

Машиностроение Mechanical engineering

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 620.179.16:629.4.027.4
doi: 10.30987/2782-5957-2024-3-4-11

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ДЕФЕКТОСКОПИИ НА ПРИМЕРЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ ЦЕЛЬНОКАТАНОГО КОЛЕСА

Александр Генрикович Отока^{1✉}, Олег Викторович Холодилов²

^{1,2} Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Республика Беларусь

¹ otokaa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9926-9439>

² olhol@tut.by, <https://orcid.org/0009-0005-5799-0097>

Аннотация

Контактные жидкости являются важными дефектоскопическими материалами, которые используются при проведении ультразвукового контроля с целью установления акустического контакта между пьезоэлектрическим преобразователем и объектом контроля. В статье рассмотрены контактные жидкости различной вязкости, которые могут быть использованы в качестве контактной среды при ультразвуковой дефектоскопии. Проведён сравнительный анализ влияния исследуемых контактных жидкостей на чувствительность контроля, которая определялась ослаблением прошедшего ультразвукового сигнала через поверхность катания колеса колёсной пары вагона. Оценка чувствительности контроля проводилась на ровной и наклонной поверхностях цельнокатаного колеса. Ввод ультразвука в материал колеса (сталь 2) осуществлялся наклонным пьезоэлектрическим преобразователем под углом $\alpha = 90^0$, с частотой колебаний $f = 0,4$ МГц. Было установлено, что при обеспечении надёжного постоянного усилия ультразву-

кового преобразователя П121-90-0,4 за счёт встроенных в него постоянных магнитов, увеличение вязкости контактной жидкости может существенно повлиять на амплитуду принимаемых эхо-сигналов. В ходе исследований было установлено, что контактные жидкости низкой вязкости характеризуются стабильным контактом вне зависимости от времени и усилия прижима преобразователя в отличие от контактных сред повышенной вязкости, при использовании которых на экране дефектоскопа наблюдались резкие колебания общего усиления второго сквозного сигнала в зоне АРУ. Поэтому на практике использование контактных сред повышенной вязкости приводит к резкому повышению усиления сигнала (амплитуды), что может обернуться риском перебраковки.

Ключевые слова: жидкость, вязкость, ультразвуковой контроль, колёсная пара, пьезоэлектрический преобразователь, чувствительность, контроль.

Ссылка для цитирования:

Отока А.Г. Сравнительный анализ применения контактных жидкостей в дефектоскопии на примере ультразвукового контроля поверхности катания цельнокатаного колеса / А.Г. Отока, О.В. Холодилов // Транспортное машиностроение. – 2024. – №3. – С. 4-11. doi: 10.30987/2782-5957-2024-3-4-11.

Original article
Open Access Article

COMPARATIVE ANALYSIS OF USING COUPLING FLUIDS IN FLAW DETECTION ON THE EXAMPLE OF ULTRA-SOUND CONTROL OF AN ALL-ROLLED WHEEL SURFACE

Alexander Genrikovich Otoka¹, Oleg Viktorovich Kholodilov²

^{1,2} Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

¹ otokaa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9926-9439>

² olhol@tut.by, <https://orcid.org/0009-0005-5799-0097>

Abstract

Coupling fluids are important flaw detection materials that are used during ultrasonic testing in order to find out acoustic contact between the piezoelectric transducer and the object of control. The paper considers coupling fluids of various viscosities that can be used as a coupling medium for ultrasonic flaw detection. A comparative analysis of the effect of the studied coupling fluids on the sensitivity of the control is carried out, which is determined by the attenuation of the transmitted ultrasonic signal through the roll surface of the car wheelset wheel. The control sensitivity is assessed on the flat and inclined surfaces of the all-rolled wheel. The introduction of ultrasound into the wheel material (steel 2) is carried out by an inclined piezoelectric transducer at an angle $\alpha = 90^\circ$, with an oscillation frequency $f = 0.4$ MHz. It is found out that

by providing a reliable constant force of the ultrasonic transducer P121-90-0.4 due to the permanent magnets built into it, an increase in the viscosity of the coupling fluid can significantly affect the amplitude of the received echo signals. During the research, it is found that low-viscosity coupling fluids are characterized by stable coupling regardless of the time and clamping force of the transducer, in contrast to high-viscosity coupling media, when using them sharp fluctuations in the overall gain of the second through signal in AGC zone are observed on the flaw detector screen. Therefore, in practice, the use of high-viscosity coupling media leads to a sharp increase in signal amplification (amplitude), which may result in over reject.

Keywords: fluid, viscosity, ultrasonic control, wheelset, piezoelectric transducer, sensitivity, control.

Reference for citing:

Otoka AG, Kholodilov OV. Comparative analysis of using coupling fluids in flaw detection on the example of ultrasonic control of an rolled wheel surface. *Transport Engineering*. 2024;3:4-11. doi: 10.30987/2782-5957-2024-3-4-11.

Введение

Контактные жидкости при проведении ультразвукового контроля (УЗК) используют в качестве среды, препятствующей образованию воздушного зазора и обеспечивающей передачу ультразвукового импульса от преобразователя в объект контроля. Вследствие большого акустического сопротивления воздуха потери энергии на границе раздела становятся значительными.

Опрос специалистов, постоянно занимающихся УЗК различных объектов [1] показал, что в качестве контактной среды используются следующие жидкости: масло (моторное веретённое) – 40,7 %, глицерин – 35,2 %, пропиленгликоль – 11,1 %, солидол – 11,1 %, вода – 1,9 %, спирт – 1,9 %, специальные гели – 24,1 %, медицинский гель – 14,8 %, бытовая химия (жидкое мыло, обойный клей, средство для мытья посуды и т.д.) – 25,9 %, другие – 3,7 %.

В настоящее время проводятся исследования по разработке контактных жидкостей с учётом различных факторов, например: низкая коррозия, способность обезжиривать поверхности, хорошая смачиваемость поверхности, оптимальная вязкость, низкая химическая активность по

отношению к материалу объекта контроля и т. д. [2].

При контактном способе контроля толщина слоя жидкости не должна превышать половины длины волны ультразвука [3]. Это достигается путём плотного прижатия пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) к поверхности объекта контроля.

Для настройки чувствительности аппаратуры при ультразвуковом контроле принято применять различные отражатели в зависимости от конструкции объекта контроля и наиболее часто встречающихся видах несплошностей.

Широкое распространение получил метод настройки условной чувствительности на мере СО-2, который заключается в отстройке нулевого уровня на боковом цилиндрическом отражателе и добавлению к нему дополнительного коэффициента усиления k_y , установленного техническими нормативными правовыми актами [4].

В железнодорожной отрасли долгое время использовался метод эквивалентной чувствительности, характеризуемой минимальными размерами искусственного отражателя определенной формы и ориентации, который обнаруживается на заданной

глубине в изделии при заданной настройке дефектоскопа. Например, чувствительность может быть задана размерами отражателя в виде «пропила», «засверловки», «отверстия» и т. д. [5, 6].

Целью работы являлось исследование чувствительности ультразвукового метода контроля при использовании различных сред в качестве контактной жидкости на примере дефектоскопии поверхности катания колеса колёсной пары вагона. Чувствительность контроля определялась способностью второго сквозного сигнала (прошедшего по поверхности катания колеса) достигать уровня 50 % экрана дефектоскопа в зоне автоматической регулировки усиления, отмеченной символом «←→». В качестве контактных жидкостей были использованы техническая вода, технические масла и смазочные материалы, повседневно применяемые в колёсно-роликовых

Технические средства и методы исследования

Влияние качества акустического контакта на чувствительность дефектоскопа обычно рассматривают при неподвижном ПЭП в предложении сплошности контактного слоя. Контактный слой характеризуется высоким сопротивлением сжатию и весьма малым сопротивлением сдвигу между отдельными молекулярными слоями. Этот сдвиг возникает при перемещении ПЭП по поверхности объекта контроля, вызывая разрушение и появление локальных разрывов слоя контактной жидкости на выступах. Скорость разрушения зависит от типа смазки, толщины слоя, природы трущихся поверхностей, величины давления и скорости перемещения [7].

Для достижения поставленной нами цели необходимо было провести регистрацию второго сквозного сигнала на уровне 50 % экрана дефектоскопа и определить значение общего усиления при использовании различных контактных жидкостей в условиях статического контакта ПЭП.

В работе использовались УЗ-дефектоскоп УД2-102ВД «Пеленг», в качестве ПЭП П121-0,4-90 (угол ввода $\alpha = 90^\circ$, частота $f = 0,4$ МГц). Отличительная особенность данного ПЭП – это его надёжное прижатие к поверхности колеса

участках железной дороги, а также различная бытовая химия, которую, согласно опроса выше (25,9 %), применяют в качестве контактной среды на практике специалисты различных других отраслей промышленности.

В статье не ставится задача рассмотреть и сравнить применяемые контактные жидкости по таким параметрам как: физико-химические свойства, их стоимость, коррозионная активность, технологичность использования и др.

Основная задача, на которую направлен эксперимент, это показать нецелесообразность использования контактных жидкостей повышенной вязкости и как влияет этот параметр на изменение чувствительности ультразвукового контроля на примере дефектоскопии поверхности катания цельнокатаного колеса.

за счёт встроенных по краям магнитов, обеспечивающих хороший контакт при постоянном усилии. Таким образом влияние человеческого фактора на прижатие ПЭП к поверхности исключается, что приводит к повышению качества контроля. Характеристики применяемых в исследованиях контактных жидкостей приведены в таблице.

Измерения проводились на ровной и наклонной поверхностях катания цельнокатаного колеса (рис. 1).

Для контроля поверхности катания и подповерхностной зоны обода колеса использовался типовой вариант в специальном режиме «колесо» [8]. Контроль проводился поверхностными волнами (волны Рэлея), распространяющимися вдоль свободной границы поверхности катания колеса и быстро затухающими с глубиной. Скорость распространения поверхностной волны c_s составляла 2999 м/с.

В процессе контроля чувствительность на заданном уровне поддерживалась автоматически благодаря системе автоматической регулировки усиления (АРУ) с подстраивающимися в зависимости от диаметра колеса стробами.

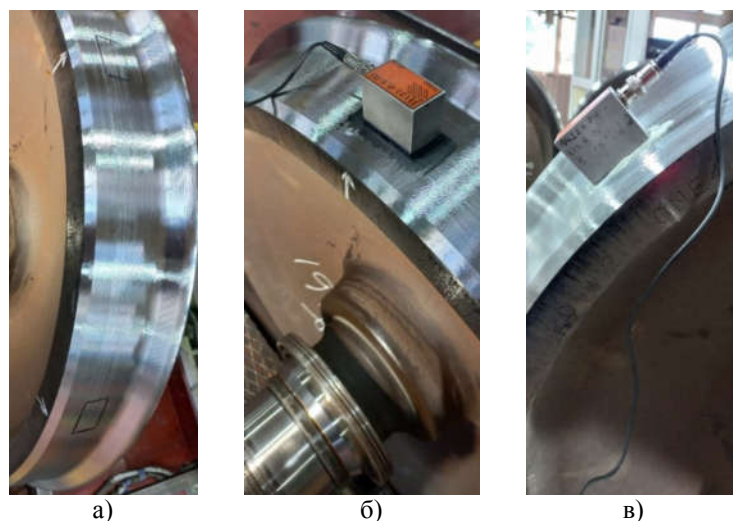


Рис. 1. Общий вид эксперимента с использованием различных контактных жидкостей: а – позиции установки ПЭП; б – ПЭП на ровной поверхности с применением эМПи-1; в – ПЭП на наклонной поверхности с применением смазки ЛЗ-ЦНИИ
Fig. 1. General view of the experiment using various contact fluids: a – the position of the installation of the PEP; b – the PEP on a flat surface using eMPI-1; c – PEP on an inclined surface with the use of LZ-TsNII lubricant

Таким образом, надёжность акустического контакта ПЭП с поверхностью катания колеса определялось положением вершины второго сквозного сигнала, которая должна быть на уровне зоны АРУ (50 % экрана).

Нанесение контактных жидкостей проводилось флейцевой кистью в месте установки ПЭП. Исключение составляет нанесение равномерного тонкого слоя смазки ЛЗ-ЦНИИ, для которой использовался резиновый шпатель. Пьезоэлектри-

ческий преобразователь устанавливался на поверхность катания колеса так, чтобы его боковая поверхность была параллельна боковой грани колеса на расстоянии 70 мм от внутренней боковой грани [9].

После каждого снятия ПЭП контактная жидкость удалялась с поверхности катания колеса в целях недопущения ложных срабатываний индикаторов дефектоскопа, сигнализирующих о наличии дефекта в ободе колеса.

Результаты исследований и их обсуждение

В ходе эксперимента было установлено, что на гладкой поверхности общее усиление дефектоскопа УД2-102ВД при выдержке в течение 60 с после установки ПЭП на контактные жидкости в виде препарата модификатора эМПи-1, жидкого мыла, индустриального масла И-20, технической воды, геля для мытья посуды и обойного клея находится примерно в одном диапазоне от 45 до 52 дБ. Данный диапазон является вполне допустимым для работы, чего нельзя сказать про смазку ЛЗ-ЦНИИ, при использовании которой общее усиление дефектоскопа составило 69 дБ.

На наклонной поверхности общее усиление дефектоскопа УД2-102ВД при выдержке в течение 60 с после нанесения контактной смазки и 60 с после установки

ПЭП для вышеперечисленных контактных смазок (кроме технической воды и смазки ЛЗ-ЦНИИ) лежит в диапазоне от 48 до 57 дБ.

Для контактных жидкостей типа препарата модификатора эМПи-1, жидкого мыла, индустриального масла И-20, геля для мытья посуды общее усиление увеличилось (чувствительность снизилась) за счёт стекания с поверхности объекта контроля с учётом выдержки до установки ПЭП. В то же время техническая вода стекла с поверхности колеса, что привело к отсутствию контакта между ПЭП и поверхностью катания (рис. 2). Смазка ЛЗ-ЦНИИ показала плохой контакт, также, как и в условиях на ровной поверхности при общем усилении 69 дБ.

Результаты УЗК поверхности катания колеса с использованием
различных контактных жидкостей

Table

The results of narrow surface rolling of the wheel using various contact fluids

Контактная жидкость	Характеристика	Общее усиление дефектоскопа, дБ (вкл. режим АРУ)	
		Ровная поверхность*	Наклонная поверхность**
1 Препарат модификатор эМПи-1 (композиция из минерального масла, загущенного поляризованной фуллереновой композицией)	Вязкость 55–65 мм ² /с при $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	48	52
2 Жидкое мыло на различных основах (вода, натрия хлорид, натрия лауретсульфат, кокамидопропилбетаин, кокамид ДЭА, глицерин, парфюмерная композиция и др.)	–	50	53
3 Индустриальное масло И-20	Вязкость 25–35 мм ² /с при $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	52	57
4 Техническая вода	Вязкость 0,659 мм ² /с при $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	49	нет сигнала
5 Гель для мытья посуды (30 % и более вода, 5 % и более, но менее 15 % А-ПАВ, менее 5 % хлорид натрия, Н-ПАВ, ЭДТА, консервант, лимонная кислота, водорастворимое оливковое масло)	–	45	53
6 Обойный флизелиновый клей (модифицированный крахмал, различные противогрибковые и противоплесневые присадки, метилцеллюлоза)	Вязкость (в пропорциях клей–вода 1:20 при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) 8000–15000 мПа·с	48	48
7 Смазка ЛЗ-ЦНИИ, прошедшая через гомогенизатор (смесь высокоочищенных минеральных масел, натриево-кальциевое мыло, специальный пакет высокоэффективных присадок)	Вязкость при $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и среднем градиенте скорости деформации 10 с ⁻¹ не более 600 Па·с	69	69
*выдержка 60 с после установки ПЭП **выдержка 60 с после стекания смазки и 60 с после установки ПЭП			

Сравнение чувствительностей УЗК показало, что на ровной поверхности для контактных жидкостей пониженной вязкости, за исключением технической воды, чувствительность будет выше (общее усиление дефектоскопа меньше), чем на наклонной поверхности. При этом для контактных жидкостей высокой вязкости, например: обойный клей, смазка ЛЗ-ЦНИИ изменение чувствительности не происходит.

Было установлено, что установке ПЭП на контактные жидкости в виде индустриального масла, препарата модификатора эМПи-1, технической воды (за исключением наклонной поверхности) общее усиление дефектоскопа при первоначальном контакте выше (от 1 до 6 дБ), по сравнению с результатами после выдержки в течение 60 с. Это говорит о том, что смачиваемость поверхности очень высокая как до установки ПЭП, так и после. Чего нельзя сказать про контактные жидкости

типа жидкого мыла, геля для мытья посуды, смазки ЛЗ-ЦНИИ и обойного клея, которые уже первоначально обладают плохой смачиваемостью ещё до установки

ПЭП. Общее усиление дефектоскопа при первоначальном контакте таких жидкостей выше – от 11 до 26 дБ по сравнению с результатами после выдержки в течение 60 с.

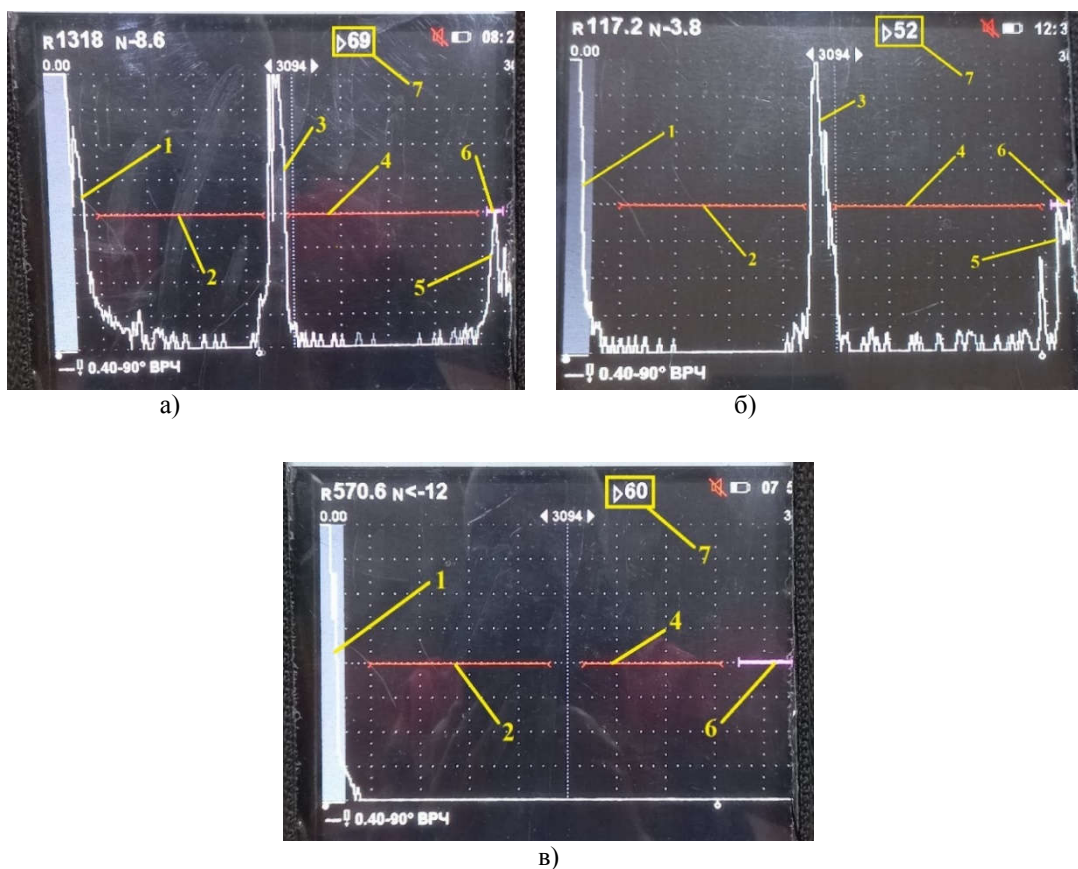


Рис. 2. Дефектограммы при контроле поверхности катания и подповерхностной зоны обода колеса диаметром 907 мм на наклонной поверхности:
a – смазка ЛЗ-ЦНИИ; *б* – препарат модификатор ЭМПи-1; *в* – техническая вода (отсутствие контакта) 1 – зондирующий импульс; 2 – зона временной селекции ВС1; 3 – первый сквозной сигнал; 4 – зона временной селекции ВС2; 5 – второй сквозной сигнал; 6 – зона АРУ; 7 – общее усиление дефектоскопа
Fig. 2. Flaw diagrams for monitoring the rolling surface and the subsurface zone of the wheel rim with a diameter of 907 mm on an inclined surface: a – LZ-CNII lubricant; b – eMPi-1 modifier preparation; c – process water (no contact) 1 – probing pulse; 2 – time selection zone VS1; 3 – the first through signal; 4 – time selection zone VS2; 5 – second through signal; 6 – AGC zone; 7 – general gain of the flaw detector

Выводы

Проведённые исследования показали, что использование на предприятиях вагонного хозяйства контактных жидкостей в виде технических масел более предпочтительно, чем иных сред повышенной вязкости. Стабильный контакт вне зависимости от усилия прижима играет важную роль при выявлении дефектов и чувствительность метода напрямую зависит от этого фактора.

Препятствием к применению контактных смазок повышенной вязкости (специализированные гели) могут являться такие факторы, как повышенная пористость и шероховатость поверхности, а также применение их на потолочных и вертикальных стенах или при высокотемпературных измерениях [10].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Какие контактные жидкости для ручного УЗК (УЗД, УЗТ) Вы используете? // Форум Дефектоскопист. URL: <https://defektoskopist.ru/threads/rfrie-kzh-ispolzuete-dlja-ruchnogo-uzk.11489/> (дата обращения: 11.10.2023).
2. Мурашов В. В., Лаптев А. С. Контактные жидкости для создания акустического контакта при ультразвуковом контроле многослойных конструкций из ПКМ // Труды ВИАМ. №8. 2015. С. 74–82. dx.doi.org/ 10.18577/2307-6046-2015-0-8-10-10.
3. Методы акустического контроля металлов / Н. П. Алешин, В. Е. Белый, А. Х. Вopilкин и др.: под ред. А. П. Алешина. – М.: Машиностроение, 1989. 456 с.
4. Киреев А. Н., Витренко В. А. Применение функции временной регулировки чувствительности при настройке условной чувствительности ультразвукового контроля деталей подвижного состава железных дорог эхо-импульсным методом // Вестник ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. №6. С. 377-382. doi.org/ 10.21780/2223-9731-2017-76-6-377-382.
5. Киреев А. Н. Настройка эквивалентной чувствительности при ультразвуковом контроле стыковых сварных соединений из машиностроительных сталей // В мире неразрушающего контроля. 2016. Т. 19. №3. С. 74-76. doi.org/10.12737/21175.
6. Отока А. Г., Логунов В. Г., Холодилев О.В. Чувствительность контактного и иммерсионного способов ультразвукового контроля при выявлении эталонных отражателей в настроечном образце // Неразрушающий контроль и диагностика. 2023. №1. С. 30-36.
7. Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. Ультразвуковой контроль – М. : Машиностроение, 2004. 864 с.
8. Дефектоскоп «PELENG» («ПЕЛЕНГ» УД2-102ВД). Часть II. Использование по назначению. ДШЕЕК.412239.001 РЭ2. Руководство по эксплуатации. – СПб : [б. и.], 2017. 68 с.
9. ПР НК В.2. Правила неразрушающего контроля деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Специальные требования (утверждены Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества, протокол от 16–17 октября 2012 г. № 57), 2013. 88 с.
10. Контактные жидкости для ультразвукового контроля. 2020. URL: <https://nd-testing.ru/blog/tekhnologii-nera-zrusha-yushchego-kontrolya/kontaktnye-zhidkosti-dlya-ultrazvukovogo-kontrolya/> (дата обращения: 12.10.2023).

REFERECES

1. What contact fluids for manual UZK (UZD, UZT) do you use? Flaw Detector Forum [Internet]. [cited 2023 Oct 11]. Available from: <https://defektoskopist.ru/threads/rfrie-kzh-ispolzuete-dlja-ruchnogo-uzk.11489/>
2. Murashov VV, Laptev AS. Contact fluids for creating acoustic contact during ultrasonic inspection of multilayer structures made of polymer composite. Proceedings of VI-AM. 2015;8:74-82. doi.org / 10.18577/2307-6046-2015-0-8-10-10.
3. Alyoshin NP, Bely VE, Vopilkin AN. Methods of acoustic control of metals. Moscow: Mashinostroenie; 1989.
4. Kireev AN, Vitrenko VA. Application of DAC function at the setting of conditional sensitivity of ultrasonic control of rolling stock parts with echo-pulse method. Russian Railway Science Journal. 2017;76(6):377-382. doi.org / 10.21780/2223-9731-2017-76-6-377-382.
5. Kireev AN. Equivalent sensitivity setting during ultrasonic inspection of steel butt welded joints. NDT World. 2016;19(3):74-76. doi.org/10.12737/21175.
6. Otoka AG, Logunov VG, Kholodilov OV. Sensitivity of contact and immersion methods of ultrasonic testing when detecting reference reflectors in a tuning sample. Non-destructive Testing and Diagnostics. 2023;1:30-36.
7. Ermolov IN, Lange YuV. Ultrasonic control. Moscow: Mashinostroenie; 2004.
8. Flaw detector PELENG UD2-102VD: user manual. St. Petersburg; 2017.
9. Rules of non-destructive control of parts and components of car wheelsets during repair. Special requirements (approved by the Council of Railroad Transport of the Commonwealth State members) 2012 October 16-17; 2013.
10. Contact fluids for ultrasonic testing [Internet]. 2020 [cited 2023 Oct 12]. Available from: <https://nd-testing.ru/blog/tekhnologii-nera-zrusha-yushchego-kontrolya/kontaktnye-zhidkosti-dlya-ultrazvukovogo-kontrolya/>.

Информация об авторах:

Отока Александр Генрикович – аспирант кафедры «Вагоны» Белорусского государственного уни-

верситета транспорта (БелГУТ), тел. +375336163548, AuthorID 1220168.

Холодильов Олег Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры «Вагоны» Белорус-

ского государственного университета транспорта (БелГУТ), тел. +375292349089, AuthorID: 188646.

Otoka Alexander Genrikovich – Postgraduate (Graduate) Student of the department «Wagons» of the Belarusian State University of Transport (BelSUT), phone: +375336163548.

Oleg Viktorovich Kholodilov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the department «Wagons» of the Belarusian State University of Transport (BelSUT), phone: +375292349089.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 21.12.2023; одобрена после рецензирования 28.12.2023; принята к публикации 27.02.2024. Рецензент – Петрешин Д.И., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 21.12.2023; approved after review on 28.12.2023; accepted for publication on 27.02.2024. The reviewer is Petreshin D.I., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.