

УДК 629.4.023:620.179.14

## Анализ остаточной намагниченности наружных колец подшипников буксового узла колесной пары при их размагничивании на установке УМДП-01

А. Г. Отока<sup>1</sup>, А. М. Лях<sup>2</sup>, О. В. Холодилов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Гомельское вагонное депо РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги», 246014, Гомель, ул. Телегина, 1а

<sup>2</sup> Могилевское вагонное депо РУП «Могилевское отделение Белорусской железной дороги», 212016, Могилев, ул. Первомайская, 128а

<sup>3</sup> УО «Белорусский государственный университет транспорта», 246653, Гомель, ул. Кирова, 34

**Для цитирования:** Отока А. Г., Лях А. М., Холодилов О. В. Анализ остаточной намагниченности наружных колец подшипников буксового узла колесной пары при размагничивании их на установке УМДП-01 // Бюллетень результатов научных исследований. — 2024. — Вып. 1. — С. 21–29. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-01-21-29

### Аннотация

**Цель:** сравнение значений остаточной намагниченности наружного кольца подшипника при различной его ориентации по отношению к намагничивающему полю на примере установки УМДП-01. Показать на практике неэффективность использования технологии размагничивания наружных колец подшипников буксовых узлов при расположении их в горизонтальной плоскости. **Методы:** сравнение полученных значений остаточной намагниченности методом прямых измерений при размагничивании наружных колец в горизонтальной и вертикальной плоскости по отношению к магнитному полю. На практике соблюдались одинаковые условия по намагничиванию и размагничиванию одного и того же наружного кольца путем пропускания импульсного тока по соленоиду и контактному стержню в режиме намагничивания и плавного снижения переменного тока в соленоиде для режима размагничивания. **Результаты:** эксперимент показал, что значения остаточной намагниченности наружного кольца при полном цикле размагничивания его в горизонтальной плоскости на установке УМДП-01 выше, чем при размагничивании его в вертикальной плоскости. Вертикальное размещение кольца по центру соленоида позволило размагнитить его с первого раза в положении А при неполном цикле размагничивания. **Практическая значимость:** показано, что технология размагничивания колец подшипников в горизонтальной плоскости так, как требует руководство по эксплуатации 9402.00.000 РЭ, зачастую приводит к нарушению требований нормативных документов в части допустимых значений остаточной намагниченности. Размагничивание наружных колец в вертикальной плоскости приведет к полному удовлетворению требований нормативных документов, увеличению производительности магнитопорошкового контроля в целом за счет сокращения цикла размагничивания и упрощения технологических переходов, связанных со сложностью установки объекта контроля в горизонтальной плоскости.

**Ключевые слова:** колесная пара, буксовый узел, наружное кольцо подшипника, размагничивание, остаточная намагниченность, магнитная установка УМДП-01, соленоид, переменный ток, импульсный ток.

### Введение

На сегодняшний день кольца подшипников буксового узла на наличие поверхностных и подповерхностных дефектов проверяют магнитопорошковым или автоматизированным вихретоковым методом.

На предприятиях вагонного и локомотивного хозяйств чаще используют магнитопорошковый метод, что связано в первую очередь с его высокой чувствительностью, простотой, наглядностью и низкой стоимостью оборудования. Для намагничивания колец используются такие установки, как УМДП-01, ТПС9706 и другие типы УДПП, РЭ2667, изготовленные собственными силами предприятий [1].

Особые требования предъявляются к операции размагничивания колец подшипников, так как кольца, изготовленные из ферромагнитных материалов, в процессе обработки подвергаются воздействию внешних магнитных полей и намагничиваются. Остаточная намагниченность колец способствует попаданию внутрь подшипников металлических частиц, что приводит к увеличению коэффициента трения деталей подшипников, повышенному износу и уменьшению ресурса. Для уменьшения остаточной намагниченности деталей их необходимо размагничивать. Вследствие высокой эффективности на практике широкое применение получил способ размагничивания деталей воздействием на них переменным магнитным полем с уменьшающейся до нуля амплитудой [2]. Размагничивание колец подшипников таким способом может происходить разными путями:

- плавным уменьшением амплитуды магнитного поля при неподвижности объекта контроля и намагничивающего устройства;
- уменьшением амплитуды магнитного поля в результате перемещения намагничивающего устройства (соленоида) от объекта контроля на определенное расстояние;
- уменьшением амплитуды магнитного поля в результате перемещения объекта контроля через неподвижное намагничивающее устройство (соленоид) или стационарный демагнетизатор.

При таких способах на размагничиваемое кольцо подшипника воздействует переменное магнитное поле, которое, замыкаясь через объект контроля, разориентирует области спонтанной намагниченности (домены) материала, что приводит к его размагничиванию.

На качество размагничивания влияют различные факторы, такие как параметры намагничивания (вид намагничивающего поля или тока, частота и длительность импульса, ориентация намагничивающего поля), характеристики металла (состав стали, твердость, коэрцитивная сила, магнитная вязкость) и др. [3].

На практике подмечено, что остаточная намагниченность наружных колец зачастую превышает допустимый порог 3 А/см, регламентированный требованиями нормативного документа [4]. При этом следует отметить, что производитель установки УМДП-01 устанавливает требования на размагничивание внутреннего кольца подшипника в вертикальном положении, как и при намагничивании, а наружного — в горизонтальном.

В соответствии с требованиями [5, 6] размагничивание колец в свободном состоянии производится согласно руководству по эксплуатации (РЭ) используе-

мого оборудования. Так, на основании РЭ [7] размагничивание наружного кольца проводится в четырех точках при вращении кольца по горизонтали на  $90^{\circ}$ .

### Результаты исследований и их обсуждение

Сравним на практике результаты размагничивания наружного кольца подшипника в двух плоскостях: в горизонтальной (рис. 1, а) на основании РЭ и в вертикальной, как и при намагничивании (рис. 1, б).

Намагничивание осуществлялось импульсами тока путем разряда предварительно заряженной конденсаторной батареи через намагничивающие устройства установки при вертикальном расположении кольца (полюсный способ намагничивания за счет продольного магнитного поля соленоида и при циркулярном способе полем, возникающим при прохождении импульса тока через контактный стержень). Количество циклов намагничивания задавалось переключателем SA4 и равнялось трем. В соответствии с РЭ амплитудное значение импульса тока намагничивания в соленоиде без детали составляло не менее 3 кА (продольное намагничивание) и не менее 4 кА — для циркулярного. Размагничивание кольца осуществлялось в том же соленоиде в режиме плавного уменьшения тока в намагничивающих обмотках соленоида до 0 А.

Остаточная намагниченность при намагничивании и размагничивании на установке УМДП-01 определялась на наружной поверхности кольца в положениях А, Б, В, Г измерителем магнитного поля ИМП-6 путем измерения нормальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_n$  три раза в каждом положении (поз. 1 — левый край, поз. 2 — центр кольца; поз. 3 — правый край).

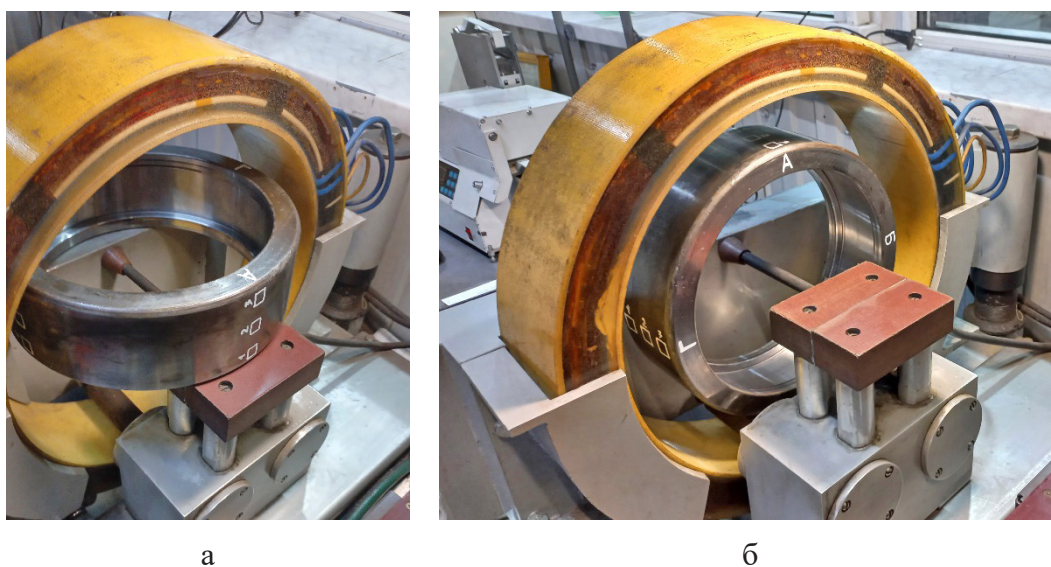


Рис. 1. Положение наружного кольца по отношению к намагничивающему полю  
а – в горизонтальном положении в соответствии с РЭ; б – в вертикальном положении

Остаточная намагниченность определялась в режиме прямого измерения для горизонтального расположения наружного кольца при размагничивании после намагничивания № 3 (измерение № 3), в то время как для вертикального расположения после намагничивания № 2 (измерение № 2).

В целях сопоставления разброса показаний при намагничивании наружного кольца измерения проводились четыре раза. Намагничивание кольца осуществлялось в положении А. Размагничивание кольца проводилось, начиная с положения А и заканчивая положением Г (кольцо вращалось четыре раза против часовой стрелки на  $90^{\circ}$ ). Результаты измерения остаточной намагниченности приведены в табл. 1.

С помощью прибора ИМП-6 фиксировали значения нормальной составляющей магнитного поля с указанием полярности (знак « $\leftarrow$ » или его отсутствие) [8].

Эксперимент показал, что после цикла размагничивания (поворот четыре раза на  $90^{\circ}$ ) кольцо было размагничено как при горизонтальном расположении, так и при вертикальном.

Однако показания при размагничивании кольца подшипника в горизонтальной плоскости, как требует РЭ на установку УМДП-01, выше, чем при размагничивании в вертикальной.

В соответствии с полученными результатами наружное кольцо было размагничено при вертикальной ориентации с первого раза в положении А. В то время как при горизонтальном расположении кольца значения остаточной намагниченности при размагничивании на установке не превысили 3 А/см только после поворота кольца на  $180^{\circ}$  в положении В.

На рис. 2 показано, как проводилось прямое измерение остаточной намагниченности  $H_n$  на поверхности кольца после размагничивания (а) и намагничивания (б).

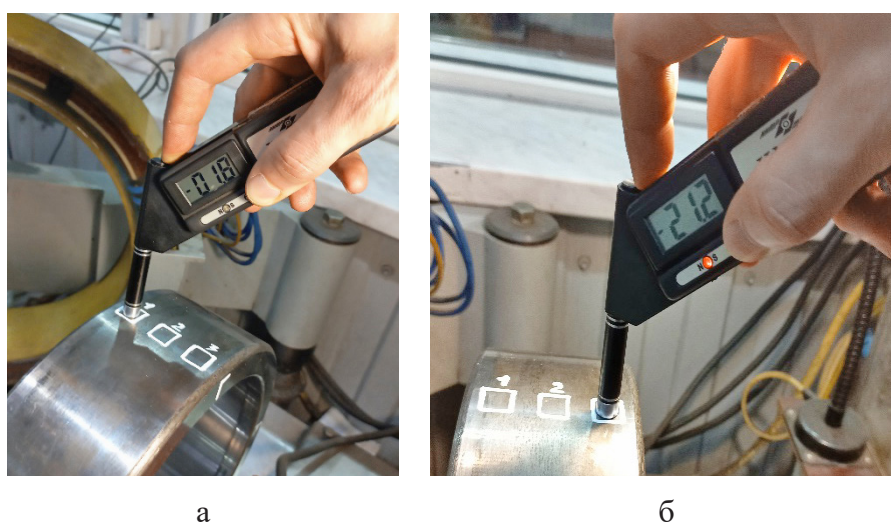


Рис. 2. Измерение остаточной намагниченности  $H_n$  на наружном кольце

а – результат размагничивания в вертикальной плоскости, положение Г, поз. № 1 (№ 4Г);

б – результат намагничивания в горизонтальной плоскости, измерение 1, положение Г, поз. № 3 (№ 4Г)

В ходе эксперимента было установлено, что в результате намагничивания (пропускание импульсов тока по соленоиду и контактному стержню одновременно) остаточное магнитное поле на наружной поверхности кольца распределяется неравномерно.

ТАБЛИЦА 1. Результаты измерений остаточной намагниченности наружного кольца при намагничивании и размагничивании на установке УМДП-01

Точки измерения напряженности магнитного поля после намагничивания кольца импульсным током, А/см				Точки измерения напряженности магнитного поля после размагничивания кольца переменным током в соответствии с РЭ в горизонтальном положении (измерение 3), А/см				Точки измерения напряженности магнитного поля после размагничивания кольца переменным током в вертикальном положении (измерение 2), А/см															
Измерение 1				Положение А				Положение А															
№1А	№2Б	№3В	№4Г	№1А	№2Б	№3В	№4Г	№1А	№2Б	№3В	№4Г												
1	23,7	1	25,4	1	-4,2	1	1,5	1	9,4	1	0,4	1	1,8	1	-1,3	1	-0,5	1	1,6	1	-3,0	1	-3,0
2	9,0	2	10,1	2	-11,1	2	-8,5	2	1,6	2	0,2	2	-1,4	2	-1,2	2	0,6	2	1,8	2	-2,1	2	-2,0
3	-3,2	3	4,1	3	-23,6	3	-21,2	3	-5,0	3	0,4	3	-6,9	3	-1,4	3	1,9	3	3,0	3	-1,9	3	-1,8
Измерение 2				Положение Б (поворот на 90°)				Положение Б (поворот на 90°)															
№1А	№2Б	№3В	№4Г	№1А	№2Б	№3В	№4Г	№1А	№2Б	№3В	№4Г												
1	21,4	1	26,5	1	-2,4	1	3,5	1	-0,0	1	2,3	1	-1,0	1	-3,2	1	-0,8	1	-1,0	1	-1,8	1	-1,4
2	7,0	2	10,7	2	-10,5	2	-8,3	2	-0,1	2	1,9	2	-0,7	2	-2,4	2	0,1	2	-0,3	2	-0,8	2	-0,8
3	-4,2	3	3,7	3	-23,1	3	-22,2	3	0,0	3	3,1	3	-0,7	3	-2,4	3	1,1	3	0,5	3	-0,0	3	-0,4
Измерение 3				Положение В (поворот на 180°)				Положение В (поворот на 180°)															
№1А	№2Б	№3В	№4Г	№1А	№2Б	№3В	№4Г	№1А	№2Б	№3В	№4Г												
1	20,7	1	25,3	1	-1,4	1	4,8	1	-2,8	1	-0,0	1	1,9	1	-0,9	1	-0,7	1	-0,7	1	-1,9	1	-1,7
2	6,6	2	10,3	2	-9,9	2	-7,2	2	-2,3	2	-0,0	2	1,6	2	-0,6	2	0,0	2	-0,1	2	-0,9	2	-1,0
3	-4,5	3	2,1	3	-22,2	3	-20,6	3	-2,9	3	0,2	3	2,0	3	-0,6	3	0,9	3	0,7	3	-0,1	3	-0,5
Измерение 4				Положение Г (поворот на 270°)				Положение Г (поворот на 270°)															
№1А	№2Б	№3В	№4Г	№1А	№2Б	№3В	№4Г	№1А	№2Б	№3В	№4Г												
1	22,4	1	25,2	1	-3,6	1	2,6	1	-1,1	1	-2,8	1	-0,1	1	1,6	1	-1,2	1	-0,5	1	-1,5	1	-1,8
2	8,8	2	10,8	2	-10,2	2	-8,0	2	-0,9	2	-2,1	2	-0,0	2	1,5	2	-0,3	2	-0,0	2	-0,6	2	-1,1
3	-3,8	3	5,1	3	-22,8	3	-21,2	3	-0,9	3	-2,6	3	0,1	3	1,9	3	0,6	3	0,7	3	0,1	3	-0,5
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div style="margin-bottom: 5px;"><span style="width: 10px; height: 10px; background-color: #f0f0f0; border: 1px solid black; display: inline-block;"></span> Минимальное значение остаточной намагниченности <math>H_n</math> на наружной поверхности кольца после намагничивания</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><span style="width: 10px; height: 10px; background-color: #ffff00; border: 1px solid black; display: inline-block;"></span> Значения остаточной намагниченности <math>H_n</math> по центру наружной поверхности кольца после намагничивания</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><span style="width: 10px; height: 10px; background-color: #00b0f0; border: 1px solid black; display: inline-block;"></span> Максимальное значение остаточной намагниченности <math>H_n</math> на наружной поверхности кольца после намагничивания</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><span style="width: 10px; height: 10px; background-color: #008000; border: 1px solid black; display: inline-block;"></span> Допустимое значение остаточной намагниченности <math>H_n</math> на наружной поверхности кольца после размагничивания</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><span style="width: 10px; height: 10px; background-color: #ff0000; border: 1px solid black; display: inline-block;"></span> Недопустимое значение остаточной намагниченности <math>H_n</math> на наружной поверхности кольца после размагничивания</div> </div>																							

Если в положении А и Б остаточная намагниченность достигает максимальных значений по левому краю кольца поз. 1 и минимальных (в ряде случаев недостаточных для выявления дефектов) по правому краю поз. 3, то в положении В и Г наоборот. Таким образом, на одной половине кольца (на наружной поверхности) дефекты будут выявляться более уверенно с левой стороны, а на второй половине — с правой стороны. По центру кольца остаточное магнитное поле распределяется равномерно и остаточная намагниченность после намагничивания достигает в среднем  $\approx 9$  А/см. Это объясняется тем, что на практике, как правило, остаточная намагниченность наблюдается вблизи углов и выступов деталей.

Однако в наших исследованиях не ставился вопрос о корректности работы установки УМДП-01. Целью было оценить значения остаточной намагниченности кольца при его различной ориентации по отношению к намагничивающему полю.

Если сравнить максимальные значения остаточной намагниченности в положениях А, Б, В, Г, то можно сделать вывод о нецелесообразности размагничивания наружного кольца в горизонтальной плоскости (рис. 3). В положении А и Б значения остаточной намагниченности  $> 3$  А/см (в положении А выше в 3 раза, в положении Б превышает на 0,2 А/см), в положении В и Г не превышают установленную норму. Однако данные значения близки к допустимой границе и отличаются на  $\approx 1$  А/см в отличие от показаний в положении В и Г при размагничивании кольца при вертикальном расположении.

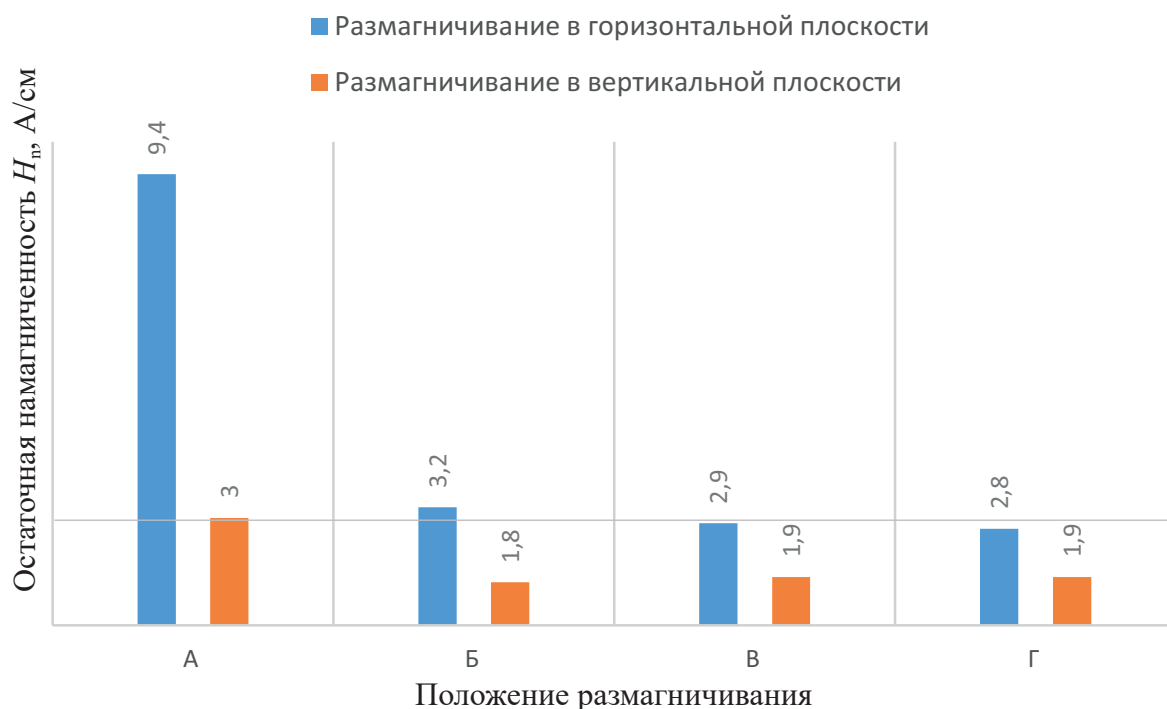


Рис. 3. Максимальные значения остаточной намагниченности  $H_n$  при различной ориентации наружного кольца в режиме размагничивания

## Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что необязательно придерживаться технологии размагничивания наружных колец в соответствии с руководством [7] на установку УМДП-01, поскольку достаточно размагнитить кольцо при вертикальной ориентации в положениях А и Б (один поворот кольца через роликовые опоры на  $90^0$ ). При этом имеет место необходимое размагничивание наружного кольца в вертикальной плоскости, обеспечивающее требуемый уровень остаточной намагниченности. К тому же устанавливать наружное кольцо массой 7,5 кг в горизонтальной плоскости на кронштейн внутри соленоида и поворачивать четыре раза на  $90^0$  затруднительно при больших объемах ремонта подшипников.

Следствием изменения технологии размагничивания является увеличение производительности магнитопорошкового контроля наружных колец подшипников.

## Библиографический список

1. Отока А. Г., Лях А. М. Обнаружение дефектов колец подшипников магнитопорошковым методом способом остаточной намагниченности // Контроль. Диагностика. 2022. Т. 25, № 7. С. 56–61. DOI: 10.14489/td.2022.07.pp.056-061.
2. Гульков Г. И., Мигдаленок А. А., Шайби Р. Преобразователь частоты демагнитизатора // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2009. № 3. С. 21–27.
3. Шарин П. А., Чуприн А. В., Чуприн В. А. и др. Применение импульсного тока для размагничивания деталей из магнитотвердых материалов / Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: сб. статей 6-й Междунар. науч.-техн. конф. Могилев: БРУ, 2017. С. 194–199.
4. ПР НК В.2–2013. Правила неразрушающего контроля деталей и составных частей колесных пар при ремонте. Специальные требования (утверждены Советом по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества, протокол от 19–20 ноября 2013 г. № 59). М.: АО «Кодекс». 2013. 88 с.
5. ТИ НК В.21-2.2019. Технологическая инструкция по неразрушающему контролю деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Магнитопорошковый метод (утверждена президентом НП «ОПЖТ»). 2019. 51 с.
6. ИШДЖ.25202.00017. Технологическая инструкция. Неразрушающий контроль деталей и составных частей колесных пар грузовых вагонов при ремонте. Магнитопорошковый метод (утверждена приказом гл. инженера Белорусской железной дороги от 03.04.2019 № 343НЗ). 2019. 74 с.
7. РЭ 9402.00.000. Руководство по эксплуатации. Установка для магнитной дефектоскопии свободных колец подшипников (УМДП-01). 2003. 43 с.

8. РЭ 422289-002-20872624-2003. Руководство по эксплуатации. Измеритель магнитного поля ИМП-6. 2014. 14 с.

Дата поступления: 08.11.2023

Решение о публикации: 23.02.2024

### Контактная информация

ОТОНА Александр Генрикович — аспирант, otokaaleksandr@gmail.com

ЛЯХ Алексей Михайлович — инженер лаборатории, pharmacist009@mail.ru

ХОЛОДИЛОВ Олег Викторович — доктор техн. наук, профессор, olhol@tut.by

## Analysis of the residual magnetization of the outer rings of the bearings of the axle box assembly of the wheelset when demagnetizing them on the UMDP-01 installation

A. G. Otoka<sup>1</sup>, A. M. Lyakh<sup>2</sup>, O. V. Kholodilov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Gomel car depot RUE “Gomel branch of the Belarusian Railway”, 1a, Telegina st., Gomel, 246014, Belarus

<sup>2</sup> Mogilev carriage depot RUE “Mogilev branch of the Belarusian Railway”, 128a, Pervomayskaya st., Mogilev, 212016, Belarus

<sup>3</sup> Educational institution “Belarusian State University of Transport”, 34, Kirova st., Gomel, 246653, Belarus

**For citation:** Otoka A. G., Lyakh A. M., Kholodilov O. V. Analysis of the residual magnetization of the outer rings of the bearings of the axle box assembly of the wheelset during their demagnetization on the UMDP-01 Installation // Bulletin of the results of scientific research. — 2024. — Iss. 1. — P. 21–29. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-01-21-29

### Abstract

**Objective:** to compare the readings of the residual magnetization of the outer ring of the bearing with its different orientation with respect to the magnetizing field on the example of the UMDP-01 installation. To show in practice the inefficiency of using the technology of demagnetization of the outer rings of the bearings of axle boxes when they are located in a horizontal plane. **Methods:** comparison of the obtained values of the residual magnetization by direct measurements during demagnetization of the outer rings in the horizontal and vertical planes with respect to the magnetic field. In practice, the same conditions for magnetization and demagnetization of the same outer ring were observed by passing a pulsed current through the solenoid and the contact rod in the magnetization mode and gradually reducing the alternating current in the solenoid for the demagnetization mode. **Results:** the experiment showed that the values of the residual magnetization of the outer ring during the full cycle of its demagnetization in the horizontal plane on the UMDP-01 installation are higher than when it is demagnetized in the vertical plane. The vertical placement of the ring in the center of the solenoid allowed it to be demagnetized from the first time in position A with an incomplete demagnetization cycle. **Practical significance:** the article shows that the technology of demagnetization of bearing rings in the horizontal plane, as required by the operating manual 9402.00.000 RE, often leads to a violation of the requirements of regulatory documents in terms of permissible values of residual magnetization. Demagnetization of the outer rings in the vertical plane will lead to full satisfaction of the requirements of regulatory documents, increase the productivity of magnetic powder control in general by reducing the demagnetization cycle and simplifying technological transitions associated with the complexity of installing the object of control in the horizontal plane.



**Keywords:** Demagnetization, residual magnetization, bearing outer ring, axle box, wheelset, magnetic installation UMDP-01, solenoid, alternating current, pulse current.

## References

1. Otoka A. G., Ljah A. M. Obnaruzhenie defektov kolec podshipnikov magnitoporoshkovym metodom sposobom ostatochnoj namagnichennosti // Kontrol'. Diagnostika. 2022. Vol. 25, no. 7. P. 56–61. DOI: 10.14489/td.2022.07.pp.056-061 (In Russian)
2. Gul'kov G. I., Migdalenok A. A., Shaibi R. Preobrazovatel' chastoty demagnitizatora // Jenergetika. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij i jenergeticheskikh ob'edinenij SNG. 2009. No. 3. P. 21–27. (In Russian)
3. Sharin P. A., Chuprin A. V., Chuprin V. A. i dr. Primenenie impul'snogo toka dlja razmagnichivaniya detalej iz magnitotverdyh materialov / Sovremennye metody i pribory kontrolja kachestva i diagnostiki sostojanija ob'ektov: sb. statej 6-j Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. Mogilev: BRU, 2017. P. 194–199. (In Russian)
4. PR NK V.2-2013. Pravila nerazrushajushhego kontrolja detalej i sostavnyh chastej kolesnyh par pri remonte. Special'nye trebovanija (utverzhdeny Sovetom po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv — uchastnikov Sodruzhestva, protokol ot 19–20 nojabrja 2013 g. No. 59). M.: AO "Kodeks". 2013. 88 p. (In Russian)
5. TI NK V.21-2.2019. Tehnologicheskaja instrukcija po nerazrushajushhemu kontrolju detalej i sostavnyh chastej kolesnyh par vagonov pri remonte. Magnitoporoshkovyj metod (utverzhdena prezidentom NP "OPZhT"). 2019. 51 p. (In Russian)
6. IshDZh.25202.00017. Tehnologicheskaja instrukcija. Nerazrushajushhij kontrol' detalej i sostavnyh chastej kolesnyh par gruzovyh vagonov pri remonte. Magnitoporoshkovyj metod (utverzhdena prikazom gl. inzhenera Belorusskoj zheleznoj dorogi ot 03.04.2019 No. 343NZ). 2019. 74 p. (In Russian)
7. RJe 9402.00.000. Rukovodstvo po jekspluatacii. Ustanovka dlja magnitnoj defektoskopii svobodnyh kolec podshipnikov (UMDP-01). 2003. 43 p. (In Russian)
8. RJe 422289-002-20872624-2003. Rukovodstvo po jekspluatacii. Izmeritel' magnitnogo polja IMP-6. 2014. 14 p. (In Russian)

Received: 08.11.2023

Accepted: 23.02.2024

### Author's information

Alexander G. OTOKA — Postgraduate (Graduate) Student, otokaaleksandr@gmail.com

Alexey M. LYAKH — Laboratory engineer, pharmacist009@mail.ru

Oleg V. KHOLODILOV — Doctor of Technical Sciences, Professor, olhol@tut.by