участках пути. Поэтому необходима установка контрольно-измерительного оборудования, например, датчиков температуры контакта колеса и окружающей среды и шумомера колес и рельсов. Следующим этапом является модернизация данной системы с установкой и использованием вышеуказанных контрольно-измерительных приборов и апробации модернизированного комплекса в промышленных условиях.

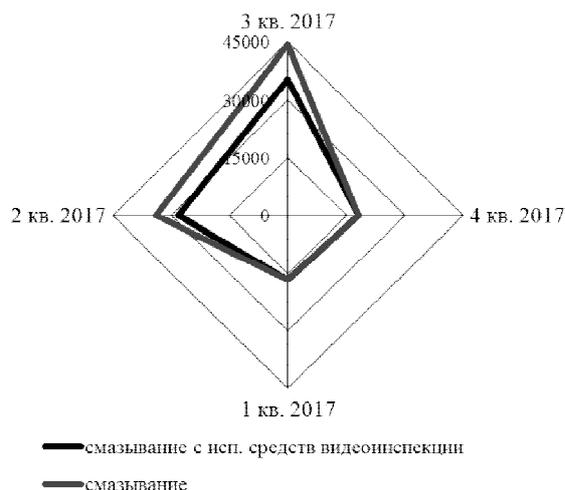


Рис. 11. Сравнительные эксплуатационные результаты ежеквартального расхода смазочных материалов

При всех вышеперечисленных преимуществах и недостатках представленных средств видео инспекции и диагностики инфраструктуры пути и колес подвижного состава специалисты фирм-производителей продолжают совершенствовать системы видео инспекции. В последние годы наблюдается интеграция работ в этой области с трудами специалистов ведущих мировых фирм.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Щелоков, А.И., Косилов, Р.А. Экспериментальный видеомониторинг железнодорожного пути // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 9. – С. 14-15.
- Диагностика и мониторинг объектов инфраструктуры / Бирюзов В.П. // Евразия Вести. – 2015. – № 9. Интернет-ресурс: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2015-07a04>. Дата обращения: 07.08.2018.
- Машины и оборудование для диагностики пути. Интернет-ресурс: <https://sps.gis.ru.net/article/masiny-i-oborudovanie-dla-diagnostiki-puti>. Дата обращения: 09.07.2018.
- Марков, А.А. Зарубежные системы контроля рель-

сов // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – № 9. – С. 32.

5. **Оптимизация** фрикционных механических систем на базе модельного эксперимента // Докторская диссертация. П.Н. Щербак. – 2001. – С. 250-261.

6. **Майба И.А., Глазунов Д.В.** Диагностика работы гребнерельсосмазыватьеля при помощи телевизионно-цифрового комплекса // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2010. – № 3 (39). – С. 24-29.

7. **Официальный сайт** компании Plasser & Theurer. Интернет – ресурс: <https://www.plassertheurer.com/en/home/home.html>. Дата обращения: 03.09.2018.

8. **Машкович, О.Н.** Оптимизация процесса взаимодействия колеса с рельсом за счёт трения // Железнодорожный транспорт за рубежом. – Сер. IV., – 1998. – Вып. 5, 6. – С. 4 – 8.

9. **Симаков, О.Б.** Вектор в будущее // Автоматизация в промышленности. – 2018. – №4. – С. 49-51.

10. **Ефремов, А.Ю., Яковлев, П.Г., Левчук, Н.А., Шох, Д.А.** / Экспо 1520: движение к цифровой железной дороге // Железные дороги мира. – 2017. – №10. – С. 14-35.

11. **Яковлев, П.Г.** Интеллектуальные технологии контроля и диагностики // Железные дороги мира. – 2017. – №2. – С. 61-67.

12. **Акопян, А.Г., Старцев, А.М., Бугаенко, В.М.** / Инновации в диагностике инфраструктуры // Путь и путевое хозяйство. – 2015. – №11. – С. 19-21.

13. **Майба И.А., Глазунов Д.В., Мироненко А.А.** Трибологические исследования контакта «колесо-рельс» телевизионно-цифровым методом. // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2010. – № 3(12). – С. 87-90.

14. **Телевизионно-цифровой метод** оценки смазывания контакта «колесо-рельс». Майба И.А., Глазунов Д.В., Данилейко Д.А. // Сб. Транспорт-2009. Труды Всерос. науч.-практ. конфер., посв. 80-летию РГУПС: в 3-х ч. 2009. – С. 361.

15. **Глазунов Д.В.** Визуализация ротапонтного метода смазывания гребней колес подвижного состава // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 7. – С. 70-72.

## REFERENCES

1. Shchelokov, A.I., Kosilov, R.A. Experimental track video-monitoring // *Track and Track Equipment*. – 2008. – No.9. – pp. 14-15.

2. Infrastructure object diagnostics and monitoring / Biryuzov, V.P. // *Eurasia News*. – 2015. – No.9. Internet-resource: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2015-07a04>. Address date: 07.08.2018.

3. *Machines and Equipment for Track Diagnostics*. Internet-resource: <https://sps.gis.ru.net/article/masiny-i-oborudovanie-dla-diagnostiki-puti>. Address date: 09.07.2018.

4. Markov, A.A. Foreign systems for track control // *Track and Track Equipment*. – 2010. – No.9. – pp. 32.

5. Friction mechanical system optimization based on model experiment // P.N. Shcherbak, *Thesis for Dr. Sc. degree*. – 2001. – pp. 250-261.

6. Mayba, I.A., Glazunov, D.V. Diagnostics of rail crest lubricator work using TV-digital complex // *Bulletin of Rostov State University of Communications*. – 2010. – No.3 (39). – pp. 24-29.

7. Official Site of Plasser&Theurer Co. Internet-resource: <https://www.plassertheurer.com/en/home/home.html>. Address date: 03. 09.2018.

8. Mashkovich, O.N. Optimization of wheel with rail interaction using friction // *Railway Transport Abroad*. – Series IV., - 1998. – Issue 5,6. – pp. 4-8.

9. Simakov, O.B. Vector to Future // *Automation in Industry*. – 2018. – No.4. – pp. 49-51.

10. Efremov, A.Yu., Yakovlev, P.G., Levchuk, N.A., Shokh, D.A. / Expo 1520: motion to digital railway // *World Railways*. – 2017. – No.10. – pp. 14-35.

11. Yakovlev, P.G. Intelligent technologies for control and diagnostics // *World Railways*. – 2017. – No.2. – pp. 61-67.

12. Akopyan, A.G., Startsev, A.M., Bugaenko, V.M. / *Innovations in Infrastructure Diagnostics* //

7. *Physical Encyclopedic Dictionary* / editor-in-chief A.M. Prokhorov; editorial board: D.M. Alexeev, A.M. Bonch-Bruevich, A.S. Borovik-Romanov [et al.]. – M.: Soviet Encyclopedia, 1983. – pp. 928.

14. Tele-digital method for lubrication assessment of “wheel-rail” contact. Mayba I.A., Glazunov D.V., Danileyko D.A. // *Transport – 2009 Proceedings of All-Russian Scientific-Pract. Conf. Dedicated to RSUC*: in 3 Parts. 2009. – pp. 361.

15. Glazunov, D.V. Visualization of rotaprint method for wheel crest lubrication of rolling-stock // *Railway Transport*. – 2018. – No.7. – pp. 70-72.

Рецензент д.т.н. И.С. Морозкин

