

Научная статья

УДК 620.179.1

doi:10.46684/2687-1033.2022.3.189-195

Проектирование приемного блока ультразвукового дефектоскопа рельсов

А.Д. Михед^{1✉}, О.А. Титус²

^{1,2} Узловский железнодорожный техникум – филиал Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I в г. Узловая (Узловский ж.д. техникум – филиал ПГУПС); г. Узловая, Россия

¹ anton11588@yandex.ru✉

² uzlovaya@pgups.ru

АННОТАЦИЯ

Разработка приемного блока ультразвукового (УЗ) дефектоскопа для контроля рельсов включает теоретические и практические исследования. Особое внимание уделяется экспериментальному определению характеристик УЗ пьезодатчика и описанию приемно-усилительного тракта. Макетный образец УЗ дефектоскопа позволяет производить проверку рельс на наличие дефектов и дает ощутимый выигрыш в габаритах по сравнению с громоздкими аналогами.

Используемые теоретические методы основывались на принципах электротехники, электронной техники, графического анализа и теории автоматического управления.

Экспериментальные исследования пьезодатчика дали возможность определить его главную резонансную частоту. Правильный выбор параметров усилительного блока обеспечил точную и надежную работу прибора. Практические испытания дефектоскопа с помощью специального буферного образца рельса позволили осуществить настройку его чувствительности.

За основу приемно-усилительного тракта дефектоскопа взят входной усилитель микровольтметра ВЗ-40. Прибор включает возможность его использования совместно с преобразователем. Представлена структурная схема дефектоскопа. Описана электрическая схема входного делителя с выбором необходимых сопротивлений и электрическая схема измерителя эффективного значения с описанием всех его элементов.

Режимы работы и радиоэлектронные схемы выбраны по справочным данным с учетом их высокой надежности. Применение в схемном решении аналоговых интегральных микросхем позволило увеличить надежность и точность устройства дефектоскопа, упростить его наладку, уменьшить дрейф нуля и улучшить качество выходного сигнала.

Ключевые слова: ультразвук; дефектоскоп; неразрушающий контроль; пьезоэлемент; резонанс; электроника; приемный блок

Для цитирования: Михед А.Д., Титус О.А. Проектирование приемного блока ультразвукового дефектоскопа рельсов // Техник транспорта: образование и практика. 2022. Т. 3. Вып. 2. С. 189-195. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2022.2.189-195>

Original article

Design of the receiving unit of the ultrasonic rail flaw detector

Anton D. Mikhed^{1✉}, Olga A. Titus²

^{1,2} Uzlovsky railway technical school – a branch of the Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University in Uzlovaya (Uzlovsky railway technical school – branch of PGUPS); Uzlovaya, Russian Federation

¹ anton11588@yandex.ru✉

² uzlovaya@pgups.ru

ABSTRACT

The development of an ultrasonic flaw detector receiving unit for rail monitoring includes theoretical and practical studies. Special attention is paid to the experimental determination of the characteristics of the ultrasonic piezoelectric sensor and the description of the receiving-amplifying path. A mock-up sample of an ultrasonic flaw detector allows checking rails for defects and gives a tangible gain in dimensions compared to bulky analogues.

The theoretical methods used were based on the principles of electrical engineering, electronic engineering, graphical analysis and the theory of automatic control.

© А.Д. Михед, О.А. Титус, 2022

Experimental studies of the piezoelectric sensor allowed us to determine its main resonant frequency. The correct choice of parameters of the amplifier unit ensured accurate and reliable operation of the device. Practical tests of the flaw detector using a special buffer sample of the rail made it possible to adjust its sensitivity

The input amplifier of the microvoltmeter V3-40 is taken as the basis of the receiving and amplifying path of the flaw detector. The device includes the possibility of its use in conjunction with the converter. The structural diagram of the flaw detector is presented. The electrical circuit of the input divider with the selection of the necessary resistances and the electrical circuit of the effective value meter with a description of all its elements are described.

Operating modes and electronic circuits are selected according to reference data, taking into account their high reliability of operation. The use of analog integrated circuits in the circuit solution made it possible to increase the reliability and accuracy of the flaw detector device, simplify its adjustment, reduce zero drift and improve the quality of the output signal.

Keywords: ultrasound; flaw detector; non-destructive testing; piezoelectric element; resonance; electronics; receiving unit

For citation: Mikhed A.D., Titus O.A. Design of the receiving unit of the ultrasonic rail flaw detector. *Transport technician: education and practice*. 2022;3(2):189-195. (In Russ.). <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2022.2.189-195>.

ВВЕДЕНИЕ

Методы ультразвуковой (УЗ) дефектоскопии помогают своевременно выявить опасные скрытые дефекты. С использованием различных современных методов производится контроль агрегатов, сварных соединений металлоконструкций, сварных стыков рельсов, железнодорожных путей. Осуществляется оценка качества аппаратов высокого давления, листового проката, труб и различных видов изделий.

На сегодняшний день существует множество методов для УЗ диагностики: теневой, эхо-метод, магнитный, ультразвуковой фазированной решетки и др. Основой методов УЗ дефектоскопии является применение упругих волн, которые дают возможность проводить эффективные исследования при различных напряженно-деформированных состояниях пьезоэлемента. Эффект волн состоит в том, что они способны проникать на большие расстояния непосредственно в исследуемый материал, не разрушая его [1, 2].

Для диагностики материалов из камня, кирпича, железобетона, бетона широкое распространение получили томографы. Такие приборы незаметны в тех случаях, когда необходимо определить возможное разрушение материала внутри стены при ее одностороннем доступе [3].

Метод УЗ фазированной решетки заключается в применении ультразвука. В этом случае преобразователь содержит большое количество пьезоэлементов. Формирование лучей происходит за счет генератора, выходом которого служит сигнал пропорциональной плоскости сканирования [4–6].

Размеры и формы дефектоскопов зависят от способа их использования и измеряемого материала. Как средство обнаружения дефектов их делят на стационарные, съемные и переносные. При сканировании железнодорожных путей приме-

няют съемные односторонние и двухсторонние УЗ дефектоскопы [7].

Особенность аппаратуры и устройств для УЗ контроля металлоконструкций на железнодорожном транспорте состоит в том, что они предназначены для обнаружения дефектов в рельсах. Дефектоскопия позволяет выявлять дефекты в рельсах волнами УЗ диапазона.

Известны исследования пьезоэлектрических преобразователей дефектоскопов в различных режимах работ. Обзор существующих приборов и датчиков для УЗ дефектоскопии показал, что рынок таких устройств обширен, а их работа основывается на применении новых технологий, которые зависят от объекта, а также материальной среды исследования. При этом могут использоваться различные физические и электрические эффекты [8].

Большую популярность приобрели УЗ дефектоскопы на основе магнитного метода при диагностике состояния рельсов. Их работа осуществляется с помощью сигналов магнитного вагона-дефектоскопа [9].

Постоянное совершенствование технологий построения дефектоскопов предполагает применение современной компьютерной базы, цифровой техники и микропроцессорных систем. Такие приборы способны запоминать результаты измерений, сравнивать и анализировать показания, накапливать и обрабатывать данные [10].

При создании микропроцессорных дефектоскопов возникает необходимость в аппаратном и программном обеспечении. Без специализированных программ работа с такими приборами становится невозможна [11]. Вследствие чего, очевиден основной недостаток рассмотренных современных УЗ дефектоскопов — это их высокая стоимость.

Пьезопреобразователи дефектоскопов работают в импульсных режимах. Для оптимального

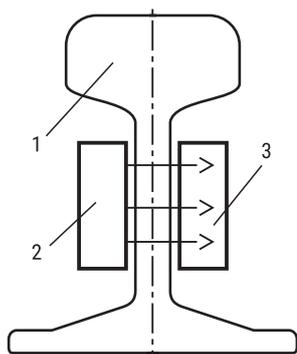


Рис. 1. Используемая схема для выявления дефекта в рельсе теневым методом:

1 – рельс; 2 – излучатель; 3 – приемник

функционирования приборов стараются период излучаемого импульса сделать наименьшим. Такой эффект достигается за счет четвертьволнового согласующего слоя или демпфирования [12].

Ключевая задача проектирования представленного прибора сводится к созданию приемного блока УЗ дефектоскопа, работающего совместно с преобразователем, при всех своих возможностях не уступающих, а порой и превосходящих возможности современных моделей аналогичных приборов, и, являясь более выгодным в экономическом плане. Дефектоскоп позволяет, в соответствии с заданием, наряду с измерением дефектов в материалах измерять их толщину [13].

Перед непосредственным использованием дефектоскопа проводят его практические испытания посредством специальных буферных образцов, которые имеют заранее известные дефекты. С помощью буферных образцов получают опорный сигнал, благодаря чему рассчитывается требуемая поправка для точной работы УЗ дефектоскопа [14].

Предлагаемый приемный блок УЗ дефектоскопа работает на основе теневого метода. На рис. 1 приведена схема для выявления дефектов в рельсе. Основными элементами при работе прибора являются генератор, колебания которого возбуждают излучающим пьезопреобразователем 2, и приемный пьезоэлемент 3, между которыми находится измеряемый рельс 1. В качестве пьезоэлемента для дефектоскопа была выбрана круглая пластинка в

виде диска на основе пьезокерамики ЦТС-5, радиусом 36 мм и толщиной 9 мм [15]. Особенность материала ЦТС-5 заключается, прежде всего, в высоком значении механической добротности и коэффициента электромеханической связи. Кроме того, условия работы приемников определяют требование к температурной стабильности резонансной частоты и емкости, как для обеспечения стабильности принимаемого УЗ сигнала, так и для согласования пьезодатчиков с приемным блоком дефектоскопа.

Пьезорезонатор на основе пьезокерамики ЦТС-5 рассматривался как эквивалентный колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности, конденсатора и активного сопротивления. Для колебательного контура расчетным путем определена резонансная частота — 63 000 Гц.

С целью усиления сигнала с приемника использовался микровольтметр ВЗ-40 со стрелочной панелью индикации. Данный измерительный прибор обеспечивает достаточный диапазон измерения эффективного значения напряжения произвольной формы и высокое входное сопротивление. Это дает возможность применения различных по уровню выходных сигналов датчика. Для согласования выходного сопротивления датчика с входным сопротивлением усилительного блока приемный блок имеет входное сопротивление порядка 5 МОм. Спектр частот измеряемых прибором переменных напряжений укладывается в диапазон от 5 Гц до 5 МГц.

Структурная схема дефектоскопа приведена на рис. 2. Прибор состоит из пьезоэлектрического преобразователя, входного делителя, преобразователя импеданса (ПИ), аттенюатора, широкополосного усилителя (ШУ), измерителя эффективного значения, стрелочного индикатора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Теоретические методы основывались на принципах электронной техники, электрических измерений, математического и графического анализа. Построение структурной и электрической схем выполнено с использованием прикладной программы CorelDRAW 2020, а исследование электрических блоков дефектоскопа с помощью программы

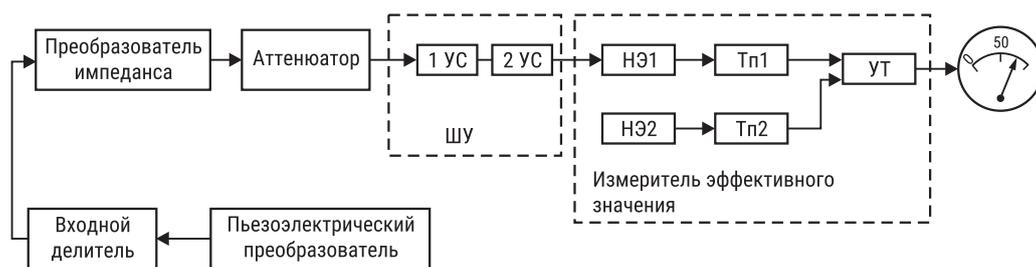


Рис. 2. Структурная схема дефектоскопа

Electronic Workbench 5.12. Электрические измерения осуществлялись микровольтметром ВЗ-40.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Приведем описание главных элементов предлагаемого дефектоскопа и результатов исследования пьезоэлектрического преобразователя.

Входной делитель способен принимать сигнал в соотношении от 1:1 (поддиапазон 300 мВ) до 1:1000 (поддиапазон 1 В). Диапазон соотношений делителя меняется при переключении его плеч с помощью тумблера. Входное сопротивление определено микровольтметром ВЗ-40 и может меняться до 5 МОм.

Электрическая схема входного делителя показана на рис. 3. Подключение пьезоэлектрического преобразователя ВQ осуществляется через вилку X1 к правому плечу делителя последовательно с RC-цепочкой, состоящей из резистора R1 и емкостей C2, C1. Коэффициент деления можно регулировать с помощью потенциометра R4, который включен последовательно с постоянным резистором R3 в левом плече делителя. При работе дефектоскопа на частотах 1 МГц и выше установлены последовательные RC-цепочки: емкость C3 и резистор R2; емкость C5 и резистор R5. Кроме этого, параллельную RC-цепочку образуют емкость C4 и резисторы R4, R3.

Коэффициент деления входного делителя на участках 1–9 имеет соотношение 1:1 ($k_{1-9} = 1:1$), а на участках 10–15 — 1:1000 ($k_{10-15} = 1/1000$). Выбираем следующие сопротивления делителя: $R_1 = 5,1 \text{ МОм} = 5,1 \cdot 10^6 \text{ Ом}$, $R_2 = 4,87 \text{ кОм} = 4,87 \cdot 10^3 \text{ Ом}$, $R_3 = 1 \text{ кОм} = 10 \text{ 000 Ом}$. Тогда коэффициент деления на участках 10–15: $k_{10-15} = (R_2 + R_3)/R_1 = 5,87 \cdot 10^3 / 5,1 \cdot 10^6 \approx 1/1000$.

Таким образом, входной делитель может либо не изменять уровень входного сигнала при коэффициенте деления 1:1, либо понижать этот уровень в 1000 раз.

Для того чтобы получить требуемое входное сопротивление используют ПИ, реализованный как «Усилитель Уайта». Но более стабильную и точную работу ПИ обеспечило его последующее выполнение на полевом транзисторе. Благодаря отрицательной обратной связи по току реализо-

вана стабильность режимов постоянного тока и коэффициента передачи.

Аттенюатор необходим для переключения поддиапазонов измерения прибора и содержит шесть ступеней по 10 дБ каждая. Электрической составляющей аттенюатора служат достаточно точные высокочастотные резисторы C2–10.

ШУ выполнен на восьми транзисторах КТ312В. Первая усилительная секция (1УС) собрана на трех транзисторах и обеспечивает коэффициент усиления 1,35. Изменение коэффициента усиления секции производится путем изменения верхнего плеча делителя отрицательной обратной связи, переключаемого поддиапазонов измерения.

Вторая усилительная секция (2УС) собрана на пяти транзисторах и обеспечивает коэффициент усиления 65. Выравнивание частотной характеристики в области низких частот осуществляется конденсатором. Обе секции охвачены глубокой отрицательной обратной связью, стабилизирующей работу прибора. Выходной сигнал усилительной секции 2УС поступает на измеритель эффективно значения и составляет около 100 мВ.

Предлагаемая электрическая схема измерения эффективного значения, которая реализует метод термического преобразования, показана на рис. 4.

В качестве квадратичного детектора используются два включенных последовательно термопреобразователя Тп1 и Тп2 типа ТВБ-4. От перегрузок термопреобразователи защищены диодами VD1–VD4. Напряжение термо-ЭДС на выходе преобразователей составляет около 1 мВ.

Связь между эффективным значением и мощностью позволяет измерять эффективное напряжение посредством измерения тепла, выделяемого на нагревательном элементе НЭ1, измеряемым переменным напряжением. Нагревательный элемент вызывает изменение сопротивления термопреобразователя Тп1. При этом возникает разбалансировка мостовой резистивной схемы и на входе операционного усилителя (ОУ) DA1 появляется напряжение. Аналогичный преобразователь включен в цепь обратной связи ОУ DA2. Его нагревательный элемент НЭ2 увеличивает температуру постоянным выходным сигналом ОУ. Термопреобразователь Тп2, нагреваемый элементом НЭ2, также изменяет свое сопротивление и восстанавливает равенство напряжений на входах ОУ.

Температура определяется по изменению теплового тока Тп1. Для того чтобы различные нелинейности и воздействия со стороны окружающей среды не оказывали существенного влияния на работу дефектоскопа в схему включен измерительный элемент НЭ2-Тп2. В свою очередь на НЭ2 подается постоянный ток с усилителя DA1. Нагревание Тп2 происходит благодаря термической связи, вследствие чего ток с Тп2 будет увеличиваться

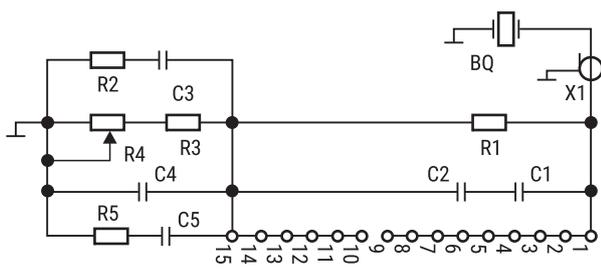


Рис. 3. Электрическая схема входного делителя

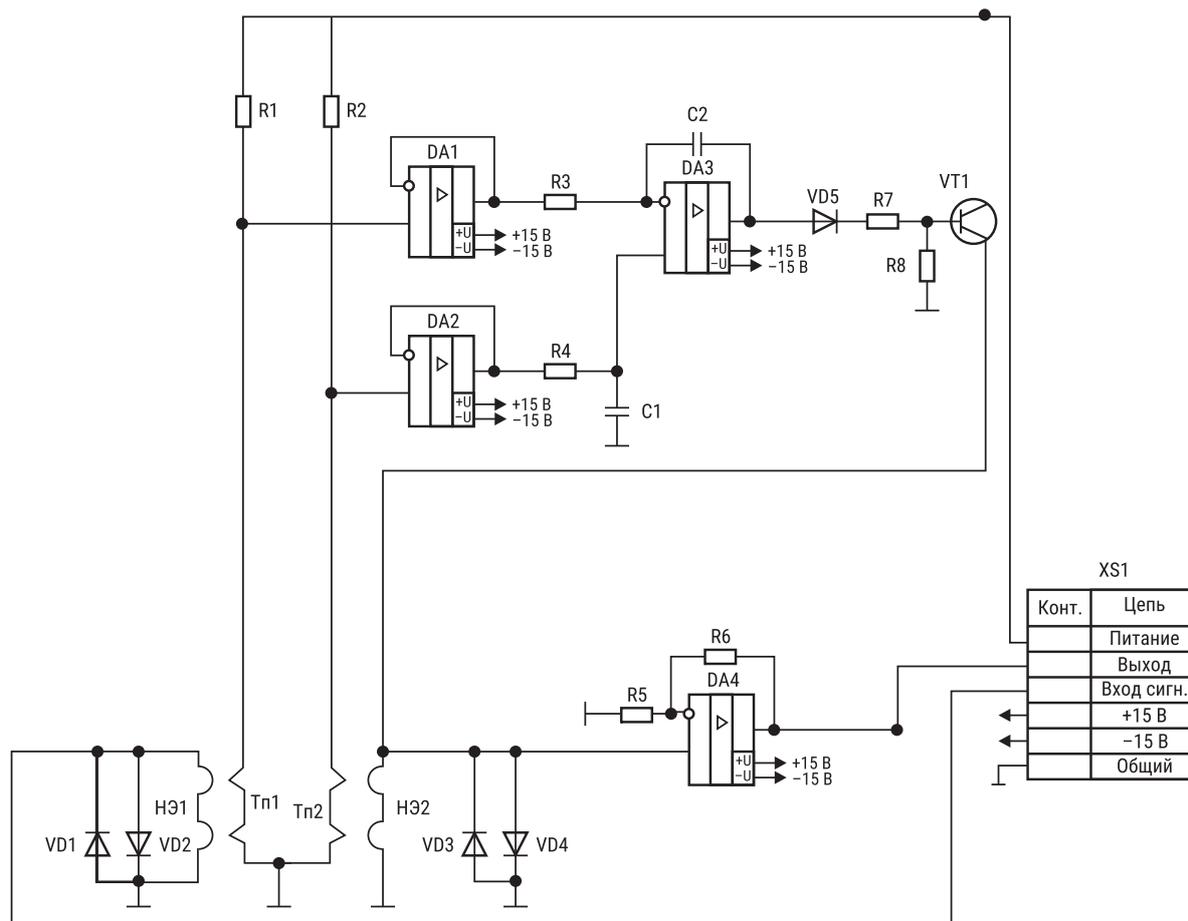


Рис. 4. Электрическая схема измерителя эффективного значения

до тех пор, пока не уравняется с током $T_{п1}$. С помощью ОУ DA2 осуществляется отрицательная термическая обратная связь.

ОУ DA3 определяет постоянную времени сигнала как произведение $R3$ и $C2$. ОУ DA4 является усилителем тока. Сопротивления $R5$ и $R6$ устанавливают требуемый коэффициент усиления для DA4.

Транзистор VT1 работает как ключ, на который с диода VD5 поступает только положительная часть сигнала. На выходе VT1 будет полезный сигнал в виде тока эмиттера. Так же для устранения перегрева сопротивлений $R1$ и $R2$ на выходе ОУ DA3 расположен VD5.

Сопротивление $R7$ устанавливает требуемый ток базы VT1. А стягивающий резистор $R8$ обеспечивает стабильную работу VT1.

Проведенные исследования позволили определить частоты резонанса преобразователя. На пьезоэлектрический преобразователь с генератора высоких частот подавались колебания с постоянным напряжением $U_{вх} = 4$ В. Изменяя частоту генератора F от 0 до 100 кГц, по показаниям осциллографа выявлялось падение напряжения на преобразователе $U_{пр}$ и фиксировались соответствующие частоты. Полученные при испытаниях данные сведены в таблицу.

На основании результатов эксперимента, представленных в таблице, построена резонансная характеристика преобразователя в виде графика (рис. 5), которая является амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) пьезоэлектрического преобразователя. Из графика видно, что кривая имеет пропорциональный вид относительно резонансной частоты. На частотах близких к нулю $U_{пр}$ так же равна нулю. Далее при увеличении частоты к ее резонансному значению 63 кГц напряжение на преобразователе $U_{пр}$ набирает свой максимум, равный 4 В. При крайней частоте чуть более 120 Гц $U_{пр}$ падает к нулю.

Таблица

Результаты экспериментального определения резонансной частоты пьезоэлектрического преобразователя

№ п/п	$U_{вх}, В$	$F, кГц$	$U_{пр}, В$
1	4	0,2	0,001
2	4	2	3,1
3	4	20	3,7
4	4	63	4
5	4	100	3,5

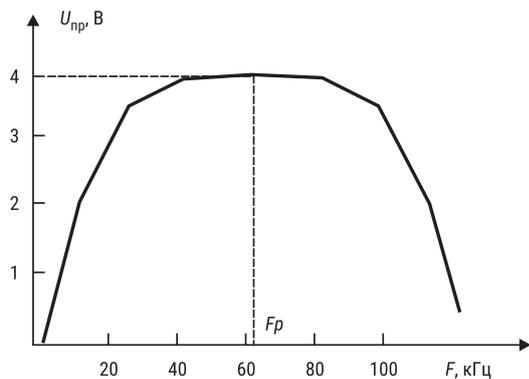


Рис. 5. АЧХ пьезоэлектрического преобразователя

После настройки излучателя и приемника на полученную резонансную частоту с использованием специального буферного образца рельса были проведены практические испытания дефектоскопа. Рельс имел заведомо известные внутренние дефекты. Применялась схема для выявления дефекта в рельсе с помощью теневого метода. Испытания позволили осуществить настройку чувствительности УЗ дефектоскопа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно построенному графику АЧХ определена главная резонансная частота пьезоэлектрического преобразователя равная 63 кГц. С использованием данной частоты осуществлялась работа излучателя при выявлении дефектов в рельсах.

В качестве датчика ультразвукового сигнала была рассмотрена пьезоэлектрическая пластинка ЦТС-5. При исследовании преобразователя на основании геометрии пластинки и табличных данных пьезокерамического материала ЦТС-5 рассчитаны следующие параметры: электрическая емкость — 0,92 нФ, комплексное сопротивление — 2,7 МОм, первая резонансная частота преобразователя — 63 кГц, ширина резонансной полосы — 63,32 Гц.

Использование микровольтметра ВЗ-40 и пьезорезонатора на основе пьезокерамики ЦТС-5 дало возможность изготовить прибор, способный определять дефекты в рельсах. Основными достоинствами представленного ультразвукового дефектоскопа являются его малые габариты и небольшая стоимость по сравнению с аналогами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баянов Е.В., Курлаев Н.В., Поляков Ю.О. Определение скорости звука в стержне с помощью ультразвукового дефектоскопа // Тенденции развития науки и образования. 2017. № 33–1. С. 15–17. DOI: 10.18411/lj-25-12-2017-04
2. Алешин Н.П., Бобров В.Т., Ланге Ю.В., Щербинский В.Г. Ультразвуковой контроль: учебное пособие / под общ. ред. В.В. Ключева. М.: Спектр, 2011. 223 с.
3. Мосягин В.В., Марков А.А. Ультразвуковой томограф в новом двухниточном дефектоскопе // Путь и путевое хозяйство. 2016. № 8. С. 33–35.
4. Гребенников Д.В., Гребенников В.В., Титов В.Ю. Исследование акустического тракта ультразвукового дефектоскопа на фазированных решетках диаграммы направленности пьезопреобразователей ультразвукового дефектоскопа типа OMNISCAN // Контроль. Диагностика. 2017. № 2. С. 34–40. DOI: 10.14489/td.2017.02.pp.034-041
5. Клементьева Е.А., Голубев А.С. Испытания ультразвукового дефектоскопа с фазированными решетками при контроле сварных соединений // Контроль. Диагностика. 2008. № 11. С. 36–43.
6. Титов В.Ю. Исследование параметров ультразвукового дефектоскопа на фазированных решетках. Режимы фокусировки для ультразвукового дефектоскопа типа OMNISCAN // Контроль. Диагностика. 2021. Т. 24. № 8 (278). С. 24–35. DOI: 10.14489/td.2021.08.pp.024-035
7. Шилов М.Н., Мосягин В.В., Козьяков А.Б. О развитии съемных ультразвуковых дефектоскопов // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 8. С. 14–17.
8. Казаков В.В. Ультразвуковой дефектоскоп на нелинейном эффекте для обнаружения трещин // Дефектоскопия. 2008. № 12. С. 37–41.
9. Курмангалиева К.А., Тайманова Г.К. Экспериментальная разработка методики испытания и диагностики для ультразвукового магнитного дефектоскопа // Проблемы современной науки и образования. 2016. № 36 (78). С. 16–17.
10. Бирюков Д.Ю., Зацепин А.Ф. Современные компьютерные дефектоскопы для ультразвуковых исследований и неразрушающего контроля: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2016. 120 с.
11. Зыков Д.А. Разработка программного обеспечения ультразвукового дефектоскопа // Наука настоящего и будущего. 2017. Т. 1. С. 51–54.
12. Коновалова В.С., Коновалов Р.С., Коновалов С.И. О сокращении длительности зондирующего импульса на выходе иммерсионного пьезопреобразователя ультразвукового дефектоскопа // Вопросы радиоэлектроники. 2020. № 1. С. 42–50. DOI: 10.21778/2218-5453-2020-1-42-50
13. Килеев А.С. Анализ ультразвуковых дефектоскопов // Молодежная наука в развитии регионов. 2021. Т. 1. С. 175–176.
14. Щербинский В.Г. Буферные образцы для настройки чувствительности ультразвуковых автоматизированных дефектоскопов // Дефектоскопия. 2006. № 5. С. 45–50.
15. Бобков Д.Е. Расчет приемного блока ультразвукового дефектоскопа // Интеграция сектора исследований и разработок в глобальную инновационную систему: сборник материалов Международной научно-практической конференции. 2020. С. 61–65.

REFERENCES

1. Bayanov E.V., Kurlaev N.V., Polyakov Yu.O. Determination of the speed of sound in a rod using an ultrasonic flaw detector. *Trends in the Development of Science and Education*. 2017;33:1-15-17. DOI: 10.18411/lj-25-12-2017-04 (In Russ.).
2. Aleshin N.P., Bobrov V.T., Lange Yu.V., Shcherbinsky V.G. *Ultrasonic control: textbook. allowance / under the general ed. of V.V. Klyuev*. Moscow, Spektr, 2011;223. (In Russ.).
3. Mosyagin V.V., Markov A.A. Ultrasonic tomograph in a new two-thread flaw detector. *Path and Track Economy*. 2016;8:33-35. (In Russ.).
4. Grebennikov D.V., Grebennikov V.V., Titov V. Ju. Investigation of the acoustic path of the ultrasonic phased array flaw detector. The radiation patterns of piezoelectric transducers of the ultrasonic flaw detector of OMNISCAN type. *Testing. Diagnostics*. 2017;2:34-40. DOI: 10.14489/td.2017.02.pp.034-041 (In Russ.).
5. Klementieva E.A., Golubev A.S. Proving of ultrasound defectoscope with phased arrays during welded joints testing. *Testing. Diagnostics*. 2008;11:36-43. (In Russ.).
6. Titov V.Yu. Investigation of the parameters of an ultrasonic flaw detector on phased arrays. Focus modes for OMNISCAN type ultrasonic flaw detector. *Testing. Diagnostics*. 2021;24(8):(278):24-35. DOI: 10.14489/td.2021.08.pp.024-035 (In Russ.).
7. Shilov M.N., Mosyagin V.V., Kozyakov A.B. On the development of removable ultrasonic flaw detectors. *Path and Track Economy*. 2021;8:14-17. (In Russ.).
8. Kazakov V.V. A nonlinear effect-based ultrasonic flaw detector for detecting cracks. *Defektoskopiya*. 2008;12:37-41. (In Russ.).
9. Kurmangalieva K.A., Taimanova G.K. Experimental development of testing and diagnostic methods for ultrasonic magnetic flaw detector. *Problems of Modern Science and Education*. 2016;36:16-17. (In Russ.).
10. Biryukov D.Yu., Zatsepin A.F. *Modern computer flaw detectors for ultrasound and non-destructive testing: study guide*. Yekaterinburg, Ural University Press, 2016;120. (In Russ.).
11. Zykov D.A. Software development of ultrasonic flaw detector. *Science of the Present and the Future*. 2017;1:51-54. (In Russ.).
12. Konovalova V.S., Konovalov R.S., Konovalov S.I. On reduction of probing pulse duration at output of immersion piezoelectric transducer of ultrasonic flaw detector. *Questions of Radio Electronics*. 2020;1:42-50. DOI: 10.21778/2218-5453-2020-1-42-50 (In Russ.).
13. Kileev A.S. Analysis of ultrasonic flaw detectors. *Youth Science in the Development of Regions*. 2021;1:175-176. (In Russ.).
14. Shcherbinskii V.G. Buffer blocks for tuning the sensitivity of automated ultrasonic flaw detectors. *Defektoskopiya*. 2006;5:45-50. (In Russ.).
15. Bobkov D.E. Calculation of the receiving unit of an ultrasonic flaw detector. *Integration of the research and development sector into the global innovation system: collection of materials of the International Scientific and Practical Conference*. 2020;61-65. (In Russ.).

Об авторах

Антон Дмитриевич Михед — кандидат технических наук, преподаватель общепрофессиональных дисциплин; **Узловский железнодорожный техникум — филиал Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I в г. Узловая (Узловский ж.д. техникум — филиал ПГУПС)**; 301607; г. Узловая, ул. К. Маркса, д. 8; SPIN-код: 8591-3423, РИНЦ ID: 854368 anton11588@yandex.ru;

Ольга Анатольевна Титус — директор; **Узловский железнодорожный техникум — филиал Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I в г. Узловая (Узловский ж.д. техникум — филиал ПГУПС)**; 301607; г. Узловая, ул. К. Маркса, д. 8; uzlovaya@pgups.ru.

Bionotes

Anton D. Mikhed — Cand. Sci. (Tech.), lecturer of general professional disciplines; **Uzlovsky railway technical school — a branch of the Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University in Uzlovaya (Uzlovsky railway technical school — branch of PGUPS)**; 8 K. Marx st., Uzlovaya, 301607, Russian Federation; SPIN-code: 8591-3423, RSCI ID: 854368 anton11588@yandex.ru;

Olga A. Titus — Director; **Uzlovsky railway technical school — a branch of the Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University in Uzlovaya (Uzlovsky railway technical school — branch of PGUPS)**; 8 K. Marx st., Uzlovaya, 301607, Russian Federation; uzlovaya@pgups.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflicts of interests.

Автор, ответственный за переписку: Антон Дмитриевич Михед, anton11588@yandex.ru.

Corresponding author: Anton D. Mikhed, anton11588@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 13.01.2022; одобрена после рецензирования 01.03.2022; принята к публикации 30.05.2022.

The article was submitted 13.01.2022; approved after reviewing 01.03.2022; accepted for publication 30.05.2022.