

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 656.259.1:629.4.027.5

С. Ю. БУРЯК^{1*}

^{1*}Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта bsyur@mail.ru

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ КОЛЕСА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Цель. В настоящее время серьёзной проблемой является разрушительное воздействие колес с дефектами на рельсы во время движения. Этот фактор выступает одним из решающих, обуславливающих необходимость перехода от традиционных ручных методов проверки и внешнего осмотра к автоматизированной системе диагностики подвижного состава во время эксплуатации. **Методика.** Для достижения этой цели рассмотрены основные виды повреждений колёсных пар и пути их появления. Приведены методы определения дефектов и отклонений от нормы поверхности катания колеса, которые используются в настоящее время в зарубежной практике и практике стран СНГ, а также их преимущества и недостатки. **Результаты.** Исследован и проанализирован звуковой сигнал движущегося колеса с дефектом. Обоснована необходимость использования автоматизированной системы, которая позволит значительно уменьшить влияние человеческого фактора. **Научная новизна.** Предложен собственный метод определения повреждений поверхности катания колес на основании диагностирования по звуку. **Практическая значимость.** Автоматизация системы слежения за состоянием колес подвижного состава позволяет более качественно производить их диагностику, выявлять повреждения на ранних стадиях и давать прогноз скорости их развития. При этом, кроме указания в подвижном составе колеса с дефектом, также есть возможность проследить динамику развития повреждения и выдать рекомендации по его устранению.

Ключевые слова: колесная пара; диагностирование по звуку; дефекты поверхности катания; повреждения колесных пар; автоматизированные системы определения дефектов

Введение

Рост объема перевозок, повышение скорости движения и тоннажа поездов заставляют обращать все большее внимание на оперативный контроль состояния ответственных частей подвижного состава. Решение задачи может быть, в частности, достигнуто путем создания ряда измерительных устройств, располагаемых на железнодорожном пути и вблизи него, и способных выполнять измерения непосредственно при движении поезда.

Одними из ответственных компонентов локомотивов и вагонов являются колесные пары. Несоответствие геометрических размеров колесных пар техническим нормам может привести к авариям. Колеса выполняют ряд функций, важных с точки зрения безопасности движения поездов: восприятие нагрузок от кузова и тележек подвижного состава; направление движения тележек в рельсовой колее; направление и вписывание подвижного состава в кри-

вые; обеспечение (в большинстве случаев) работы тормозов.

На техническое обслуживание и ремонт колесных пар в настоящее время приходится порядка 30 % всех затрат служб подвижного состава железных дорог. Большая их часть относится к затратам на восстановление профиля поверхности катания эксплуатируемых и замену изношенных или повреждённых колес.

В современных условиях интенсивного движения поездов автоматизация выявления технических неисправностей вагонов в эксплуатации имеет особое значение. Визуальный метод ненадежен и малопроизводителен. Значительные затраты на измерение износа вручную, а также простой подвижного состава при выполнении измерений, вынуждают проводить эти работы с большими интервалами времени. Автоматизация позволяет выполнять эти измерения в несколько раз быстрее. При этом обеспечивается повышенная точность измерений и возможность планирования технического обслуживания.

Цель работы

В настоящее время существует острая необходимость автоматизации процессов технического обслуживания подвижного состава, которые бы позволили сократить время пребывания подвижного состава на станции. Оптимальным вариантом автоматизированной диагностики является дистанционная диагностика во время эксплуатации.

Необходимо провести анализ существующих методов определения повреждений поверхности катания колес и их соответствие современным условиям эксплуатации, а кроме этого, на основании имеющегося опыта применения систем такого типа предложить свой метод, основанный на ударной диагностике.

Причины возникновения повреждений колёсных пар

Возникающие при качении стали по стали статические и динамические силы взаимодействия между подвижным составом и железнодорожным путем передаются через зону контакта, площадь которой составляет около одного квадратного сантиметра. В поверхностной части этой зоны возникают контактные напряжения и напряжения сдвига, величина которых может превышать предел текучести металла. Этим экстремальным нагрузкам противостоит упрочнение металла, сопровождающееся, однако, износом как колеса, так и рельса.

На первом этапе процесса износа происходит упрочнение зоны контакта в результате наклепа. При дальнейшем увеличении числа циклов нагружения возможны усталостные явления. В результате накопления напряжений происходит постепенное разрушение металла вплоть до его выкрашивания в некоторых местах. Типичными примерами таких повреждений являются сетка поверхностных трещин на головке рельса и выкрашивание металла на поверхности катания колес [6].

Под воздействием неровностей верхнего строения пути и на поверхности катания колес колесная пара совершает сложные пространственные перемещения, которые через буксы и рессорное подвешивание передаются тележке и кузову. Конусность поверхности катания колес

и подуклонка рельсов способствуют прямолинейному движению экипажа в прямых участках без набегания гребня колес на рельсы. Она же облегчает вписывание экипажа в кривые, компенсируя разность касательной скорости колес, катящихся по наружному и внутреннему рельсам, до того момента, пока наружное колесо не начнет направляться наружной рельсовой нитью. С этого момента колесо начинает проскальзывать по рельсу и возникают дополнительные поперечные силы между гребнем колеса и рабочей гранью наружного рельса. Это приводит к повышенному боковому износу рельсов и гребней колес, скрипу, уширению колеи и возникновению условий для вкатывания колеса на рельс [5, 1].

Ползуны и мартенсит в зонах теплового воздействия возникают в результате буксования и проскальзывания колесных пар. В этих зонах при указанных явлениях температура зачастую превышает 800 °С, что вызывает аустенитные превращения в колесной стали с образованием относительно мягкой высокотемпературной фазы, которая не способна выдерживать высокие эксплуатационные нагрузки, а затем и ползунов. Ползуны, если они не удалены своевременно при обточке колес, обуславливают повышение динамических (вплоть до ударных) нагрузок на колеса и рельсы и увеличивают вероятность их повреждения.

Когда буксование или проскальзывание прекращается, образовавшийся аустенит быстро охлаждается и, если скорость охлаждения достаточно высока, преобразуется в мартенсит, структуру твердую и хрупкую.

При этом в металле трещины часто развиваются вследствие экстремально высоких напряжений, возникающих при мартенситном превращении. Трещины, если их не удалить при перепрофилировании колес, распространяются, вызывая возникновение раковин и, в крайних случаях, излом колеса.

В процессе качения колеса по рельсу трещины увеличиваются и объединяются. Образующиеся при этом чешуйки металла могут деформироваться и сдвигаться с частичным взаимным перекрытием. Это приводит к выкрашиванию и растрескиванию поверхности катания. Дефекты поверхности катания способствуют увеличению динамических ударных

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

нагрузок на колесо, в результате чего трещины и иные дефекты распространяются по всей поверхности катания колеса [4, 6].

Методы определения дефектов поверхности катания колёсных пар

До сих пор износ измеряют вручную. Значительные затраты на эти работы, а также простой подвижного состава при выполнении измерений, вынуждают проводить эти работы с большими интервалами времени. Автоматизация позволяет выполнять эти измерения за несколько минут. При этом обеспечивается повышенная точность измерений и возможность планирования технического обслуживания.

Контроль колес с целью обнаружения некруглостей и ползунов является основным условием обеспечения безопасности движения, особенно для высокоскоростных поездов [9]. Некруглость колеса может стать причиной повреждения пути или ходовой части подвижного состава, снижения плавности хода и увеличения опасности схода с рельсов.

Существует несколько видов автоматизированного контроля колёс. Среди них наибольшее распространение получили такие системы, как «ARGUS» (разработана немецкой компанией «Hegenscheidt-MFD», Эркеленц), «ДИСК-К» и системы бесконтактного контроля «TreadView» (компания «AEA Technology Rail», Великобритания), «WPMS» («Lynxrail», Австралия), «WheelSpec» («Imagemap», США), «GeoTech» (разработана итальянской компанией «Tech-pogamma», выпускается компанией «Proximaat», Нидерланды).

Измерительная система «ARGUS» обмеряет и обследует колеса рельсового подвижного состава в движении. Установка длиной 20 м работает в специализированном депо «Берлин-Руммельсбург», обслуживающем поезд «ICE». Все измерения на поезде длиной 400 м, движущемся со скоростью около 10 км/ч, выполняются в течение 3 мин. Принцип измерения механический, и основан на том, что вершина гребня не изнашивается, а поэтому отклонение от нормы высоты гребня идентично отклонению круга катания от идеальной окружности и несет в себе информацию о величине некруглостей и глубине ползунов. Используется измерительная

балка (рис. 1), опусканию которой при нажатии на нее вершины гребня противодействует давление сжатого воздуха.

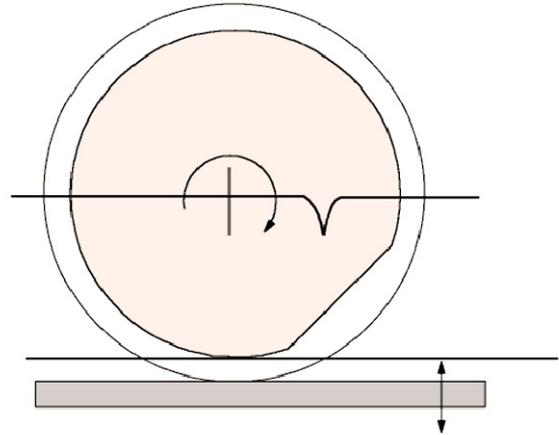


Рис. 1. Определение высоты гребня с помощью измерительной балки

Несмотря на то, что данный метод обладает высокой надежностью и достоверностью, он является устаревшим, поскольку используется контактный метод, который требует введения дополнительных ограничений при проведении диагностики, таких, например, как ограничение скорости движения, требования к профилю и плану пути. Тем не менее он вполне может конкурировать с оптическим или основанным на измерении действующих сил [8].

Аппаратура «ДИСК-К» предназначена для обнаружения во время движения поезда дефектов поверхности катания колес, вызывающих ударное воздействие колеса на рельс. Вследствие ударов колеса с дефектами по рельсу в последнем возникают ускорения, которые измеряются пьезоэлектрическими датчиками (пьезоакселерометрами). Они преобразуют динамическое воздействие колеса на рельс в электрический сигнал. Структурная схема аппаратуры «ДИСК-К» представлена на рис 2 [3].

Системы же, работающие на принципе бесконтактного оптического измерения, позволяют выявлять дефекты колеса задолго до того, как они могут стать причиной аварии.

Достоинство таких систем – возможность проведения измерений при текущей скорости движения подвижного состава. Недостатки связаны с тем, что освещение поверхности колеса в косых пучках при наклонном падении

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

сканирующего лазерного луча на поверхность колеса приводит к появлению дополнительных искажений, обусловленных изменением угла падения луча, и, как следствие, к возникновению дополнительных ошибок измерения.

На точность измерений влияет солнечный свет. Частично разработчики решили эту проблему установкой узкополосных фильтров. Максимальные значения скорости подвижного состава, при которых выполняются измерения, заявленные компаниями-производителями систем, не превышают 100 км/ч. Реально они еще ниже.

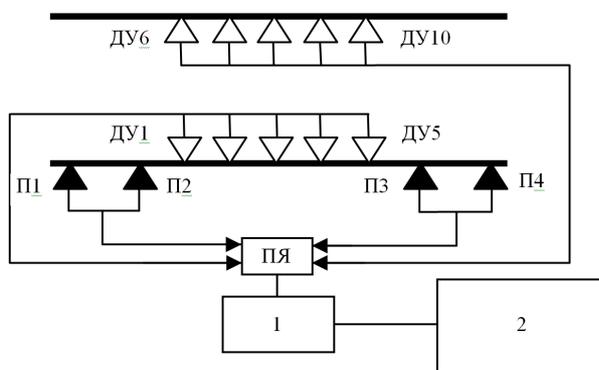


Рис. 2. Структурная схема аппаратуры «ДИСК-К»: 1 – постовая аппаратура; 2 – станционная аппаратура

Для исключения возможных ошибок, возникающих при освещении поверхности колеса под углом, необходимо изменять геометрию рельса, что влияет на его прочность.

К примеру, система «EVA» (рис. 3) для компенсации модификации рельса, вызванной расположением лазера и камеры ниже УГР, применяет дополнительные направляющие и защитные элементы. Следствием такого подхода является низкая скорость проведения измерений, которая не превышает 15 км/ч.

Одной из современных тенденций организации систем мониторинга колесных пар является интегрирование в рамках единого комплекса функций нескольких модулей, обеспечивающих получение полной информации о параметрах колесной пары. Примером может служить комплексная система «WISE» (компания «IEM», США), которая показана на рис. 4.

Кроме устройств измерения профиля и диаметра колеса, система «WISE» также включает

модули определения дефектов колеса и измерения проката и овальности. Принцип действия модуля определения дефектов основан на использовании электромагнитных ультразвуковых датчиков. Первый датчик генерирует волну, распространяющуюся в поверхностном слое колеса и обегаящую его по окружности, при этом параметры волны выбираются с учетом глубины ее проникновения в колесо и чувствительности к дефектам. Отраженный от дефекта сигнал принимается вторым датчиком.

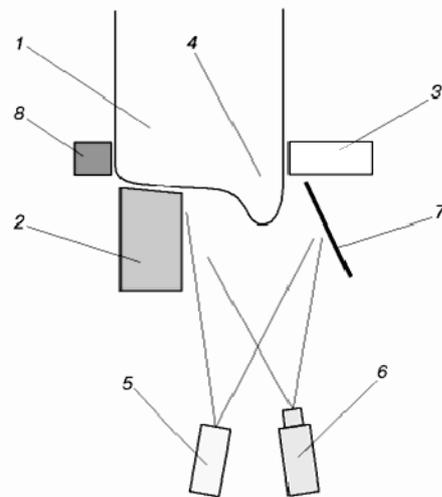


Рис. 3. Система «EVA»: 1 – колесо; 2 – направляющая плита; 3 – защитный рельс; 4 – гребень; 5 – лазер; 6 – камера; 7 – зеркало; 8 – датчик положения колеса

Весь комплекс измерений проводится при скорости подвижного состава 8 км/ч [2].

Диагностирование поверхности катания колеса по звуку во время движения

Рассмотренные методы проведения автоматизированного контроля состояния колесных пар имеют как достоинства, так и недостатки, и нельзя однозначно отдать предпочтение тому или иному методу. При этом, кроме сложности устройства, точности измерений и требований по ограничению скорости проведения диагностирования ещё нужно учитывать и стоимость разработки, условия установки, требования к обслуживанию, сложность обслуживания, периодичность проверок и тестовых испытаний.

Неизменным остаётся лишь тот факт, что поиск дефектов поверхности катания колеса должен быть непрерывным автоматизирован-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

ним процессом без вмешательства человека в процесс диагностирования, а лишь при решении возникших проблем. Это вызвано тем, что во время проведения осмотра колеса из-за конструктивных особенностей тележки и с учётом участка в зоне контакта колеса с рельсом, не осмотренной частью колеса остаётся более 50 % – у пассажирских и 40 % – у грузовых поездов.

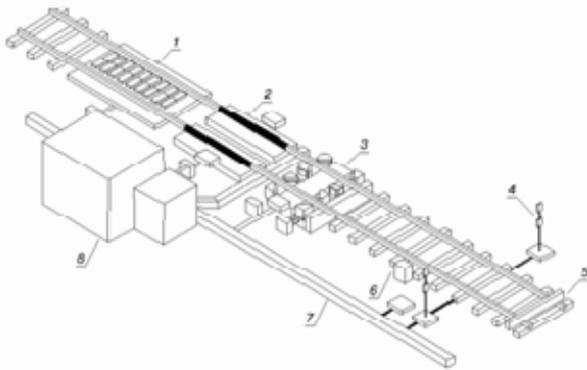


Рис. 4. Комплексная система контроля колесных пар «WISE»: 1 – модуль измерения проката и овальности; 2 – модуль определения дефектов колеса; 3 – модуль WISE для измерения профиля и диаметра колеса; 4 – датчик положения состава; 5 – датчик наличия посторонних предметов; 6 – модуль автоматической идентификации подвижного состава; 7 – канал для прокладки кабелей и волоконно-оптических световодов; 8 – помещение (бокс) для установки контрольно-измерительной аппаратуры

Любое перемещение колеса по рельсам сопровождается характерным звуком. При движении по прямому ровному участку идеальной колёсной пары звук от движения будет минимальным. Но, поскольку в процессе эксплуатации наблюдается незначительное различие в диаметрах колёс одной колёсной пары, то, даже, на прямом участке пути, будет наблюдаться незначительное проскальзывание колеса, имеющего меньший диаметр, что становится причиной возникновения звуков. Что же касается прохождения кривых, то даже колёсная пара с абсолютно одинаковыми диаметрами колёс будет издавать скрип от проскальзывания одного колеса, идущего по внешнему рельсу, поскольку диаметр внутреннего рельса меньше и второе колесо стремится пройти его быстрее. Это происходит из-за отсутствия дифференциации колёс в колёсной паре. При набегании колеса, имеющего дефект поверхности катания, на го-

ловку рельса происходит соударение контактирующих поверхностей, сопровождающееся характерным звуком.

Для проведения испытаний, связанных с записью звука, сопровождающего движущийся подвижной состав, был выбран участок пути, лежащий за входным светофором Н станции, за которым расположен весомер, и поэтому скорость на данном участке ограничена 15 км/ч для грузовых поездов, что делает начальные условия для проведения испытаний колёс одинаковыми. Микрофон М устанавливался на расстоянии 760 мм от головки рельса нечётного пути двухпутного участка (рис. 5) на удалении 2 м от стыка.

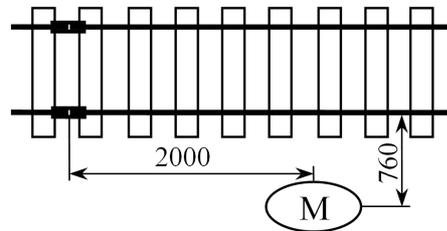


Рис. 5. Расположение микрофона во время записи звуков, исходящих при прохождении подвижного состава

Выбор расстояния производился с учётом ширины колеи 1520 мм и предположением дальнейшей установки микрофона в середине пути для одновременной записи от обеих сторон подвижного состава.

Весомер, в свою очередь, выполняет посредством встроенных тензодатчиков замеры изменений сил нагрузки на рельс, о чём сообщает в виде шифрограмм. Шифрограмма оформляется в виде телеграммы – натурального листа, в котором указывается нагрузка на ось, её порядковый номер, а также по девятибалльной шкале нестабильности нагрузки от колеса. Следует отметить, что длина поверхности катания колеса составляет 2983 мм, а зоны контроля весомера – 600 мм. Таким образом, проверенная тензодатчиками весомера часть колеса составляет всего 20,114 % от общей поверхности катания, что не обеспечивает должным образом контроль за состоянием поверхности катания колеса, который в полной мере должен быть проведен другими методами.

Результаты измерений

На рис. 6 показан сигнал, записанный при прохождении поезда, в составе которого находился вагон, имеющий дефект – ползун 0,7 мм.

Данный дефект в таком размере, согласно существующим инструкциям, не требует выполнения каких-либо действий со стороны работников железной дороги. Тем не менее, звуковое диагностирование даёт возможность выявлять и следить за развитием подобного рода дефектов на ранних стадиях развития.

На рис. 6 первые два повышения уровня звука до 20 дБ соответствуют прохождению стыкового соединения двух осей первого полувагона в составе поезда. Следующее резкое усиление звука до 60 дБ соответствует приближению второй оси правой стороны с ползуном. Четыре последних повышения уровня звука до 20 дБ возникли из-за прохождения по стыковому соединению рельсовых звеньев следующего полувагона.

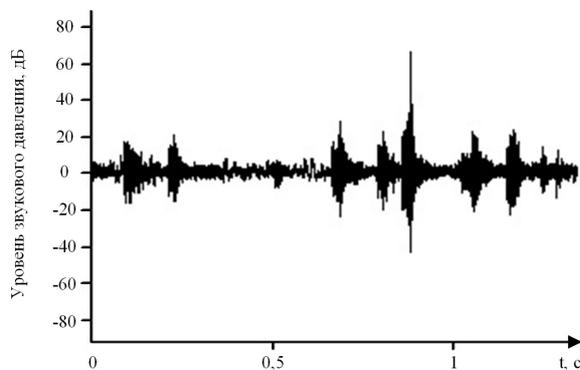


Рис. 6. Звуковая дорожка, записанная при прохождении подвижного состава с дефектом поверхности катания колеса

Следует также учесть, что при проведении записи звуков подвижного состава в движении весомером не был зафиксирован указанный выше недостаток, поскольку данный дефект не попал в зону контроля весомера.

Выводы

Для повышения надежности эксплуатации подвижного состава необходима система контроля состояния колесных пар, которая позволяет проводить диагностику во время движения

локомотива, а данные передавать работникам станции с предварительным указанием мест возникновения повреждений, возможных причин и рекомендаций по устранению выявленных дефектов.

Отметим, что большинство существующих методов диагностики поверхности катания колес требуют снижения скорости движения, а также имеют сложное техническое исполнение. Ударная же диагностика позволяет возложить сложность оборудования и трудности напольной установки на программный анализ сигналов, полученных во время движения подвижного состава без каких-либо требований к условиям эксплуатации.

Данная система позволит сократить время нахождения подвижного состава на станции для проведения технического осмотра. Кроме этого, увеличивается качество проведения контроля состояния подвижного состава за счет устранения человеческого фактора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Биттибаев, С. М. Некоторые вопросы оценки прочностной надежности колесных пар подвижного состава / С. М. Биттибаев, А. К. Кажигулов, С. К. Кулжанов, Р. В. Айдарбаев // Вестн. Каз. акад. трансп. и коммуникаций им М. Тынышпаева. – 2006. – № 2. – С. 7–12.
2. Венедиктов, А. З. Бесконтактный контроль параметров колесных пар / А. З. Венедиктов // Железные дороги мира. – 2004. – № 10. – С. 61–65.
3. Диагностика технического состояния вагонов. Железнодорожные вагоны. Введение в дисциплину [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vagoni-jd.ru/razdel_12.6%20diagnostika.php. – Загл. с экрана.
4. Кассиди, Ф. Перспективные материалы для изготовления колес / Ф. Кассиди // Железные дороги мира. – 2002. – № 5. – С. 40–41.
5. Краушав, Ф. Колеса во взаимодействии с рельсами / Ф. Краушав // Железные дороги мира. – 1998. – № 11. – С. 66–69.
6. Марков, Д. П. Контактная усталость колес и рельсов / Д. П. Марков // Вестник ВНИИЖТ. – № 6. – М. : ВНИИЖТ, 2001. – С. 8–14.
7. Луке, М. Стенд для исследования системы

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- колесо–рельс [Электронный ресурс] / М. Луке // Железные дороги мира. – 2005. – № 4. – С. 41–46. – Режим доступа: <http://www.zdmira.com/arhiv/2005/zdm-2005-no-04-TOC--5>. – Загл. с экрана.
8. Хаушилд, Г. Автоматическая диагностика колесных пар с помощью системы ARGUS / Ф. Кассиди // Железные дороги мира. – 2001. – № 12. – С. 36–42.
9. Moynihan, T. W. Railway Safety Technologies [Virtual Resource] / T. W. Moynihan, G. W. English // Research and Traffic Group. – 2007. – July. – 62 p. - Access Mode : URL : http://www.tc.gc.ca/media/documents/railsafety/exsmtechnologies%28res_trffc_grp%29_eng.pdf. – Title from Screen. – Date of Access: 25 January 2013.

С. Ю. БУРЯК^{1*}

^{1*}Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта bsyur@mail.ru

ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ КОЛЕСА РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Мета. На даний час великою проблемою є руйнуючий вплив коліс з дефектами на рейки під час руху. Цей фактор є одним з вирішальних, які обумовлюють необхідність переходу від традиційних ручних методів перевірки і зовнішнього огляду до автоматизованої системи діагностики рухомого складу під час експлуатації. **Методика.** Для досягнення цієї цілі розглянуті основні види пошкоджень колісних пар та шляхи їх появи. Наведено методи виявлення дефектів та відхилень від норми поверхні кочення колеса, які застосовуються в теперішній час в закордонній практиці та практиці країн СНД, також їх переваги та недоліки. **Результати.** Досліджений та проаналізований звуковий сигнал колеса з дефектом в русі. Обґрунтована необхідність використання автоматизованої системи, яка дозволяє значно зменшити вплив людського фактору. **Наукова новизна.** Запропоновано власний метод виявлення пошкоджень поверхні кочення колеса на основі діагностування за звуком. **Практична значимість.** Автоматизація системи стеження за станом коліс рухомого складу дозволяє більш якісно проводити діагностику їх пошкоджень, виявляти пошкодження на початкових стадіях і давати прогноз швидкості їх розвитку. При цьому, крім вказування місця знаходження пошкоджень у складі коліс, які мають дефекти, також є можливість прослідкувати динаміку їх розвитку та видавати рекомендації щодо їх усунення.

Ключові слова: колісні пари; діагностування за звуком; дефекти поверхні кочення; пошкодження колісних пар; автоматизовані системи визначення дефектів

S. YU. BURYAK^{1*}

^{1*}Department «Automation, Telemechanics and Communications» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after V. Lazaryan, Lazaryana Str., 2, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail bsyur@mail.ru

DIAGNOSTICS OF THE WHEEL THREAD OF RAILWAY ROLLING STOCK

Purpose. At present, the devastating impact of faulty wheels on rails on the move is a major problem of railway transport. This factor is one of the most important, which causes the shift from traditional manual methods of verification and external examination to the automated diagnostic system of rolling stock in operation. **Methodology.** To achieve this goal the main types of wheel damages and the way they appear are analyzed. The methods for defects and abnormalities of the wheel thread determining as well as their advantages and disadvantages were presented. Nowadays these methods are under usage in both the international practice and in the one of the CIS countries.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Findings. The faulty wheel sound on the move was researched and analyzed. The necessity of using the automated system, enabling one to reduce significantly the human factor is substantiated. **Originality.** The method to determine the wheel thread damage on the basis of a sound diagnostic is proposed. **Practical value.** Automatic tracking system of the wheels condition allows performing their more qualitative diagnostics, detecting a fault at the early stage and forecasting the rate of its extension. Besides detecting the location of the faulty wheel in the rolling stock, it is also possible to trace the dynamics of the fault extension and to give the recommendations on how to eliminate it.

Keywords: wheel set; sound diagnostics; defects of the wheel thread; wheel set damages; automated system of defect detection

REFERENCES

1. Bittibaev S.M., Kazhigulov A.K., Kulzhanov S.K., Aydarbayev R.V. Nekotoryye voprosy otsenki prochnostnoy nadezhnosti kolesnykh par podvizhnogo sostava [Some problems of strength reliability assessment of the rolling stock wheel set]. *Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsiy imeni M. Tynyshpayeva – Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev*, 2006, no. 2, pp. 7-12.
2. Venediktov A.Z. Beskontaktnyy kontrol parametrov kolesnykh par [Noncontact inspection of the wheelset parameters]. *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the world*, 2004, no.10, pp. 61-65.
3. *Diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya vagonov. Zheleznodorozhnyye vagony. Vvedeniye v disciplinu* (Diagnostics of the car technical condition. Railway wagons. Introduction to the discipline) Available at: http://www.vagoni-jd.ru/razdel_12.6%20diagnostika.php (accessed 25 January 2013).
4. Kassidi F. Perspektivnyye materialy dlya izgotovleniya koles [Promising materials for wheel manufacturing]. *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the world*, 2002, no. 5, pp. 40-41.
5. Kraushav F. Kolesa vo vzaimodeystvii s relsami [Wheels in interaction with rails]. *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the world*, 1998, no. 11, pp. 66-69.
6. Markov D.P. Kontaktnaya ustalost koles i relsov [Contact fatigue of wheels and rails], *Vestnik VNIIZHT – VNIIZHT Bulletin* (Bulletin of the Railway Research Institute), 2001, no. 6, pp. 8-14.
7. Luke M. Stend dlya issledovaniya sistemy koleso-rels (Testbench for wheel–rail system research). *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the world*, 2005, no. 4, pp.41-46. Available at: <http://www.zdmira.com/arhiv/2005/zdm-2005-no-04 TOC--5> (Accessed 25 January 2013).
8. Khaushild H. Avtomaticheskaya diagnostika kolesnykh par s pomoshchyu sistemy ARGUS [Automatic diagnostics of wheelset with the ARGUS system]. *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the world*, 2001, no. 12, pp. 36-42.
9. Moynihan T.W., English G. W. Railway Safety Technologies. *Research and Traffic Group*, 2007. 62 p. Available at: URL: http://www.tc.gc.ca/media/documents/railsafety/exsmtechnologies%28res_trffc_grp%29_eng.pdf. (Accessed 25 January 2013).

Статья рекомендована к публикации д.ф.-м.н., проф. В. И. Гаврилюком (Украина), д.ф.-м.н., проф. А. В. Коваленко (Украина)

Поступила в редколлегию 01.10.2012

Принята к печати 21.02.2013