

УДК 620.179.141:629.4.027

*А. Г. ОТОКА<sup>1</sup>, А. М. ЛЯХ<sup>2</sup>, П. А. ДАШУК<sup>3</sup>, О. В. ХОЛОДИЛОВ<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Гомельское вагонное депо, РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги», Гомель, Беларусь*

*<sup>2</sup>Могилевское вагонное депо РУП «Могилевское отделение Белорусской железной дороги», Могилев, Беларусь*

*<sup>3</sup>Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

## **ТЕХНОЛОГИЯ МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ ЦЕЛЬНОКАТАНЫХ КОЛЕС НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ СТЕНДЕ**

Предлагается технология автоматизированного магнитопорошкового контроля цельнокатанных колес при текущем и среднем ремонте колесных пар вагонов. В качестве оборудования проведения автоматизированного контроля рассматривается специально разработанный стенд на примере макета СМДКП-01.300588.121192.АА.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, магнитопорошковый метод, колесная пара, колесо цельнокатаное, способ приложенного магнитного поля.

Безопасность эксплуатации механических систем железнодорожного подвижного состава обеспечивается путем регулярного проведения неразрушающего контроля деталей и узлов. Еще в 1946 г. термин дефектоскопия на железной дороге означал метод магнитного и электромагнитного анализа, применяемый при контроле качества стальных и чугунных изделий в целях обнаружения внутренних и внешних дефектов [1, с. 137]. В зависимости от их характера применяются различные способы магнитной дефектоскопии [2], которые реализованы в приборах, называемых дефектоскопами.

В настоящее время на железной дороге наибольшее распространение получил магнитопорошковый метод, с помощью которого проверяют наличие поверхностных (а при определенных условиях подповерхностных) дефектов практически во всех деталях вагонов и локомотивов. Масштабность применения магнитопорошкового контроля (далее – МПК) объясняется высокой производительностью, наглядностью результатов контроля и высокой чувствительностью. При правильной технологии контроля деталей этим методом обнаруживаются трещины и другие дефекты на начальной стадии их появления, когда установить их наличие без использования специальных методов трудно или невозможно.

Магнитопорошковый контроль цельнокатаного колеса также возможен, но только при тщательном выполнении операций или переходов технологического процесса (рисунок 1). Достоверность результатов неавтоматизированного «ручного» магнитопорошкового метода контроля во многом определяется квалификацией, навыками и сосредоточенностью дефектоскописта в процессе работы [3].

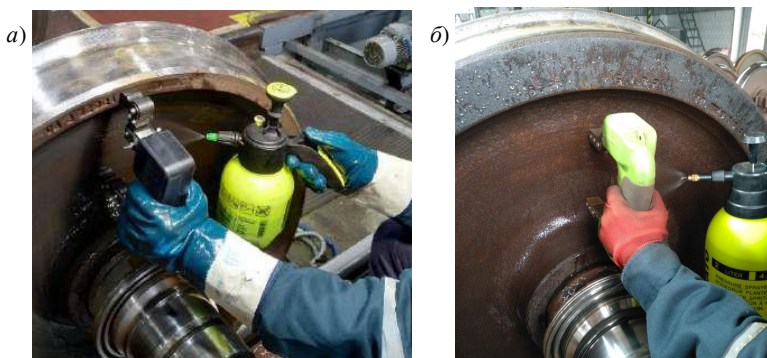


Рисунок 1 – Магнитопорошковый контроль цельнокатаного колеса («ручной» способ):  
*а* – контроль приободной части и диска колеса при помощи электромагнита МЭД-120;  
*б* – контроль диска колеса при помощи электромагнита Magnaflux Y1

Дефектоскопист осуществляет намагничивание определенной зоны контроля с одновременной подачей суспензии, после чего следит за скоплением валика магнитного порошка. Полусное намагничивание цельнокатаного колеса проводится при помощи электромагнита по участкам контролируемой поверхности с шагом, не превышающим размер области эффективной намагниченности. При этом должны соблюдаться требования к размерам и качеству частиц магнитного индикатора, расположению объекта контроля по отношению к намагничивающему полю, параметрам электрического тока в намагничивающем устройстве (далее – НУ) и т. д. Также при проведении МПК необходимо учесть характер труда дефектоскописта: помимо ручных монотонных манипуляций они требуют напряженного внимания, ответственности в принимаемых решениях и добросовестного выполнения всех технологических переходов. Очевидно, что вследствие накопления усталости вероятность влияния субъективного фактора на действия дефектоскописта увеличивается, а достоверность контроля уменьшается. Работник, проводящий ручной МПК, должен иметь высокую квалификацию, чтобы не пропустить или не выявить дефект по тем или иным причинам. Кроме того, дефектоскопист наряду с хорошими теоретическими знаниями о методе должен быть обеспечен качественными материалами и современным оборудованием для проведения контроля [4].

Повышение производительности контроля с обеспечением высокого уровня его достоверности является актуальной проблемой, и ее решение возможно лишь путем автоматизации процесса контроля [5]. Оно может быть реализовано путем создания стенда проведения автоматизированного МПК, при котором перед дефектоскопистом ставится задача только осмотра поверхности колеса [6]. Наличие такого стенда дает возможность не только увеличения производительности, но и повышения качества «ручного» контроля, улучшения условий труда дефектоскописта и др.

Для проведения неразрушающего контроля люминесцентным магнитно-порошковым методом цельнокатаных колес, напрессованных на оси типа РУ-1, РУ1Ш, РВ2Ш, разработан макет стенда СМДКП-01.300588.121192.АА (далее – стенд), принцип работы которого представлен в статье [7]. Его предполагается использовать при текущем и среднем ремонте колесных пар (КП) вагонов для обнаружения дефектов любой ориентации, имеющих выход на поверхность, к которым в соответствии с руководящим документом [8] относят, как правило, трещины (код дефекта 411, 511, 513, 514, 515, 516, 517).

Конструктивно стенд (рисунок 2) включает:

- пульт управления 1;
- подъемно-поворотное устройство 2 с приводом вращения КП через ролики-опоры, на которых удерживается ось;
- две ванны 3, которые служат для размещения намагничивающих устройств и резервуаров слива магнитной суспензии;
- системы циркуляции магнитопорошковой суспензии 4 с насосами, питающим резервуаром и распылителями из нержавеющей и коррозионно-стойких материалов;
- электрический шкаф 5 с источником тока и схемой управления;
- ультрафиолетовый (далее УФ) излучатель 6 или источник синего света;
- намагничивающие устройства в виде параллельно располагаемого проводника 7 для левой ванны (витки силового кабеля размещены параллельно радиусу колеса) и соленоида (катушки) 8 продольного намагничивания, образованного витками гибкого силового кабеля для правой ванны.

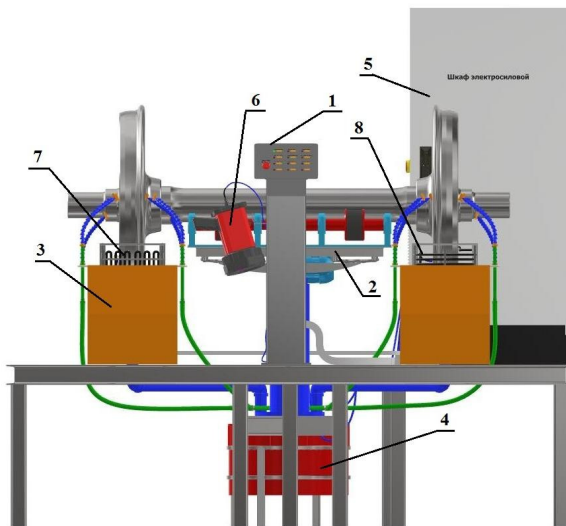


Рисунок 2 – Макет стенда автоматизированного МПК

Габаритные размеры стенда составляют (не более): длина – 4200 мм, ширина – 1950 мм, высота при установленной колесной паре – 2000 мм.

Основная задача стенда состоит в обеспечении выполнения условия, чтобы цельнокатаное колесо намагничивалось одновременно с поливом магнитной суспензией (способ приложенного поля).

В качестве НУ используется гибкий медный изолированный кабель диаметром 15–20 мм, который намотан внутри каркаса, изготовленного из материалов с наименьшей магнитной проницаемостью. В одной из ванн кабель наматывается продольно каркасу, образуя соленоид, а во второй – поперечно, что обеспечивает размещение проводника параллельно проверяемой поверхности. Такое расположение позволяет выявлять разнонаправленные дефекты при совпадении ориентации трещины и направления намотки кабеля. Исключением является выявление трещин в радиальном направлении на основном сечении обода, при котором намагничивание осуществляется соленоидом.

Суспензия используется многократно благодаря наличию насоса, который возвращает ее к цельнокатаному колесу. В резервуаре суспензия перемешивается, что не дает магнитным частицам оседать на дно.

Электроснабжение НУ обеспечивается источником тока (генератором). Требуемое значение силы тока выставляется исходя из расчета или на основе эксперимента, при котором после подачи тока измеряется тангенциальная составляющая напряженности поля на поверхности участка колеса (для выявления дефектов измеренное значение должно быть не менее 25 А/см [9]). Проверку качества магнитных индикаторов выполняют по настроенному образцу с искусственными поверхностными дефектами, выполненному в виде вставки с узким плоским пазом, имеющим ширину раскрытия от 20 до 30 мкм. При нанесении магнитного индикатора может образовываться рисунок, повторяющий контуры вставки полностью или частично, однако оценку работоспособности стенда проводят только по наличию порошка над пазом [10]. В случае неудовлетворительного качества рисунка дефектоскопист производит замену магнитной суспензии, в качестве которой используется люминесцентный порошок яркого цвета (зеленый, красный и т. п.).

Перед установкой на стенд колесной пары она должна пройти мойку в моечной машине. Целесообразно, чтобы мойка соответствовала современным требованиям и была бесконтактной. Если после мойки поверхность колес оказывается непригодной к МПК, то они должны пройти через моечную машину повторно.

*Технология автоматизированного магнитопорошкового контроля цельнокатаных колес на макете стенда предполагает выполнение следующих операций:*

1 КП подается по технологическим рельсам или краном на установочную позицию подъемно-поворотного устройства.

2 Подъемно-поворотным устройством КП устанавливается таким образом, чтобы обеспечить опускание цельнокатаных колес к резервуарам с НУ.

3 При помощи пневматического привода (ВР1) КП опускается вниз к НУ (рисунок 3). В нижнем положении КП фиксируется (рисунок 4).

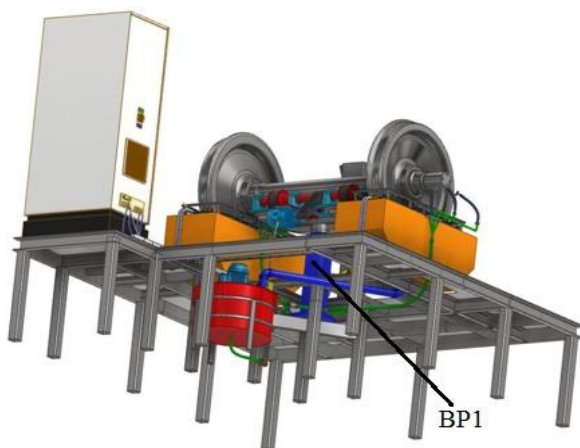


Рисунок 3 – Пневматический привод (ВР1) подъема и опускания КП

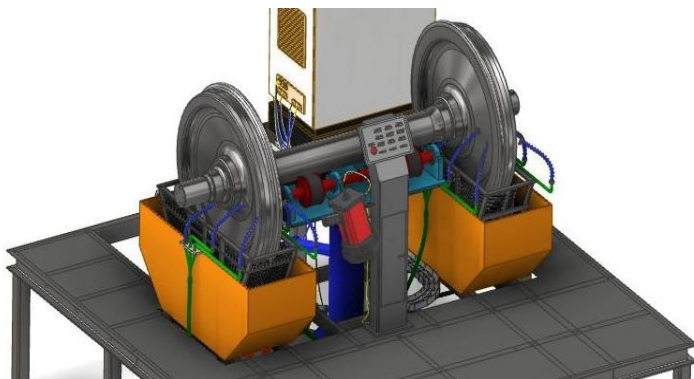


Рисунок 4 – Колесная пара в нижнем положении

4 При нажатии кнопки «вращение» на пульте управления запускается вращение КП, которое осуществляется двигателем М1 (рисунок 5). Кнопка «намагничивание поперечное» приводит в действие намагничивание левой ванны (для выявления поперечных трещин), кнопка «намагничивание продольное» – правой (обнаружение продольных трещин).

5 Насосной станцией осуществляется подача магнитной суспензии в зону контроля. Электродвигатель М2 отвечает за перемешивание суспензии, а электродвигатель М3 – за ее подачу в зону контроля (см. рисунок 5). Для направленной равномерной подачи суспензии с каждой стороны колеса подводятся гибкие шланги с наконечниками (рисунок 6).

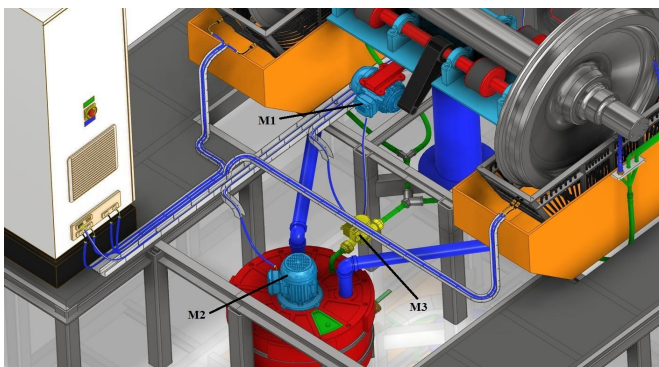


Рисунок 5 – Электродвигатели, входящие в состав стэнда:  
 М1 – электродвигатель вращения КП; М2 – электродвигатель мешалки;  
 М3 – электродвигатель насоса

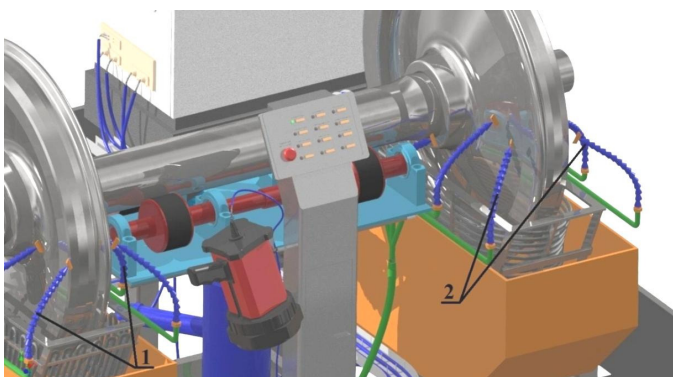


Рисунок 6 – Подводка гибких шлангов с наконечниками в зону контроля колеса  
 1 – гибкие шланги для левой ванны; 2 – гибкие шланги для правой ванны

6 Для начала контроля дефектоскопист подносит УФ-фонарь или источник синего цвета к намагничиваемому в данный момент левому цельнокатаному колесу и проводит визуальный осмотр на наличие скопления валиков магнитного порошка. После осмотра левого колеса дефектоскопист прекращает его намагничивание и переходит к намагничиванию и осмотру правого. При этом дефектоскопист должен понимать, какие трещины при данной схеме намагничивания он ищет, так как зная направление их развития, дефектоскопист быстрее и увереннее распознает все индикации.

*Примечания:*

Применяемый тип магнитного порошка должен быть согласован с используемым источником освещения, например, при использовании источника синего света магнитный индикатор должен быть предназначен для данного света с определенной длиной волны в соответствии с паспортом.

При осмотре контролируемой поверхности в УФ-излучении следует применять защитные очки.

7 При обнаружении места скопления магнитного порошка на поверхности цельнокатаного колеса дефектоскопист должен внимательно изучить эту зону и принять решение о пригодности КП для дальнейшего использования. В случае нахождения недопустимого дефекта КП бракуется.

8 После осмотра правого цельнокатаного колеса отводятся гибкие шланги для двух ванн в положение, не препятствующее подъему КП.

9 КП при помощи пневматического привода ВР1 поднимается на максимальное расстояние (рисунок 7), после чего поворачивается вручную на 180°. Далее повторяются операции, описанные в п. 2–8, что позволяет для левого колеса использовать продольное намагничивание (ранее было поперечное), а для правого – поперечное (было продольное).

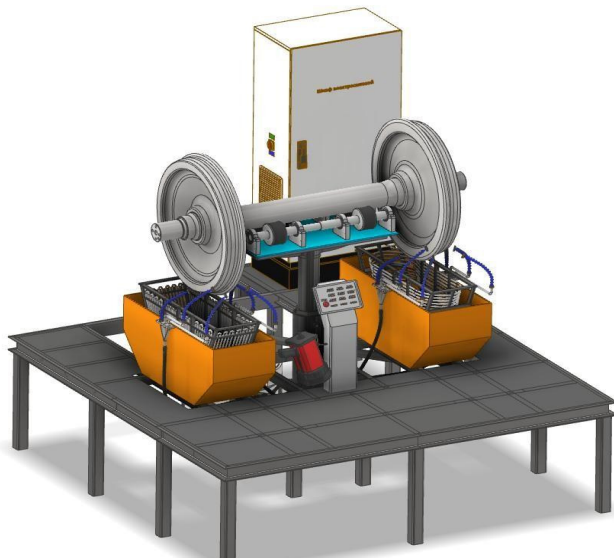


Рисунок 7 – Верхнее положение КП после подъема

10 Операции размагничивания, как правило, не требуется [9]. При возникновении необходимости ее проведения используется переменный ток частотой 50 Гц путем плавного уменьшения амплитудного значения тока до нуля.

11 По окончании контроля колесная пара поднимается максимально вверх (см. рисунок 7) и поворачивается на 90° с дальнейшим опусканием ее на технологический путь.

12 Запись о результатах контроля цельнокатаных колес отражается в журнале учета контроля магнитопорошковым методом деталей и составных частей КП. В случае браковки КП на нее дополнительно составляется прото-

кол контроля, форма которого утверждена на ремонтном предприятии и соответствует действующим технологическим нормативным правовым актам.

Время контроля цельнокатаных колес колесной пары на предлагаемом стенде составляет не более 15 мин, в то время как сейчас на Белорусской железной дороге норма времени контроля магнитопорошковым методом составляет 38,56 мин при текущем ремонте и 42,06 мин при среднем [11].

С целью обеспечения качественной работы стенда в начале смены дефектоскопист должен провести проверку его работоспособности с помощью настроечного образца (типа МП 32.20 ЦК, МП 32.20.100), представляющего собой КП с напрессованными цельнокатаными колесами, которые имеют искусственные разноориентированные дефекты.

Если в процессе работы стенда возникают сомнения о качестве магнитного порошка, выявляющую способность суспензии проверяют отдельно вне зоны стенда с помощью настроечного образца, намагничивание которого осуществляют любым НУ, что позволяет не тратить время на установку настроечного образца на стенд.

В случае недостаточного УФ-освещения при большой освещенности видимым светом следует использовать затемняющие экраны или черную непрозрачную ткань, которая навешивается на металлический каркас. Такая ткань должна легко убираться после проведения МПК [12].

**Выводы.** Разработанная технология автоматизированного контроля цельнокатаных колес позволяет уйти от «штатной» деповской технологии ручного вихретокового или магнитопорошкового метода, существенным недостатком которой является значительное количество случаев недоборковки изделий больших габаритов. Она позволяет проконтролировать все открытые участки цельнокатаного колеса, в том числе, зоны, которые не относят к основным. Использование предлагаемого стенда позволит повысить производительность МПК при значительном снижении субъективного фактора, который проявляется при больших объемах ремонта колесных пар.

Технология контроля на примере макета СМДКП дает возможность значительного улучшения качества дефектоскопии и увеличения производительности МПК при среднем и текущем ремонте в условиях вагонных депо и других ремонтных предприятий в 3–5 раз.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Краткий технический железнодорожный словарь / под общ. ред. Б. Н. Веденисова [и др.]. – М. : Трансжелдориздат, 1946. – 606 с.

2 Advances in applications of Non-Destructive Testing (NDT): A review / M. Gupta [et al.] // Advances in Materials and Processing Technologies. – 2022. – Vol. 8, is. 2. – P. 2286–2307.

3 Феноменология автоматизации магнитопорошкового метода контроля / К. А. Багаев [и др.] // В мире неразрушающего контроля. – 2008. – № 1 (39). – С. 10–13.

4 **Леднев, И. С.** Сравнение требований российских (ГОСТ) и международных стандартов (ISO) при проведении магнитопорошкового метода неразрушающего



контроля / И. С. Леднев, А. С. Генералов // Труды ВИАМ. – 2021. – № 10 (104). – С. 117–123.

5 Štarmar, S. Automated system for magnetic particle inspection of railway wheels // S. Štarmar, V. Matz // 10th European Conference on Non-Destructive Testing. – Moscow, 2010. – P. 7–11.

6 Отока, А. Г. Автоматизация магнитопорошкового контроля при текущем и среднем ремонте колесных пар / А. Г. Отока, А. М. Лях, О. В. Холодилов // Проблемы безопасности на транспорте: материалы XI междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 ноября 2021 г. : в 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 128–129.

7 Отока, А. Г. Стенд автоматизированного магнитопорошкового контроля цельнокатаных колес / А. Г. Отока, А. М. Лях, О. В. Холодилов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2022. – № 1. – С. 38–44.

8 РД ВНИИЖТ 27.05.01. Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар вагонов с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524 мм). – Утв. Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества (протокол от 19–20.10.2017, № 67). – 166 с.

9 ПР НК В.2 Правила неразрушающего контроля деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Специальные требования. – Утв. Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества (протокол от 19–20.11.2013, № 59). – Введ. 01.01.2015. – 90 с.

10 Контрольные образцы для определения работоспособности магнитопорошковых дефектоскопов и магнитных индикаторов (обзор) / А. Д. Кадосов [и др.] // Труды ВИАМ. – 2019. – № 5 (77). – С. 76–84.

11 Типовые нормы времени по неразрушающему контролю деталей и составных частей колесных пар грузовых вагонов при ремонте. Магнитопорошковый метод (утверждены приказом начальника Белорусской железной дороги от 11.08.2020 № 273Н). – 2020. – 24 с.

12 PTS Josef Solnar / Дефектоскопы и столы для магнитного контроля [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.ptsndt.com/en/sale/mt-magnetic-testing/mt-crack-detectors-sources>. – Дата доступа : 30.06.2022 г.

A. G. OTOKA<sup>1</sup>, A. M. LYAKH<sup>2</sup>, P. A. DASHUK<sup>3</sup>, O. V. KHOLODILOV<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gomel car depot, RUE "Gomel branch Belarusian Railway", Gomel, Belarus

<sup>2</sup>Mogilev wagon depot RUE "Mogilev branch Belarusian Railway", Mogilev, Belarus

<sup>3</sup>Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

## TECHNOLOGY OF MAGNETIC POWDER CONTROL OF SOLID-ROLLED WHEELS AT THE AUTOMATED STAND

The article proposes the technology of automated magnetic powder control of solid-rolled wheels during the current and average repair of railway car wheel sets. The specially designed stand on the base of the SMDKP-01.300588.121192.AA layout is used as an equipment for the automated control.

**Keywords:** non-destructive testing, magnetic powder control method, wheelset, solid-rolled wheel, method of applied magnetic field.

Получено 13.08.2022