

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья
УДК 629.4:620.179.162
EDN: <https://elibrary.ru/fgfwwuk>



Сравнительный анализ чувствительности ультразвукового контроля при применении прямых и наклонных пьезоэлектрических преобразователей различных производителей на примере дефектоскопа УД2-102 «Пеленг»

А. Г. Отока¹✉, О. В. Холодилов²

¹ Гомельское вагонное депо РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги»,
Гомель, Республика Беларусь

² Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ),
Гомель, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. На железнодорожном транспорте ультразвуковой контроль является одним из основных методов выявления дефектов типа нарушения сплошности (трещины, поры и другие) как в основном металле, так и в сварных соединениях различных объектов. К средствам ультразвукового контроля прежде всего относят дефектоскоп с пьезоэлектрическими преобразователями. Пьезоэлектрические преобразователи поставляются, как правило, в комплекте с дефектоскопом в зависимости от версии общего или специализированного назначения. Зачастую изготовитель дефектоскопа предлагает заказчику свой комплект поставки пьезоэлектрических преобразователей под ту или иную версию прибора с установленным программным обеспечением, ссылаясь на то, что пьезоэлектрический преобразователь других производителей не согласуется с электронным блоком. Целью статьи является проведение сравнительного анализа чувствительности ультразвукового контроля с применением прямых и наклонных преобразователей различных производителей, а также сопоставление полученных результатов с чувствительностью контроля при использовании пьезоэлектрических преобразователей, которые традиционно применяются на железной дороге.

Материалы и методы. Приведены результаты испытания образца при помощи дефектоскопа УД2-102 «Пеленг» производства ООО «Алтек». В качестве контактной жидкости применялось индустриальное масло И-20. Сравнивались пьезоэлектрические преобразователи: прямые (производства ООО «Алтек» и НПО «ИНАКОН» (РФ)) и наклонные (ООО «Алтек» (РФ), ООО «Искатель-2» (РФ) и SIUI (КНР)).

Результаты. Приведены результаты эксперимента по выявлению искусственных отражателей в виде сквозных цилиндрических боковых отверстий в образце из стали 20ГЛ прямыми и наклонными пьезоэлектрическими преобразователями различных производителей с использованием дефектоскопа УД2-102 «Пеленг».

Обсуждение и заключение. Подключение преобразователей других производителей к дефектоскопу УД2-102 «Пеленг» ООО «Алтек» подтвердило тот факт, что они согласуются с электронным блоком. Таким образом, при наличии широкого выбора пьезоэлектрических преобразователей от различных производителей требованием согласования с электронным блоком дефектоскопа УД2-102 «Пеленг» можно пренебречь. При этом важно, чтобы производитель оговаривал совместное использование его продукта с другими типами дефектоскопов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вагоны, локомотивы, дефектоскоп ультразвуковой, пьезоэлектрический преобразователь, чувствительность, отражатель, прямой и наклонный преобразователь, угол ввода, цилиндрический боковой искусственный отражатель

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Отока А. Г., Холодилов О. В. Сравнительный анализ чувствительности ультразвукового контроля при применении прямых и наклонных пьезоэлектрических преобразователей различных производителей на примере дефектоскопа УД2-102 «Пеленг» // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 1. С. 50–58.

✉ otokaa@mail.ru (А. Г. Отока)

© Отока А. Г., Холодилов О. В., 2024

TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 629.4:620.179.162

EDN: <https://elibrary.ru/fgfwuk>

Comparative analysis of ultrasonic control sensitivity in using straight and angle piezoelectric transducers of different manufacturers on the example of flaw detector UD2-102 Peleng

Alexander G. Otoka¹✉, Oleg V. Kholodilov²¹ Gomel carriage depot RUP «Gomel branch Belarusian Railway»,
Gomel, Republic of Belarus² Belarusian State University of Transport,
Gomel, Republic of Belarus

ABSTRACT

Introduction. Railway transport has ultrasonic control as one of the main methods of detection of defects of the type of continuity violation (cracks, pores and others) both in the base metal and in weld seams of various items. Ultrasonic control tools primarily include a flaw detector with piezoelectric transducers. Piezoelectric transducers are usually supplied with the flaw detector depending on the general or specialised configuration. Flaw detector manufacturers often offer the customer their own piezoelectric transducer kits for certain device configurations with installed software referring to incompatibility of other manufacturers piezoelectric transducers with the electronic unit. The article is intended to carry out a comparative analysis of ultrasonic control sensitivity using straight and angle transducers of different manufacturers, and to compare the results with the control sensitivity using piezoelectric transducers traditionally used on the railways.

Materials and methods. The paper gives the results of testing the sample using Flaw Detector UD2-102 Peleng produced by Altek LLC. Industrial oil I-20 was used as a contact fluid. The authors compared the following piezoelectric transducers: straight (made by Altek LLC and NPO INAKON (Russia)) and angle (Altek LLC (Russia), Iskatel-2 LLC (Russia) and SIUI (China)).

Results. The paper reports the results of an experiment detecting artificial reflectors in the form of through cylindrical side holes in a sample of 20GL steel by straight and angle piezoelectric transducers of different manufacturers using Flaw Detector UD2-102 Peleng.

Discussion and conclusion. Connection of other manufacturers transducers to Flaw Detector UD2-102 Peleng of Altek LLC confirmed that they are compatible with the electronic unit. Thus, given the choice of a wide selection of piezoelectric converters from various manufacturers, the requirement of coordination with the electronic unit of Flaw Detector UD2-102 may be neglected. At the same time, it is important that the manufacturer stipulates the joint use of its product with other types of flaw detectors.

KEYWORDS: cars, locomotives, ultrasonic flaw detector, piezoelectric transducer, sensitivity, reflector, straight and angle transducer, insertion angle, cylindrical lateral artificial reflector

FOR CITATION: Otoka A. G., Kholodilov O. V. Comparative analysis of ultrasonic control sensitivity in using straight and angle piezoelectric transducers of different manufacturers on the example of flaw detector UD2-102 Peleng. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(1):50-58. (In Russ.).

Введение. Чувствительность диагностической системы ультразвукового контроля является важнейшим параметром, определяющим достоверность и воспроизводимость ее результатов. Основное влияние на эксплуатационные качества диагностической системы оказывают характеристики и настройки измерительного прибора, а также свойства материала и условия контакта преобразователя с объектом контроля. На характеристики системы в целом большое влияние оказывает конфигурация преобразователя, который является одним из важнейших компонентов прибора любой ультразвуковой системы. Тип преобразователя должен точно соответствовать условиям выполнения контроля. Обычно используют фокусирующие преобразователи, преобразователи со сменными протекторами рабочей поверхности или любые другие, которые соответствуют свойствам материала объекта контроля, имеют нужную частоту и размеры активного элемента¹.

Задача преобразователя как устройства — трансформировать одну физическую величину или энергию в другую физическую величину или энергию (например, тепловую энергию — в электрическую, силу — в перемещение, давление — в электрическое напряжение или ток, электрическое напряжение одного уровня — в электрическое напряжение другого уровня и т. д.). В системах ультразвукового контроля в качестве электроакустических преобразователей обычно используют пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП), которые излучают сигналы благодаря обратному пьезоэффекту, а принимают благодаря прямому пьезоэффекту.

Основа такого преобразователя — пьезопластина с нанесенными на нее электродами. Используя традиционные методы, невозможно спроектировать преобразователи с широким диапазоном рабочих характеристик, не меняя параметры самой пластины, ее размер, форму и материал. Новые технологии позволяют получать из однотипных пластин преобразователи с самыми различными характеристиками для многих областей применения [1].

Состояние вопроса. Ультразвуковая дефектоскопия на железнодорожном транспорте применяется

для неразрушающего контроля различных объектов, деталей и составных частей вагонов и локомотивов. Особое внимание уделяется ультразвуковому контролю элементов колесных пар (оси, цельнокатанные колеса, бандажи), а также сварных швов, выполненных в процессе ремонта вагонов (вставки и накладки, крепление фасонной лапы к котлу цистерны и др.)².

Появление различных методик ультразвукового контроля колесных пар вагонов обуславливает особый интерес к применению ПЭП с разными углами ввода ультразвука для контроля шейки, предподступичной и подступичной части оси в условиях проведения среднего и текущего ремонта [2, 3]. Сегодня на Белорусской железной дороге основными средствами проведения ультразвукового контроля является дефектоскоп УД2-102 «Пеленг» или аналогичные дефектоскопы, например УД2-102ВД, выпускаемые фирмой ООО «Алтек». На практике и в различных источниках информации бытует мнение, что ПЭП и дефектоскоп должны быть от одного и того же производителя, так как согласование ПЭП с электронным блоком дефектоскопа непосредственно сказывается на чувствительности контроля и выявляемости дефектов. При этом нужно знать комплексное электрическое сопротивление ПЭП для его согласования с генератором и усилителем дефектоскопа³, поэтому встретить ПЭП других производителей в подразделениях вагонного и локомотивного хозяйств, занимающихся неразрушающим контролем, скорее всего, будет невозможно.

В то же время, например, в рекламных материалах⁴ и даже в эксплуатационной документации⁵ указывается, что данный ПЭП может быть использован с любым типом дефектоскопа по существующим для конкретного объекта методикам. В работе [4] рассматривалась зависимость амплитуды донного эхо-сигнала от шероховатости контактной поверхности с использованием ПЭП различных производителей с разным материалом протектора в комплексе с дефектоскопами УД2-12, УД2-102, А1212. При этом значимого отличия результатов измерений разными дефектоскопами не было выявлено.

¹ Ультразвуковые преобразователи [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sk-ndt.ru/files/pep.pdf> (дата обращения: 04.09.2023).

² Правила неразрушающего контроля деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте (ред. от 08.12.2022) [Электронный ресурс]: утв. на 59-м заседании Совета по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества 19–20.11.2013 г. Доступ из автоматизированной системы поиска информации по железнодорожному транспорту (АСПИЖТ); Правила неразрушающего контроля сварных соединений при ремонте вагонов (ред. от 15–16.10.2019) [Электронный ресурс]: утв. на 59-м заседании Совета по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества 19–20.11.2013 г. Доступ из АСПИЖТ.

³ Ермолов И. Н., Вopilкин А. Х., Бадалян В. Г. Расчеты в ультразвуковой дефектоскопии: краткий справочник. М.: НПЦ НК ЭХО+, 2004. 109 с.

⁴ Преобразователи для ультразвуковой дефектоскопии [Электронный ресурс]. URL: <https://novotest-rf.ru/defektoskopy-ultrazvukovye/preobrazovateli-dlya-ultrazvukovoj-defektoskopii> (дата обращения: 04.09.2023); Преобразователи для дефектоскопии [Электронный ресурс] // Каталог УЗ-константа. URL: <https://constanta.nt-rt.ru/images/showcase/catalog5.pdf> (дата обращения: 04.09.2023).

⁵ Прямые совмещенные ультразвуковые преобразователи П111 (ПЭП) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.inakon.ru/ultrazvukovye-preobrazovateli-pep/dlya-defektoskopov/pryamye-ultrazvukovye-preobrazovateli-p111> (дата обращения: 04.09.2023).

Целью данных исследований было проведение сравнительного анализа чувствительности ультразвукового контроля с применением прямых и наклонных ПЭП различных производителей и сопоставление полученных результатов с чувствительностью контроля при использовании ПЭП от ООО «Алтек», которые традиционно применяются на железной дороге.

Методика эксперимента, материалы и оборудование. В железнодорожной отрасли для оценки чувствительности ультразвукового контроля долгое время применялся метод *эквивалентной чувствительности*, в котором используется образец, характеризующийся минимальными размерами искусственного отражателя определенной формы и ориентации, обнаруживаемый на заданной глубине в изделии при заданной настройке дефектоскопа. Например, чувствительность задана размерами отражателя в виде «пропила», «засверловки», «отверстия» и т. д. [5, 6]

Широкое распространение получил метод настройки *условной чувствительности* на мере СО-2, который заключается в отстройке нулевого уровня на боковом цилиндрическом отражателе и добавлении к нему дополнительного коэффициента усиления K_y , установленного нормативно-техническими документами (НТД)⁶.

Долгое время при настройке параметров контроля сварных соединений малых толщин наибольшее распространение имели угловые отражатели (зарубки), имитирующие поверхностные реальные дефекты. Однако практика показала, что обеспечить вертикальность грани зарубки и гарантировать ее размеры очень трудно. Имеется ряд других ограничений: трансформация упругих волн на гранях и ребрах зарубки может приводить к искажению акустических полей, а нарушение структуры металла поверхности изделия при изготовлении зарубки — к искажениям амплитуды отраженных сигналов. В этой связи в настоящее время на практике очень удобным и наиболее простым для настройки параметров ультразвукового контроля стало использование в качестве отражателя цилиндрического отверстия [7–11].

Переход от *эквивалентной чувствительности* к *условной* на железнодорожном транспорте связан в первую очередь с тем, что все отражатели в соответствии с конструкторской документацией выполнялись на предприятиях самостоятельно. Их изготовление, как правило, проводилось вручную (ножовкой по металлу, электрической дрелью) из-за габаритных размеров объектов контроля, например, для настроечного

(контрольного) образца в виде сформированной колесной пары. Поэтому чувствительность контроля напрямую зависела от качества исполнения отражателей. Сегодня эти отражатели считаются альтернативными, по выявлению которых судят о правильности настройки *браковочной* чувствительности и глубинмера дефектоскопа по мере или отраслевому стандартному образцу (ОСО).

Достоинством применения метода условной чувствительности является то, что для настройки достаточно всего одной меры СО-2 с фиксированными поверяемыми метрологическими характеристиками при контроле различных деталей подвижного состава [8].

Учитывая тот факт, что номенклатура прямых и наклонных ПЭП, а также настроечных образцов, мер с искусственными дефектами из различных сталей, применяемых на железнодорожном транспорте, достаточно широка, авторы данной статьи попытались сузить объем исследований и ограничились проведением эксперимента на образцах, позволяющих, на их взгляд, достаточно хорошо решить поставленную задачу.

Поэтому для проведения исследований был изготовлен образец из стали 20ГЛ, широко применяемой в качестве материала различных деталей и составных частей вагонов, например деталей автосцепного устройства (корпус автосцепки, корпус поглощающего аппарата, тяговый хомут), вагонной рамы (пятник, надпятниковая коробка), тележки вагона (балка наддрессорная, рама боковая) и других. Данный вид стали относится к легированной углеродистой феррито-перлитной стали средней прочности с хорошей хладостойкостью и вязкостью разрушения. Образец представляет собой квадратную пластину размером 156×156 мм и толщиной 20 мм. В целях наглядного сравнения падения чувствительности контроля размеры образца определялись исходя из габаритов ПЭП и количества цилиндрических искусственных боковых отражателей на различной глубине в семи секторах.

При настройке условной чувствительности контроля для осей колесных пар на основании действующих НТД⁷ используется сквозной цилиндрический искусственный боковой отражатель (далее — ЦБО) диаметром 6 мм (меры СО-3Р, СО-2 для метода АР [АР1.1, АР1.3, АР3.1, АР3.2, АР3.3] и ОСО 32-006-2002 для метода ВР [ВР1–ВР4]). В настоящей работе в качестве эталонных отражателей приняты ЦБО диаметром 3 мм на различной глубине. Шероховатость поверхности ввода ультразвука (V_3) $R_z \leq 2,9$ мкм.

⁶ Правила неразрушающего контроля деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте (ред. от 08.12.2022) [Электронный ресурс]. Доступ из АСПИЖТ; Правила неразрушающего контроля сварных соединений при ремонте вагонов (ред. от 15–16.10.2019) [Электронный ресурс]. Доступ из АСПИЖТ.

⁷ Правила неразрушающего контроля деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте (ред. от 08.12.2022). Доступ из АСПИЖТ.

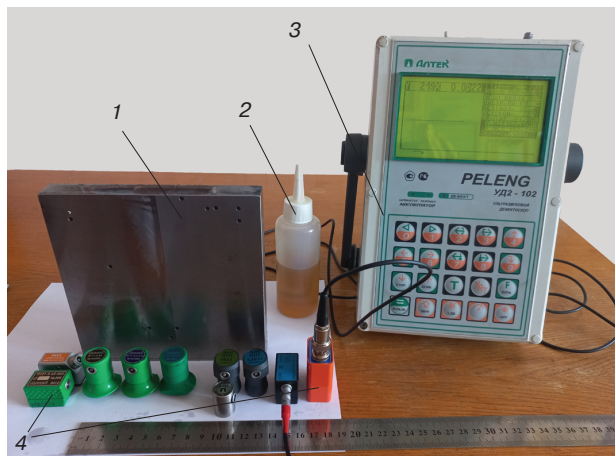


Рис. 1. Технические средства, используемые в исследовании:
1 — образец; 2 — индустриальное масло И-20;
3 — дефектоскоп УД2-102 «Пеленг»; 4 — пьезоэлектрические преобразователи

Fig. 1. Technical tools used in the research:
1 — sample; 2 — Industrial Oil I-20;
3 — Flaw Detector UD2-102 Peleng; 4 — piezoelectric transducers

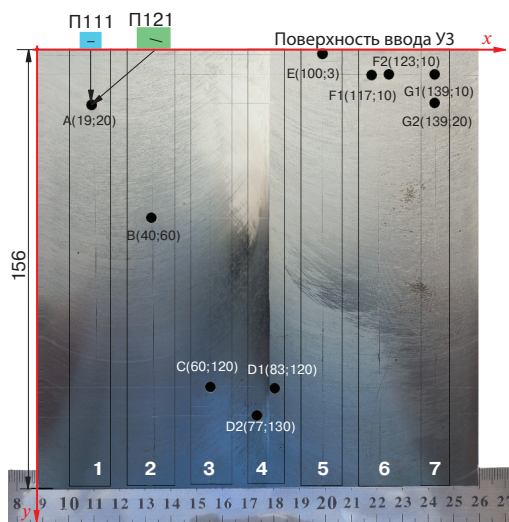


Рис. 2. Схема прозвучивания ЦБО прямыми и наклонными ПЭП:

1–7 — сектора, в которых находится боковое цилиндрическое отверстие (БЦО); П111 — прямой преобразователь (угол ввода 0°, частота 2,5–5 МГц); П121 — наклонный преобразователь (угол ввода 65, 43, 40°, частота 2,5–5 МГц)

Fig. 2. Diagram of probing a cylindrical lateral reflector with straight and angle piezoelectric transducers:
1–7 — sectors with the lateral cylindrical hole; П111 — straight transducer (insertion angle 0°, frequency 2.5–5 MHz); П121 — angle transducer (insertion angle 65, 43, 40°, frequency 2.5–5 MHz)

На рис. 1 представлен образец с вышеописанными отражателями в семи секторах. В качестве дефектоскопа использовался УД2-102 «Пеленг» (ООО «Алтек»), в качестве контактной жидкости применялось индустриальное масло И-20. Сравнивались ПЭП: прямые

ООО «Алтек» и НПО «ИНАКОН» (РФ), наклонные ООО «Алтек» (РФ), ООО «Искатель-2» (РФ) и SIUI (КНР). На рис. 2 представлена схема прозвучивания ЦБО прямыми и наклонными ПЭП на примере отражателя в секторе 1 с координатами центра отверстия А(19; 20).

Эксперимент заключался в сравнении амплитуды сигнала от ЦБО в изготовленном образце ПЭП с одинаковыми характеристиками различных производителей при использовании дефектоскопа УД2-102 «Пеленг». Фиксация амплитуды сигнала от ЦБО проводилась на общепринятом браковочном уровне, что составляет 50 % экрана дефектоскопа. В работе учитывались ЦБО не во всех секторах по причине нахождения некоторых из них на одинаковой глубине (например, для прямых ПЭП не учитывались сектора 4 и 6, которые имеют ЦБО на такой же глубине, как и в секторах 3 и 7 соответственно). Ввиду отсутствия наклонных ПЭП различных производителей с большим углом ввода для целей уменьшения мертвой зоны (ЦБО находится в приповерхностной зоне) отражатель в секторе 5 также не учитывался. В секторе 7 для прямого ПЭП учитывался ЦБО, ближайший к поверхности ввода УЗ, по причине невозможности выявления симметрично расположенного отражателя на большей глубине.

Настройка глубиномера осуществлялась по тем же известным ЦБО, поскольку задача оценки точности показаний глубины их залегания не ставилась. Результаты эксперимента приведены в табл. 1, 2.

Эксперимент проводился для каждого ПЭП несколько раз и статистически значимого изменения результатов измерений установлено не было.

Результаты исследований. Эксперимент показал, что чувствительность преобразователей П111-2,5-К12 НПО «ИНАКОН» сопоставима с преобразователями П111-2,5-К12, П111-2,5-К12П ООО «Алтек». При этом из табл. 1 и рис. 3 видно, что чувствительность П111-5,0-12 с протектором из стеклотекстолита ООО «Алтек» уступает П111-5,0-К12 с протектором из керамики НПО «ИНАКОН» (общее усиление дефектоскопа с использованием ПЭП производства НПО «ИНАКОН» при выявлении ЦБО в секторах 1, 2, 3, 7 образца на 10–16 дБ меньше в сравнении с ПЭП ООО «Алтек»).

При сравнении П111-5,0-К12 НПО «ИНАКОН» с П111-5,0-К6 ООО «Алтек» чувствительность на небольшой глубине сопоставима, а с увеличением глубины падает, так как это связано с диаметром пьезопластины (12 мм у П111-5,0-К12, 6 мм у П111-5,0-К6). Поскольку угол раскрытия диаграммы направленности у преобразователя П111-5,0-К12 с диаметром пьезопластины 12 мм меньше, то направленность поля ПЭП выше.

При сравнении чувствительности наклонных ПЭП (табл. 2, рис. 4) было установлено снижение чувствительности П121-5-65-003, П121-2,5-40-091 ООО «Алтек»

Таблица 1

Сравнение чувствительности контроля с использованием прямых ПЭП (П111)

Table 1

Comparison of control sensitivity using straight piezoelectric transducers (P111)

Сектор ЦБО, обозначение и координаты центра отверстия, мм	Тип ПЭП					
	П111-2,5-К12	П111-2,5-К12П*	П111-2,5-К12	П111-5,0-12	П111-5,0-К6	П111-5,0-К12
	Изготовитель					
	«Алтек»	«Алтек»	НПО «ИНАКОН»	«Алтек»	«Алтек»	НПО «ИНАКОН»
Усиление дефектоскопа, дБ						
1, A (19;20)	6	6	7	35	16	19
2, B (40;60)	15	12	14	33	26	23
3, C (60;120)	22	21	23	44	38	29
4, D1 (83;120), D2 (77;130)	—	—	—	—	—	—
5, E (100;3)	—	—	—	—	—	—
6, F1 (117;10), F2 (123;10)	—	—	—	—	—	—
7, G1 (139;10), G2 (139;20)	—	—	—	32 (G1)	11 (G1)	17 (G1)
Донный сигнал	6	5	6	23	14	15

* Со встроенной микросхемой энергонезависимой памяти.

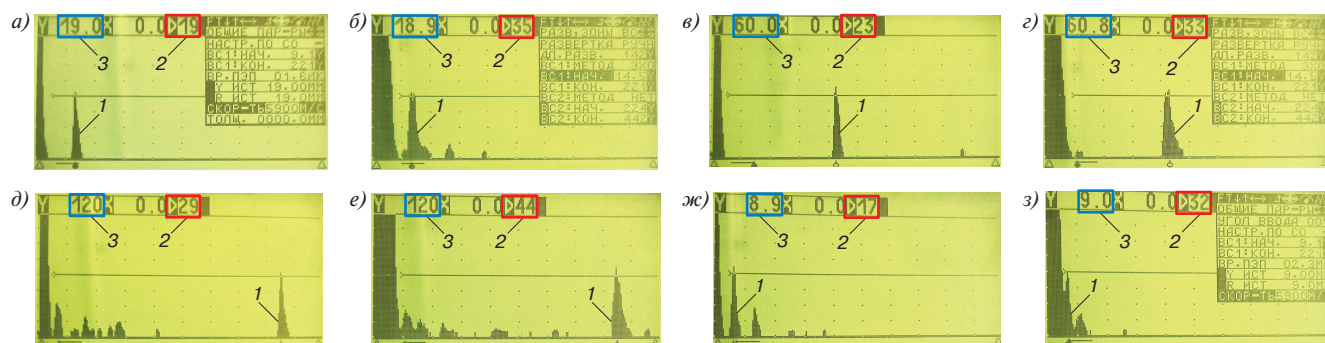


Рис. 3. Дефектограммы контроля ЦБО в образце для прямых ПЭП:

1 — эхо-сигнал от БЦО; 2 — значение общего усиления дефектоскопа УД2-102 «Пеленг», дБ; 3 — значение глубины залегания БЦО, мм;
 а, в, д, ж — П111-5,0-К12 НПО «ИНАКОН» (материал протектора — керамика); б, г, з — П111-5,0-12 ООО «Алтек» (материал протектора — стеклотекстолит); а, б — сектор 1, А (19;20); в, г — сектор 2, В (40;60); д, е — сектор 3, С (60;120); ж, з — сектор 7, Г (139;10)

Fig. 3. Cylindrical lateral reflector control diagrams in a sample for straight piezoelectric transducers:

1 — echo signal from the lateral cylindrical hole; 2 — total gain of Flaw Detector UD2-102 Peleng, dB; 3 — depth of the lateral cylindrical hole, mm;
 а, в, д, ж — P111-5,0-K12 NPO INAKON (protector material: ceramic); б, г, з — P111-5,0-12 Altek LLC (protector material: fiberglass laminate); а, б — Sector 1, A (19;20); в, г — Sector 2, B (40;60); д, е — Sector 3, C (60;120); ж, з — Sector 7, G (139;10)

по сравнению с преобразователями AFN5-1010-65L, П121-2,5-43СТ81 фирмы SIUI и ООО «Искатель-2» соответственно (общее усиление дефектоскопа с использованием ПЭП AFN5-1010-65L производства SIUI при выявлении ЦБО в секторах 1, 2 образца на 14–18 дБ меньше в сравнении с ПЭП П121-5-65-003 ООО «Алтек», а для ПЭП П121-2,5-43СТ81 производства ООО «Искатель-2» при выявлении ЦБО в секторах 1, 5 образца общее усиление дефектоскопа на 8–11 дБ меньше в сравнении с ПЭП П121-2,5-40-091 ООО «Алтек»).

Например, на рис. 4 (и, к) хорошо видно, как ЦБО во втором секторе образца на глубине 60 мм выявляется при существенной разнице в общем усилении дефектоскопа. При использовании преобразователя AFN5-1010-65L амплитуда сигнала достигает браковочного уровня (50 % экрана) при 55 дБ, в то время как для П121-5-65-003 при 73 дБ.

При этом выделить полезный сигнал в массиве «ложных» при использовании П121-5-65-003 достаточно сложно. На рис. 4 (а, б) ЦБО в секторе 5 на глубине 3 мм выявляется при 32 дБ (амплитуда достигает 50 %

Таблица 2

Сравнение чувствительности контроля с использованием наклонных ПЭП (П121)

Table 2

Comparison of control sensitivity using angle piezoelectric transducers (P121)

Сектор ЦБО, обозначение и координаты центра отверстия, мм	Тип ПЭП			
	П121-5-65-003	AFN5-1010-65L	П121-2,5-40-091	П121-2,5-43СТ81
	Изготовитель			
	«Алтек»	SIUI	«Алтек»	«Искатель-2»
	Усиление дефектоскопа, дБ			
1, А (19;20)	41	27	30	22
2, В (40;60)	73	55	50	46
3, С (60;120)	—	—	—	—
4, D1 (83;120), D2 (77;130)	—	—	—	—
5, E (100;3)	27	27	32	21
6, F1 (117;10), F2 (123;10)	—	—	—	—
7, G1 (139;10), G2 (139;20)	—	—	22 (G1), 26 (G2)	19 (G1), 23 (G2)

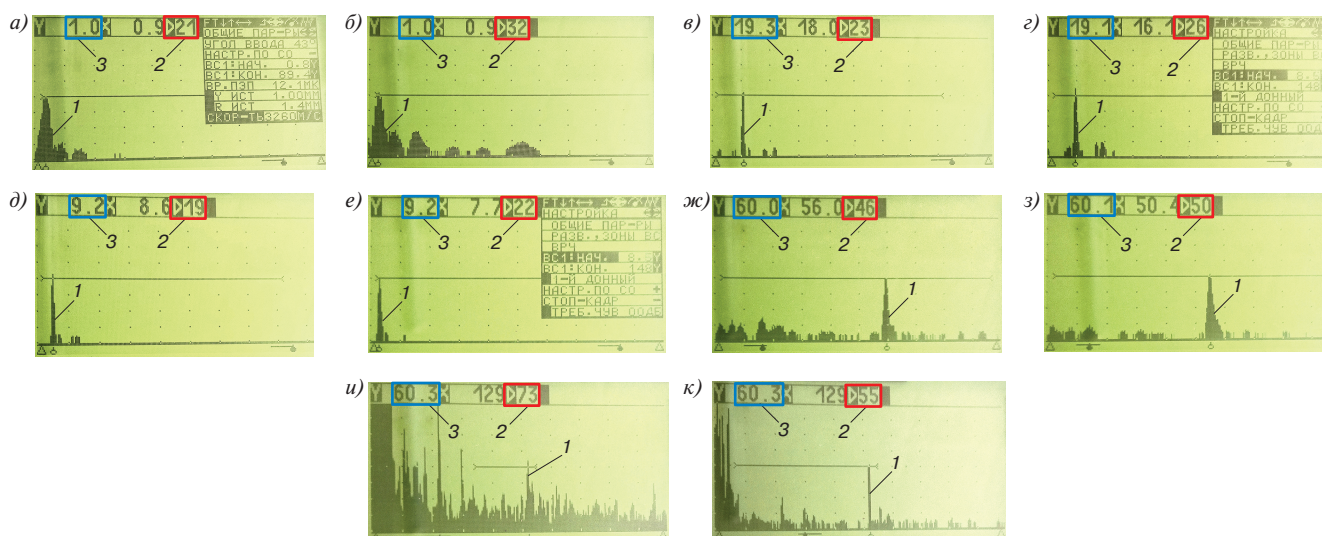


Рис. 4. Дефектограммы контроля ЦБО в образце для наклонных ПЭП:

1 — эхо-сигнал от БЦО; 2 — значение общего усиления дефектоскопа УД2-102 «Пеленг», дБ; 3 — значение глубины залегания БЦО, мм; а, в, д, ж — П121-2,5-43СТ81 (ООО «Искатель-2»); б, г, з, з — П121-2,5-40-091 (ООО «Алтек»); у — П121-5-65-003 (ООО «Алтек»); к — AFN5-1010-65L (SIUI); а, б — сектор 5, E (100;3); в, г — сектор 7, G2 (139;20); д, е — сектор 7, G1 (139;10); ж, з, у, к — сектор 2, В (40;60)

Fig. 4. Lateral cylindrical hole control diagram in a sample for angle piezoelectric transducers:

1 — echo signal from the lateral cylindrical hole; 2 — total gain of Flaw Detector UD2-102 Peleng, dB; 3 — depth of the lateral cylindrical hole, mm; а, в, д, ж — P121-2,5-43СТ81 (Iskatel-2 LLC); б, г, з, з — P121-2,5-40-091 (Altek LLC); у — P121-5-65-003 (Altek LLC); к — AFN5-1010-65L (SIUI); а, б — Sector 5, E (100;3); в, г — Sector 7, G2 (139;20); д, е — Sector 7, G1 (139;10); ж, з, у, к — Sector 2, В (40;60)

экрана) для П121-2,5-40-091, в то время как П121-2,5-43СТ81 при 21 дБ. С точки зрения физических свойств УЗ у ПЭП с углом ввода 43° мертвая зона будет меньше, чем у ПЭП с углом ввода 40°, т. е. чувствительность выявления ЦБО в приповерхностном слое образца будет выше у П121-2,5-43СТ81. Однако разница амплитуд в 11 дБ при разнице углов ввода в 3° считается большой.

Обсуждение и заключение. Как показывает практика, при оценке качества объектов железнодорожного транспорта при ультразвуковом контроле важную роль играет выбор такого ПЭП, который при меньшем общем усилении дефектоскопа обнаруживает дефекты. Это связано с тем, что с ростом общего усиления дефектоскопа растут шумы и появляются ложные эхо-сигналы, которые могут привести к перебраковке.

Проведенные исследования показали, что чувствительность ультразвукового контроля с использованием ПЭП таких производителей, как НПО «ИНАКОН», ООО «Искатель-2», фирма SIUI не уступает, а в отдельных случаях превосходит чувствительность контроля при применении традиционных ПЭП от ООО «Алтек», используемых на железной дороге. Полученные результаты свидетельствуют, что преобразователи производства компании SIUI (AFN5-1010-65L), ООО «Искатель-2» (П121-2,5-43СТ81), НПО «ИНАКОН» (П111-5,0-К12) могут быть использованы вместо ПЭП ООО «Алтек», которые выпускаются непосредственно для дефектоскопов типа УД2-102 «Пеленг».

Сегодня на рынке имеется большой ассортимент преобразователей, обладающих необходимыми характеристиками: повышенной точностью, стабильностью, чувствительностью, расширенным рабочим диапазоном частот и т. д. Разработаны технологии проектирования (синтеза) ПЭП с использованием пространственных энергосиловой структуры и электромеханической обратной связи, пространственного расположения и коммутации электродов пьезоэлемента, технологии включения пьезорезонаторов и трансформаторов в схемы электрических фильтров и технологии присоединения к пьезоэлементу добавочных элементов и т. д.

На основании полученных результатов можно полагать, что ограничиваться только ПЭП, предлагаемыми заводом-изготовителем дефектоскопа, для обеспечения согласования электронного блока с преобразователями не обязательно. Однако это возможно только в том случае, если производитель ПЭП при отдельной его поставке заказчику (не в комплекте с дефектоскопом) указывает в паспорте ПЭП информацию о возможности его использования с конкретными типами ультразвуковых дефектоскопов.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Finding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Шарапов В. М., Сотула Ж. В. Пьезокерамические преобразователи. Новые технологии проектирования // Электроника: наука, технологии, бизнес. 2012. № 5 (00119). С. 96–102 [Sharapov V. M., Sotula Zh. V. Piezoceramic converters. New design technologies. *Electronics: Science, Technology, Business*. 2012;(5):96–102. (In Russ.)].

2. Отока А. Г., Холодильов О. В. Ультразвуковой контроль подступичной части оси колесной пары с использованием преобразователей на фазированной решетке // Вестник БелГУТа: наука и транспорт. 2022. № 2 (45). С. 73–78 [Otoka A. G., Kholodilov O. V. Ultrasonic testing of the bearing part of the axis of the wheels pair using phased array transducers. *Bulletin of BSUT: science and transport*. 2022;(2):73–78. (In Russ.)].

3. Ахмеджанов Р. А., Макарошкин В. В., Родченко Л. А. О совершенствовании ультразвукового контроля оси колесной пары вагона // Известия Транссиба. 2014. № 2 (18). С. 7–18 [Akhmedzhanov R. A., Makarochkin V. V., Rodchenko L. A. Improvement of ultrasonic inspection of the wagon wheelset axle. *Journal of Transsib Railway Studies*. 2014;(2):7–18. (In Russ.)].

4. Дымкин Г. Я., Лохов В. П. Еще раз о влиянии шероховатости поверхности изделия на результаты ультразвукового контроля прямым ПЭП // В мире НК. 2007. № 1 (35). С. 25–26 [Dymkin G. Ya., Lokhov V. P. Influence of Products' Surface Roughness on Results of Ultrasonic Inspection with the Use of Piezoelectric Transducers. *NDT World Review*. 2007;(1):25–26. (In Russ.)].

5. Синица А. Н., Куликов В. П., Синица М. А. Ультразвуковой контроль осей трамвайных вагонов дефектоскопом УД2-102 «Пеленг» // Вестник Белорусско-Российского университета. 2023. № 3 (80). С. 153–160 [Sinita A. N., Kulikov V. P., Sinita M. A. Ultrasonic inspection of tramway car axles with UD2-102 Peleng flaw detector. *Belarusian-Russian University Bulletin*. 2023;(3):153–160. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.24412/2077-8481-2023-3-153-160>.

6. Киреев А. Н. Настройка эквивалентной чувствительности при ультразвуковом контроле стыков сварных соединений из машиностроительных сталей // В мире НК. 2016. Т. 19, № 3. С. 74–76 [Kireev A. N. Equivalent sensitivity setting during ultrasonic inspection of steel butt welded joints. *NDT World Review*. 2016;19(3):74–76. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.12737/21175>.

7. 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 Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2017. Т. 76, № 6. С. 377–382 [Kireev A. N., Vitrenko V. A. 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. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-377-382>.

8. Могильнер Л. Ю. Применение цилиндрического отражателя для настройки чувствительности при ультразвуковом контроле // Дефектоскопия. 2018. № 7. С. 27–36 [Mogilner L. Yu. Application of a cylindrical reflector for sensitivity adjustment in ultrasonic control. *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2018;(7):27–36. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.1134/S0130308218070047>.

9. Киреев А. Н., Киреева М. А. Анализ погрешностей условной чувствительности при ультразвуковом контроле деталей подвижного состава // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2018. № 2 (38). С. 27–34 [Kireev A. N., Kireeva M. A. Analysis of the errors of conditional sensitivity use at ultrasonic control of railroads rolling stock details. *Herald of the USURT*. 2018;(2):27–34. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2018-2-27-34>.

10. Отока А. Г., Холодильов О. В. Влияние температуры контактной среды на иммерсионный ультразвуковой контроль колесных пар вагонов при ремонте // Известия Транссиба. 2023. № 3 (55). С. 24–33 [Otoka A. G., Kholodilov O. V. Influence of the temperature of the contact medium for immersion ultrasonic testing wheelsets of wagons during repair. *Journal of Transsib Railway Studies*. 2023;(3):24–33. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/xdkmwv>.

11. Отока А. Г., Логунов В. Г., Холодильов 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

[Otoka A. G., Logunov V. G., Kholodilov O. V. Sensitivity of contact and immersion ultrasonic control methods in detecting reference reflectors in a tuning sample. *Nondestructive testing and diagnostics*. 2023;(1):30-36. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/gvytjpj>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Генрикович ОТОКА,

магистр технических наук, аспирант, кафедра «Вагоны», Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ, 246653, г. Гомель, ул. Кирова, д. 34); инженер-технолог, Гомельское вагонное депо РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги» (246014, г. Гомель, ул. Телегина, 1а), SPIN-код: 2466-5708, Author ID: 1220168, <https://orcid.org/0009-0003-9926-9439>

Олег Викторович ХОЛОДИЛОВ,

д-р техн. наук, профессор, кафедра «Вагоны», Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ, 246653, г. Гомель, ул. Кирова, д. 34), SPIN-код: 1818-4103, Author ID: 188646, <https://orcid.org/0009-0005-5799-0097>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander G. OTOKA,

Master Sci. (Eng.), Postgraduate, Carriage Department, Belarusian State University of Transport (246653, Gomel, 34, Kirova St.); Process Engineer, Gomel Carriage Depot, Belarusian Railway Gomel Department (Republican Unitary Enterprise) (246014, Gomel, 1a, Telegina St.), SPIN-code: 2466-5708, Author ID: 1220168, <https://orcid.org/0009-0003-9926-9439>

Oleg V. KHOLODILOV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Carriage Department, Belarusian State University of Transport (246653, Gomel, 34, Kirova St.),

SPIN-code: 1818-4103, Author ID: 188646, <https://orcid.org/0009-0005-5799-0097>

ВКЛАД АВТОРОВ

Александр Генрикович ОТОКА. Осуществление эксперимента, сбор и структурирование материалов, написание и редактирование текста статьи, выводы (60%).

Олег Викторович ХОЛОДИЛОВ. Формирование направления исследования, формулировка целей и задач, редактирование текста статьи, выводы (40%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Alexander G. OTOKA. Implementation of the experiment, collection and structuring of materials, article writing and editing, conclusions (60%).

Oleg V. KHOLODILOV. Formation of the research direction, formulation of goals and objectives, article editing, conclusions (40%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 12.01.2024, рецензия от первого рецензента получена 29.01.2024, рецензия от второго рецензента получена 05.02.2024, принята к публикации 12.02.2024.

The article was submitted 12.01.2024, first review received 29.01.2024, second review received 05.02.2024, accepted for publication 12.02.2024.



ТРУДЫ ВНИИЖТ

Рожицкий, Дмитрий Борисович. Нетяговая энергетика железнодорожного транспорта. Нормирование потребления топливно-энергетических и водных ресурсов / Д. Б. Рожицкий. — Москва : РАС, 2022. — 324 с.

Книга содержит необходимые сведения о структуре энергетике железнодорожного транспорта с учетом ее разделения на тяговую и нетяговую компоненты. Показаны доли этих составляющих. Рассмотрены базовые положения о формировании топливно-энергетических балансов и основы нормирования ресурсов применительно к нетяговой энергетике.

Приведены общие положения, методики и примеры расчета нормирования потребления электрической энергии на нетяговые нужды, котельно-печного топлива для котельных и теплоты для стационарных потребителей, включая потребности в ресурсах на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и различные теплотехнологии, основных видов моторного топлива, применяемого как в автотранспорте, так

и для обеспечения работы специализированной техники, осуществляющей работы по прокладке и ремонту железнодорожных путей, а также нормирование водопотребления и определение объемов водоотведения для железнодорожных потребителей.

Издание адресовано в первую очередь инженерам-энергетикам, инженерам по водоснабжению, занимающимся вопросами в области нормирования потребления топливно-энергетических и водных ресурсов, а также вопросами эффективного их использования на нетяговые нужды железнодорожного транспорта. Может быть использовано специалистами других отраслей при решении аналогичных задач, а также научными работниками и студентами высших учебных заведений соответствующих специальностей.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, Научно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (495) 602-83-01, e-mail: journal@vniizht.ru, www.vniizht.ru