

# Влияние частоты вращения и массы колесных пар на результат вибродиагностики буксовых узлов на стенде УДП-2021

## The effect of rotation rate and mass of wheel pairs on the result of vibration diagnostics of axle boxes using a UDP-2021 stand

Отока А.Г.<sup>1\*</sup>, Холодилов О.В.<sup>2</sup>  
Alexander G. Otoka<sup>1\*</sup>, Oleg V. Kholodilov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Гомельское вагонное депо РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги», Гомель, Республика Беларусь, <sup>2</sup>УО «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, Республика Беларусь

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

<sup>2</sup>Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

\*otokaa@mail.ru



Отока А.Г.



Холодилов О.В.

**Резюме.** Целью статьи является сравнительная оценка результатов вибродиагностики при различной частоте вращения колесной пары (КП) по амплитудным значениям сигнала и шума от переднего подшипника буксового узла КП, в который установлен цилиндрический ролик со стандартным дефектом СОП АК 32.01. **Методы.** Для анализа амплитудных значений вибросигналов использовалась КП с различной толщиной обода колеса, 25, 45, 65 мм, в подшипник одного из буксовых узлов (передний) которой устанавливался дефектный ролик СОП АК 32.01. **Результаты.** В ходе эксперимента установлено, что с увеличением толщины ободьев колес КП вероятность перебраковки увеличивается, что подтверждается на практике годным состоянием деталей и составных частей буксового узла после демонтажа и детального осмотра. **Заключение.** Заключение «Брак», выдаваемое вибростендом УДП-2001СМ, непосредственно должно зависеть от частоты вращения КП. При этом частота ее вращения должна подбираться в зависимости от толщины ободьев колес.

**Abstract. Aim.** The paper aims to compare the results of vibration diagnostics at different wheel pair (WP) rotation speeds based on the peak signal values and noise from the front bearing of the WP axle box equipped with a SOP AK 32.01 cylindrical roller with a standard defect. **Methods.** The peak vibration signal values were analysed using WP with different wheel tread thicknesses, i.e., 25, 45, and 65 mm. The bearing of one of the axle boxes (front) was equipped with a defective SOP AK 32.01 roller. **Results.** In the course of the experiment, it was found that as the thickness of the wheel tread grows the probability of over-rejection increases, which is practically confirmed by the fitness of the parts and components of the axle box upon dismantling and careful inspection. **Conclusion.** The "Reject" conclusion issued by the UDP-2001SM vibration stand should directly depend on the WP rotation speed. Additionally, its rotation rate should be selected depending on the thickness of the wheel tread.

**Ключевые слова:** вибродиагностика, установка УДП-2001СМ, СОП АК 32.01, колесная пара, буксовый узел, ролик, подшипник, толщина обода, показатель перебраковки, виброакустический сигнал, преобразователь пьезоэлектрический виброизмерительный ДН-З-М1.

**Keywords:** vibration diagnostics, UDP-2001SM unit, SOP AK 32.01, wheel pair, axle box, roller, bearing, tread thickness, over-rejection indicator, vibroacoustic signal, DN-3-M1 piezoelectric vibration measuring transducer.

**Для цитирования:** Отока А.Г., Холодилов О.В. Влияние частоты вращения и массы колесных пар на результат вибродиагностики буксовых узлов на стенде УДП-2001 // Надежность. 2024. №1. С. 58-64. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2024-24-1-58-64>

**For citation:** Otoka A.G., Kholodilov O.V. The effect of rotation rate and mass of wheel pairs on the result of vibration diagnostics of axle boxes using a UDP-2021 stand. Dependability 2024;1:58-64. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2024-24-1-58-64>

**Поступила:** 23.06.2023 / **После доработки:** 18.01.2024 / **К печати:** 15.03.2024

**Received on:** 23.06.2023 / **Revised on:** 18.01.2024 / **For printing:** 15.03.2024

## Введение

Для оценки технического состояния и определения неисправностей подшипников буксовых узлов колесных пар (КП) вагонов на железной дороге используется популярностью установка УДП-2001СМ (рис. 1). Проверка работоспособности установки осуществляется с помощью контрольного образца (рис. 1, а), который представляет собой специальным образом сформированную КП, содержащую ролик с искусственным дефектом в виде пропила на всю длину 52 мм глубиной и шириной  $1,0 \pm 0,1$  мм в одном смонтированном буксовом узле, окрашенном в красный цвет (букса № 1) и исправные роликовые подшипники в другом смонтированном буксовом узле, окрашенном в зеленый цвет (букса № 2).

В состав установки УДП-2001СМ (рис. 1) входит:

- раскручивающий стенд, позволяющий проводить установку и раскрутку КП с частотой не менее 300 об/мин;
- пульт управления, с помощью которого осуществляется управление раскручивающим стендом и измерение частоты вращения КП;
- устройство вибродиагностики подшипников КП УДП-2001СМ, обеспечивающее оценку технического состояния, разбраковку буксовых узлов КП вагонов по альтернативному принципу «Брак» – «Годен» и сохранение результатов диагностирования;
- программное средство «База данных УДП-2001» используется для хранения и статистической обработки полученных результатов диагностирования и выдачи документа (протокол диагностики подшипников) для выбранной даты и времени.

В установке УДП-2001СМ применен стационарный съем виброакустических сигналов с пластин звукопроводов, на которые устанавливается диагностируемая букса. Крепление датчиков-акселерометров (преобразователь пьезоэлектрический виброизмерительный ДН-3-М1) к пластинам осуществляется с помощью стальной шпильки. Тем самым обеспечивается надежный, наиболее полный съем акустических сигналов.

При проведении вибродиагностики КП накатывается на стенд и опускается вниз к пластинам звукопроводов до тех пор, пока полностью не зафиксируется на опорных частях буксовых узлов. Тем самым элементы КП (ось и цельнокатанные колеса) своей массой воздействуют на детали подшипника. При раскрутке стендом КП до определенных оборотов, диагностирование осуществляется после вывода из зацепления приводных роликов. Электрические колебания с датчиков-акселерометров поступают на коммутационную планку блока питания, встроенного в пульт управления. Здесь помимо коммутации соединений производится частичное снижение добротности системы датчик-кабель, для уменьшения собственных шумов установки.

С коммутационной панели виброакустический сигнал поступает на устройство вибродиагностики КП УДП-2001, осуществляющее основной алгоритм диагностики буксовых узлов.

Электрические сигналы с пьезоэлектрических датчиков испытательного стенда поступают на входы усилителей, а с их выходов попадают на пиковые детекторы.

Продетектированные сигналы подаются на аналого-цифровые преобразователи, преобразующие мгновенные значения аналоговых сигналов в цифровой код. Полученный цифровой код принимается микропроцессором, который осуществляет всю дальнейшую обработку сигналов. Запоминающее устройство служит для хранения результатов диагностирования КП.

Для определения качества буксовых узлов и идентификации дефектов в устройстве УДП-2001 применяются три метода диагностики:

- амплитудный – служит для определения развитых дефектов. Сущность заключается в подсчете количества импульсов за интервал измерения, амплитуды которых превысили пороговое напряжение  $U_{пор}$  после цифровой обработки, условно принятое равным 3 В;
- энергетический – основан на вычислении общей энергии сигнала за интервал измерения и ее сравнения с заданным пороговым значением;
- временной – предназначен для идентификации повреждений элементов подшипника (ролик, внутреннее



Рис. 1. Установка УДП-2001СМ: а) стенд для раскрутки КП; б) пульт управления стендом с устройством вибродиагностики; в) преобразователь пьезоэлектрический виброизмерительный ДН-3-М1

кольцо, наружное кольцо). Сущность метода заключается в измерении временных интервалов между пакетами амплитуд виброускорений.

Измеренные периоды с определенным доверительным интервалом сравниваются с эталонными значениями, вычисляемыми по формулам:

$$T_{др} = \frac{D_p (D_b + D_p)}{D_b (D_b + 2D_p)} T_{в} \quad (1)$$

$$T_{дв} = \frac{2(D_b + D_p)}{N(D_b + 2D_p)} T_{в} \quad (2)$$

$$T_{дн} = \frac{2(D_b + D_p)}{ND_b} T_{в} \quad (3)$$

где  $T_{др}$ ,  $T_{дв}$ ,  $T_{дн}$  – периоды дефектов роликов, внутреннего и наружного кольца;

$N$  – количество роликов в подшипнике;

$D_b$  – диаметр внутреннего кольца;

$D_p$  – диаметр ролика;

$T_{в}$  – период вращения колесной пары.

Все рассмотренные методы диагностики в устройстве работают одновременно. Решение «Брак» выносится по амплитудному и энергетическому методу в том случае, если букса признана негодной согласно хотя бы одному из этих методов. Временной метод прямым образом на результат не влияет, но, тем не менее, несет дополнительную информацию при диагностике буксовых узлов.

Устройство представляет амплитуды виброакустических сигналов по 16-уровневой шкале (рис. 2). Диапазон изменения сигнала на выходе пикового детектора от 0 до 5 В разбивается на шестнадцать уровней с шагом  $(5/15) = 0,33$  В. В качестве значения амплитуды принимается уровень, который сигнал за время измерения превысил десять раз.

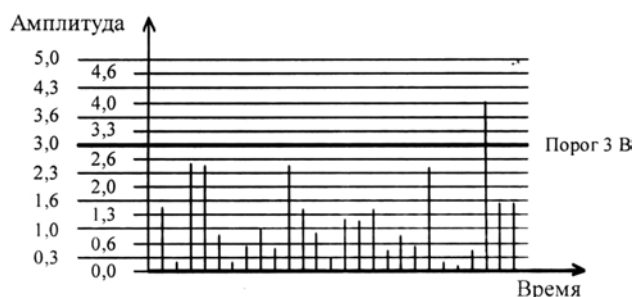


Рис. 2. Оценка амплитуды сигнала по 16-уровневой шкале

При этом устройство вибродиагностики должно показывать уровни импульсов и энергию шумов в 10 %-ном допуске от значений, установленных представителями фирмы-изготовителя, как правого, так и левого каналов (для правой и левой стороны КП). В случае неполучения желаемых результатов, настройка порога осуществляется при помощи переменных резисторов СП4-1, расположенных на встроенном в пульт управления блоке питания. Таким образом, уменьшая или увеличивая

степень демпфирования виброакселерометров, подстраивается эталонный уровень (порог) виброакустических импульсов и шумов [1].

В статье [2] были описаны подробно достоинства и недостатки установки УДП-2001 на примере сравнения с другими аналогичными стендами.

В данной статье нам хотелось обратить внимание на амплитудные значения сигналов и шума от переднего подшипника буксового узла КП, в который установлен цилиндрический ролик СОП АК 32.01 со стандартным дефектом, а также сравнить показания в зависимости от различной толщины ободьев колес (рис. 3).

## Результаты исследования и их обсуждение.

Дефект стандартного образца СОП АК 32.01.001 представляет собой ролик с пропилом по всей длине с глубиной  $1,0 \pm 0,1$  мм и шириной раскрытия  $1,0 \pm 0,1$  мм в соответствии с [3]. Стандартный образец СОП АК 32.01 применяется для контроля способности УДП-2001СМ определять неисправности осевых роликовых подшипников КП вагонов в соответствии с [4, 5] и обеспечения (в составе с другими элементами) заведомо бракованного буксового узла эталонной КП, предназначенной для отбраковки УДП-2001СМ.

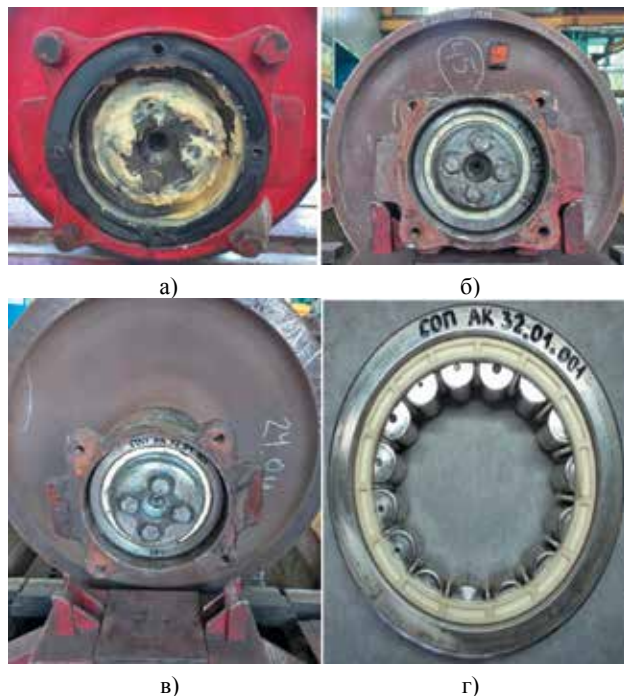


Рис. 3. Общий вид сформированных колесных пар с СОП АК 32.01 в переднем подшипнике: а) толщина ободьев колес 25 мм (контрольный образец КО 18-07-08ВД); б) толщина ободьев колес 45 мм; в) толщина ободьев колес 65 мм; г) подшипник с дефектным роликом

Превышение амплитуды сигнала на выходах пиковых детекторов, полученное при диагностировании КП, не всегда говорит о 100 % браковке на основе выводимых

на экран условных обозначений, по которым распознавался тип дефекта.

На практике неоднократно отмечалось, что при проведении вибродиагностики КП с ростом толщины ободьев колес (50 мм и более) значение показателя перебраковки увеличивается. Это подтверждалось после демонтажа и осмотра деталей и составных частей буксового узла, проверки геометрических параметров подшипников, неразрушающего контроля на наличие дефектов на внутренних, наружных кольцах подшипника и роликов.

Частота вращения КП на вибродиагностических стендах регламентирована действующими ТНПА. Сегодня в соответствии с ними частота вращения КП

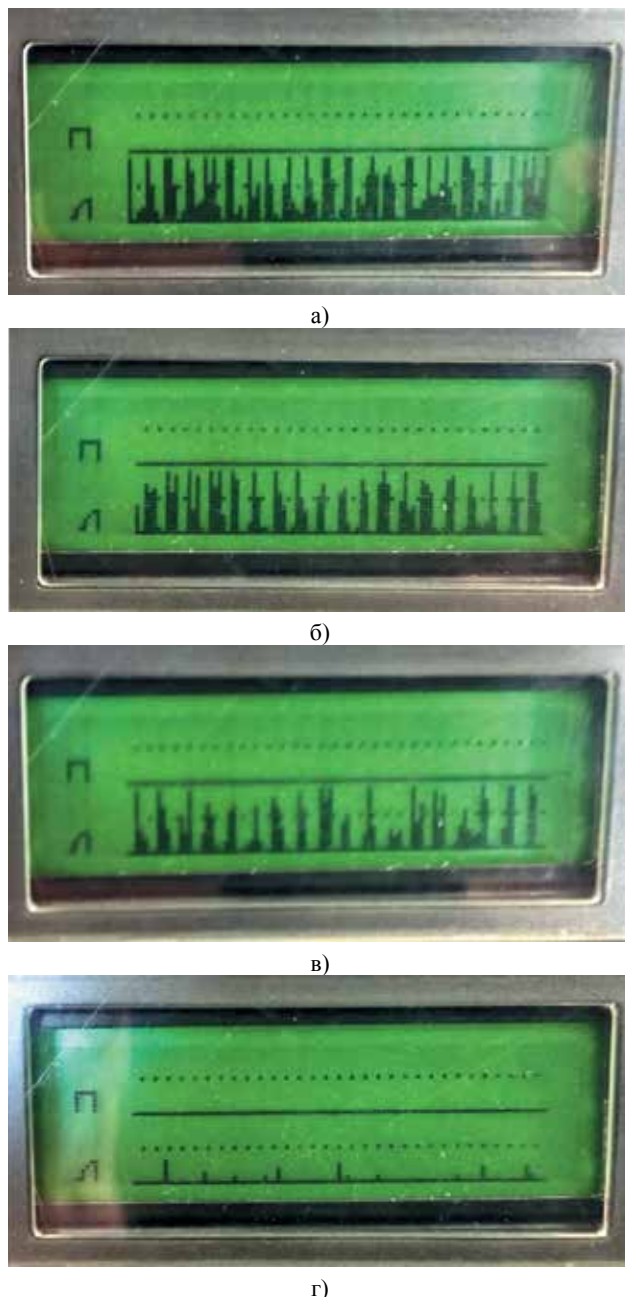


Рис. 4. Дефектограмма буксового узла КО 18-07-08ВД с СОП АК 32.01 стенда УДП-2001 (толщина ободьев колес 25 мм): а) 320 об/мин; б) 300 об/мин; в) 280 об/мин; г) 180 об/мин

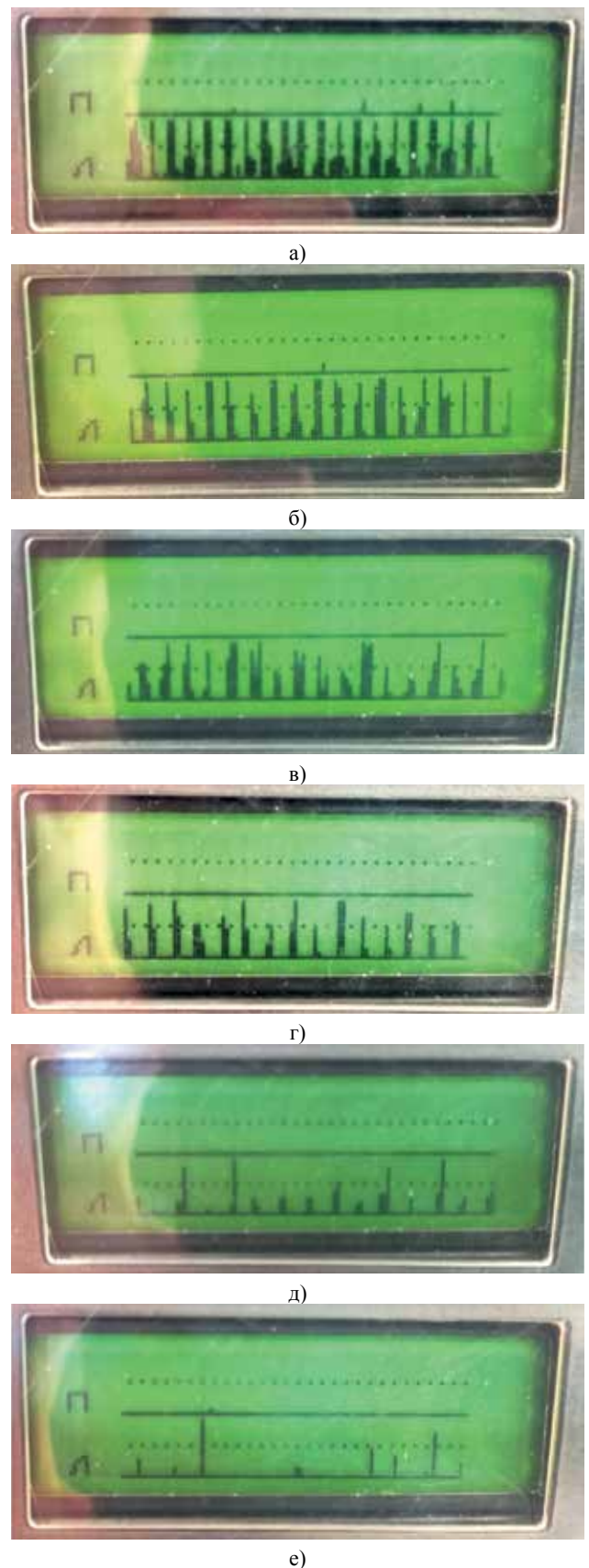
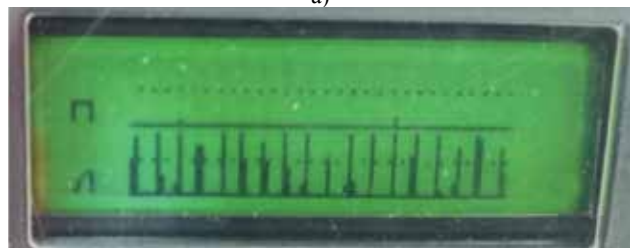


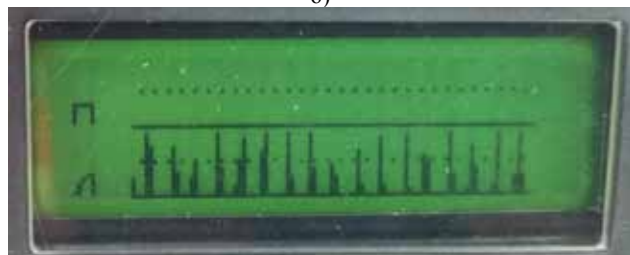
Рис. 5. Дефектограмма буксового узла КП №1175980ХХ с СОП АК 32.01 стенда УДП-2001 (толщина ободьев колес 65 мм): а) 320 об/мин; б) 280 об/мин; в) 260 об/мин; г) 250 об/мин; д) 220 об/мин; е) 180 об/мин



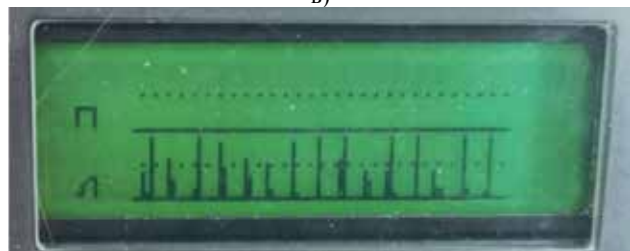
а)



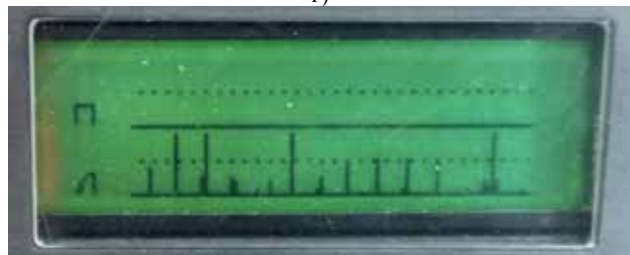
б)



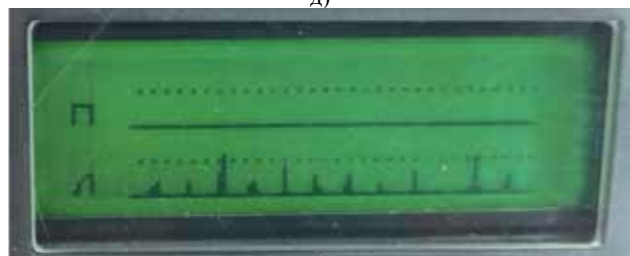
в)



г)



д)



е)

Рис. 6. Дефектограмма буксового узла КП №0060158XX с СОП АК 32.01 стенда УДП-2001 (толщина ободьев колес 45 мм): а) 320 об/мин; б) 3000 об/мин; в) 280 об/мин; г) 260 об/мин; д) 180 об/мин; е) 160 об/мин

составляет не менее 300 об/мин. До введения нормативных документов [1, 4, 5] на основании документа [6] частота вращения установки для вибродиагностики колесных пар вагонов УДП-2001 составляла не менее  $230 \pm 10$  об/мин.

Нами были проведены исследования по определению амплитудных значений сигналов от переднего подшипника с СОП АК 32.01 в контрольном образце КО 18-07-08ВД (толщина ободьев колес 25 мм) и аналогичным СОП АК 32.01 с подобранным под его размеры подшипником, встроенным в буксовый узел КП (толщина ободьев колес 45 и 65 мм).

На рис. 4, 5 и 6 приведены вибросигналы от буксового узла, отображаемые на экране пульта измерения вибрации УДП-2001 (левая сторона) с СОП АК 32.01 КП с толщиной ободьев колес 25, 65 и 45 мм.

На рис. 7–9 показаны результаты диагностики КП №18-07-08ВД (КО), №0060158XX, №1175980XX с СОП АК 32.01

| Номер колес-<br>ной пары | Завод | Левый бук-<br>изгот. со-<br>вый узел | Правый бук-<br>со-<br>вый узел | Примеч.   | Частота<br>вращ.к.п.<br>(об/мин) |
|--------------------------|-------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------|----------------------------------|
| 180708                   | 0     | → БРАК! 5,0р_133                     | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ СР | 320                              |
| 180708                   | 0     | → БРАК! 5,0р_103                     | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ СР | 300                              |
| 180708                   | 0     | → БРАК! 5,0р_84                      | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ СР | 280                              |
| 180708                   | 0     | → БРАК! 4,6р_57                      | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ СР | 260                              |
| 180708                   | 0     | → БРАК! 3,0р_28                      | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ СР | 240                              |
| 180708                   | 0     | → БРАК! 2,3р_17                      | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ СР | 220                              |
| 180708                   | 0     | → БРАК! 2,0_10                       | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ СР | 200                              |
| 180708                   | 0     | → годем 0,6_0                        | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ СР | 180                              |

Рис. 7. Результаты диагностики буксового узла КО 18-07-08ВД с СОП АК 32.01 на стенде УДП-2001СМ (толщина ободьев колес 25 мм)

| Номер колес-<br>ной пары | Завод | Левый бук-<br>изгот. со-<br>вый узел | Правый бук-<br>со-<br>вый узел | Примеч.   | Частота<br>вращ.к.п.<br>(об/мин) |
|--------------------------|-------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------|----------------------------------|
| 158XX                    | 60    | → БРАК! 5,0р_72                      | годем 0,0_0                    | 04 КАС ТР | 320                              |
| 158XX                    | 60    | → БРАК! 5,0р_68                      | годем 0,0_0                    | 04 КАС ТР | 300                              |
| 158XX                    | 60    | → БРАК! 5,0р_58                      | годем 0,0_0                    | 04 КАС ТР | 280                              |
| 158XX                    | 60    | → БРАК! 4,6р_39                      | годем 0,0_0                    | 04 КАС ТР | 260                              |
| 158XX                    | 60    | → БРАК! 4,3р_32                      | годем 0,0_0                    | 04 КАС ТР | 240                              |
| 158XX                    | 60    | → БРАК! 3,0р_25                      | годем 0,0_0                    | 04 КАС ТР | 220                              |
| 158XX                    | 60    | → годем 2,3_16                       | годем 0,0_0                    | 04 КАС ТР | 200                              |
| 158XX                    | 60    | → годем 1,6_6                        | годем 0,0_0                    | 04 КАС ТР | 180                              |

Рис. 8. Результаты диагностики буксового узла КП №0060158XX на стенде УДП-2001СМ (толщина ободьев колес 45 мм)

| Номер колес-<br>ной пары | Завод | Левый бук-<br>изгот. со-<br>вый узел | Правый бук-<br>со-<br>вый узел | Примеч.   | Частота<br>вращ.к.п.<br>(об/мин) |
|--------------------------|-------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------|----------------------------------|
| 980XX                    | 1175  | → БРАК! 5,0р_152                     | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ ТР | 320                              |
| 980XX                    | 1175  | → БРАК! 5,0р_135                     | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ ТР | 300                              |
| 980XX                    | 1175  | → БРАК! 5,0р_93                      | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ СР | 280                              |
| 980XX                    | 1175  | → БРАК! 5,0р_67                      | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ СР | 260                              |
| 980XX                    | 1175  | → БРАК! 3,0р_28                      | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ СР | 240                              |
| 980XX                    | 1175  | → БРАК! 2,0_10                       | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ СР | 220                              |
| 980XX                    | 1175  | → годем 1,3_6                        | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ СР | 200                              |
| 980XX                    | 1175  | → годем 0,6_1                        | годем 0,0_0                    | 05 ПОЛ СР | 180                              |

Рис. 9. Результаты диагностики буксового узла КП №1175980XX на стенде УДП-2001СМ (толщина ободьев колес 65 мм)

В соответствии с нормативным документом [7] масса цельнокатаных колес на одну КП при толщине обода 65 мм составляет 730 кг, а при толщине 45 мм уже 609 кг, в то время как при толщине обода 25 мм – 500 кг.

**Табл. 1. Среднеарифметические значения амплитуд сигналов и шума буксовых узлов с использованием СОП АК 32.01 в переднем подшипнике по пяти измерениям**

| № п/п | Частота вращения КП, об/мин | Контрольный образец в виде сформированной КП с СОП АК 32.01, толщина обода колес 25 мм |                                                           | КП с СОП АК 32.01, толщина обода колес 45 мм                 |                                                           | КП с СОП АК 32.01, толщина обода колес 65 мм                 |                                                           |
|-------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|       |                             | Значение амплитуды сигнала буксового узла (левая сторона), В                           | Значение по энергетическому критерию (шум), Σотн.ед./10 с | Значение амплитуды сигнала буксового узла (левая сторона), В | Значение по энергетическому критерию (шум), Σотн.ед./10 с | Значение амплитуды сигнала буксового узла (левая сторона), В | Значение по энергетическому критерию (шум), Σотн.ед./10 с |
| 1     | 320                         | 5,0                                                                                    | 135                                                       | 5,0                                                          | 76                                                        | 5,0                                                          | 178                                                       |
| 2     | 300                         | 5,0                                                                                    | 107                                                       | 5,0                                                          | 68                                                        | 5,0                                                          | 152                                                       |
| 3     | 280                         | 5,0                                                                                    | 89                                                        | 5,0                                                          | 60                                                        | 5,0                                                          | 131                                                       |
| 4     | 260                         | 4,6                                                                                    | 58                                                        | 4,6                                                          | 36                                                        | 5,0                                                          | 79                                                        |
| 5     | 240                         | 2,6                                                                                    | 31                                                        | 4,3                                                          | 30                                                        | 3,3                                                          | 37                                                        |
| 6     | 220                         | 2,3                                                                                    | 25                                                        | 3,0                                                          | 26                                                        | 2,6                                                          | 28                                                        |
| 7     | 200                         | 1,3                                                                                    | 14                                                        | 2,3                                                          | 18                                                        | 2,0                                                          | 20                                                        |
| 8     | 180                         | 0,6                                                                                    | 0                                                         | 1,6                                                          | 06                                                        | 1,0                                                          | 08                                                        |

То есть буксовые узлы КП с толщиной обода 25 мм воспринимают нагрузку на подшипники меньше на 230 кг в сравнении с КП, имеющей толщину обода 65 мм и на 109 кг в сравнении с КП, имеющей толщину обода 45 мм.

Все это говорит о том, что частота вращения КП должна изменяться пропорционально нагрузке (толщине обода колес), действующей на буксовый узел.

Исходя из результатов эксперимента, можно сделать вывод, что с ростом толщины ободьев колес дефектный ролик выявляется при меньших оборотах вращения КП. Так, например, для КП с толщиной обода 25 мм дефектный ролик с амплитудным значением сигнала 5,0 В фиксируется в диапазоне от 320 до 280 об/мин, в то время как для КП с толщиной обода 65 мм – от 320 до 260 об/мин. При этом фиксируемые значения по шуму (энергетический метод) выше у КП с толщиной обода 65 мм в сравнении с КП с толщиной обода 25 мм. На рис. 9 можно увидеть, что при частоте вращения КП (толщина обода 65 мм) 320 об/мин идентификация дефекта по временному методу в протоколе была представлена буквой *к* (дефект кольца подшипника), а не буквой *р* (дефект ролика). Все это говорит о том, что высокие обороты для КП с большой толщиной обода приводят дополнительно и к ложной идентификации дефектов по временному интервалу.

Для КП с толщиной обода 45 мм дефектный ролик с амплитудным значением сигнала 5,0 В отображается в том же диапазоне 320 – 280 об/мин, как и для КП с толщиной обода 25 мм. Анализ всех показаний амплитуды сигнала дефектного ролика показал, что СОП АК 32.01 КП №0060158ХХ с толщиной обода 45 мм уверенно выявляется при более низких оборотах в сравнении с КО 18-07-08ВД с толщиной обода 25 мм. При частоте вращения КП №0060158ХХ 240 об/мин амплитудное значение сигнала от СОП АК 32.01 дости-

гает 4,3 В по сравнению с КО 18-07-08ВД, для которого амплитуда сигнала составила 3 В.

Вибродиагностика буксовых узлов для каждой КП проводилась по пяти измерениям, среднеарифметические показания которых представлены в табл. 1.

Производитель стенда УДП-2001 в соответствии с [1] заявляет, что определение дефекта возможно, если частота вращения КП составляет не менее 300–350 об/мин. При этом снижение частоты вращения значительно понижает вероятность обнаружения и распознавания дефектов буксового узла. Однако в данном случае производитель не учитывает действующую нагрузку на подшипники и буксовый узел в целом в зависимости от толщины ободьев колес. Для КП с толщиной обода 24...40 мм интервал частоты вращения КП в 300–350 об/мин возможно применимый на практике, но для КП с толщиной обода свыше 50 мм – это завышенные обороты, которые зачастую ведут к росту значения показателя перебраковки годной КП.

## Заключение

Проведенные нами исследования показали, что имеет место прямое влияние частоты вращения КП и толщины ободьев колес на результаты вибродиагностики. Так, с ростом частоты вращения КП дефекты действительно выявляются лучше, как и отмечает производитель стенда УДП-2001СМ. Однако повышение частоты вращения эффективно для КП с небольшой толщиной ободьев колес, т. к. для них нагрузка на подшипники меньше по сравнению с КП, имеющих толщину обода 50 мм и выше. Таким образом, повышение частоты вращения КП приводит не только к повышению выявляемости дефектов, но и может служить причиной перебраковки годных КП с большой толщиной ободьев колес. Проведение среднего ремонта КП вместо текущего является нерациональным и влечет за собой необоснованные трудозатраты.

## Библиографический список

1. Руководство по эксплуатации ПЭБ.401722.020РЭ. Установка для вибродиагностики подшипников колесных пар грузовых, рефрижераторных и пассажирских вагонов УДП-2001СМ. Воронеж, 2017. 22 с.

2. Отока А.Г., Будник Д.В., Лях А.М. Опыт использования установки для вибродиагностики подшипников буксовых узлов колесных пар вагонов УДП-2001СМ и системы диагностики механизмов ОМСД-02 // Надежность. 2022. № 4. С. 8–15. DOI: 10/21683/1729-2646-2022-22-4-8-15

3. Паспорт СОП АК 32.01.001. Стандартный образец предприятия (ролик с пропилом для установки УДП-2001СМ). Воронеж, 2017. 5 с.

4. РД32 ЦВ 109-2011 Руководство по вибродиагностике подшипников буксовых узлов вагонных колесных пар. Утверждено Распоряжением ОАО «РЖД» от 04.03.2011 № 457р. 24 с.

5. Технические требования к комплексам вибродиагностики подшипников буксовых узлов колесных пар грузовых вагонов №741-2011. ПКБ ЦВ, 2010. 15 с.

6. Руководство по эксплуатации ПЭБ.441161.001 РЭ. Стенд для вращения колесной пары грузовых вагонов. Воронеж, 2006. 17 с.

7. Нормы выхода лома черных металлов при разделке исключенных из инвентаря грузовых вагонов и ремонте колесных пар. Утверждены приказом заместителя начальника Белорусской железной дороги от 29.12.2022 № 1057НЗ. 18 с.

## References

1. [User manual for PEB.401722.020RE. UDP-2001SM installation for vibration diagnostics of bearings of freight, refrigerator, and passenger car wheels]. Voronezh; 2017. (in Russ.)

2. Otoka A.G., Budnik D.V., Liakh A.M. Experience of operation of the UDP-2001SM installation for railway wheel pair bearing vibration diagnostics and the OMSD-02 mechanism diagnostics system. *Dependability* 2022;4:8-15. DOI: 10/21683/1729-2646-2022-22-4-8-15

3. [Certificate for SOP AK 32.01.001. Quality control sample (roller with a cut for the UDP-2001SM installation). Voronezh; 2017. (in Russ.)

4. [RD32 TsV 109-2011. Manual for vibration diagnostics of axle box bearings of car wheel pairs. Approved by Order of JSC RZD dated 04.03.2011 no. 457r]. (in Russ.)

5. [Technical requirements for vibration diagnostics systems for axle box bearings of freight car wheel pairs no. 741-2011. PKB TsV; 2010.] (in Russ.)

6. [Operation manual for PEB.441161.001 RE. A stand for rotating wheel sets of freight wagons]. Voronezh; 2006. (in Russ.)

7. [Standard output of scrap iron in the process of stripping of decommissioned freight wagons and wheel pair maintenance. Approved by the order of the Deputy Head of the Belarusian Railway dated 29.12.2022 no. 1057NZ]. (in Russ.)

## Сведения об авторах

**Отока Александр Генрикович** – магистр технических наук, инженер-технолог (руководитель подразделения неразрушающего контроля) Гомельского вагонного депо РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги», Гомель, Республика Беларусь, e-mail: otokaa@mail.ru

**Холодилов Олег Викторович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Вагоны», УО «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, Республика Беларусь, e-mail: olhol@tut.by

## About the authors

**Alexander G. Otoka**, Master of Engineering, Engineering Technologist (Head of the Non-Destructive Testing Unit), Gomel car depot RUE “Gomel branch of the Belarusian Railway”, Gomel, Republic of Belarus, e-mail: otokaa@mail.ru

**Oleg V. Kholodilov**, Doctor of Engineering, Professor of the Wagons Department, Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus, e-mail: olhol@tut.by

## Вклад авторов

**Отока А.Г.** провел эксперимент и сравнил амплитудные значения и шума от буксовых узлов совместно с СОП АК 32.01 в колесных парах с толщиной обода 25, 45, 65 мм на стенде УДП-2001СМ.

**Холодилов О.В.** провел обзор литературы, охарактеризовал зависимость частоты вращения колесной пары от толщины ободьев колес диагностируемой колесной пары на стенде УДП-2001СМ.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.