

УДК: 620.179.1

Компьютерная программа для определения параметров ультразвукового контроля сварных соединений в железнодорожной, а также в нефтегазотранспортной системах

В. Д. Афанасьева, А. А. Воробьев, В. Н. Коншина, С. В. Николаев

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Афанасьева В. Д., Воробьев А. А., Коншина В. Н., Николаев С. В. Компьютерная программа для определения параметров ультразвукового контроля сварных соединений в железнодорожной, а также в нефтегазотранспортной системах // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2026. Т. 23, вып. 2. С. 483–490. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-2-483-490

Аннотация

В данной статье представлены результаты разработки компьютерной программы, позволяющей упростить и ускорить процесс расчета акустических параметров ультразвукового контроля сварных соединений с учетом требований к качеству сварных швов в транспортных системах. **Цель:** разработка компьютерной программы для автоматизации расчета акустических параметров ультразвукового контроля сварных соединений, применяемых в железнодорожной системе для сокращения временных затрат дефектоскописта и исключения ошибок при интерпретации нормативно-технической документации. **Методы:** программа реализована на языке Python с использованием библиотеки FreeSimpleGUI, что обеспечивает ее свободное распространение и независимость от лицензионных ограничений. В основу программного кода положены требования нормативных документов, регламентирующих ультразвуковой контроль сварных швов в транспортных системах. Интерфейс организован в виде шести рабочих вкладок, каждая из которых соответствует отдельному этапу настройки контроля: выбор нормативного документа, параметров ультразвуковой волны, типа сварного соединения, характеристик преобразователя, схем сканирования и настройки чувствительности. **Результаты:** создана компьютерная программа, позволяющая в интерактивном режиме выполнять расчет параметров прозвучиваемости, определять границы зон перемещения преобразователей, рассчитывать шаг сканирования, настраивать чувствительность, а также вычислять коэффициент выявляемости дефекта и его эквивалентную площадь. Предусмотрена проверка корректности расчетов на соответствие условиям дальнейшей зоны. Программа содержит встроенные справочные материалы и графические схемы контроля. **Практическая значимость:** объем программы составляет 20 Мб, что позволяет легко устанавливать ее на рабочие компьютеры без дополнительных требований к аппаратному обеспечению. Интуитивно понятный интерфейс и автоматизация расчетов сокращают время подготовки к контролю, минимизируют вероятность ошибок и повышают достоверность результатов ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений.

Ключевые слова: ультразвуковой контроль, сварные соединения, акустические параметры, неразрушающий контроль

Введение

Применение нормативно-технической документации (НТД) по ультразвуковому контролю (УЗК) сварных соединений в распечатанном или отсканированном виде затрудняет работу

дефектоскописта — увеличивает временные затраты на поиск сведений, соответствующих текущей ситуации контроля. При необходимости выполнения сложных расчетов, например, связанных с чувствительностью контроля

(коэффициента выявляемости дефекта K_d и эквивалентной площади дефекта S_d), существует вероятность возникновения ошибки в полученных результатах. Для облегчения работы дефектоскописта при использовании НТД и повышения точности выполняемых расчетов следует перевести сведения из НТД в формат программного кода, то есть в компьютерную программу.

Перед ее созданием важно полностью ознакомиться с содержанием НТД, на основе которой будет формироваться будущая программа, и выделить только те сведения, которые соответствуют контролю сварных соединений в соответствующей области: железнодорожной, а также в нефте- и газотранспортной системах [1–6].

Описание программы

Компьютерная программа написана на языке программирования Python с подключением библиотеки FreeSimpleGUI, которая является копией существующей библиотеки PySimpleGUI и обеспечивает свободное распространение разработанного программного продукта и независимость от лицензионных ограничений [6].

При запуске компьютерной программы необходимо выбрать нужный нормативный документ, тип сварного соединения (стыковое, угловое, нахлесточное или тавровое), а также указать толщину свариваемых элементов. Кнопка «Примечание» открывает справочное окно, которое может содержать расшифровку сокращений и аббревиатур или являться источником дополнительной информации (рис. 1).

Компьютерная программа содержит шесть рабочих вкладок (рис. 2). Во вкладке «Параметры УЗ-волны» необходимо указать значения скоростей ультразвуковой волны в материале объекта контроля (ОК), а также скорости ультразвуковой волны в материале призмы пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП). По кнопке «Справочник значений скоростей УЗ-волны» открывается дополнительное окно, содержащее справочные значения скоростей ультразвука в различных материалах (преимущественно в сталях).

Во вкладке «Параметры СС. Схема контроля» указываются значения, соответствующие выбранному ранее сварному соединению. По кнопке «Определение размера ОЗ (сведения из НТД)» открывается окно с размером около-

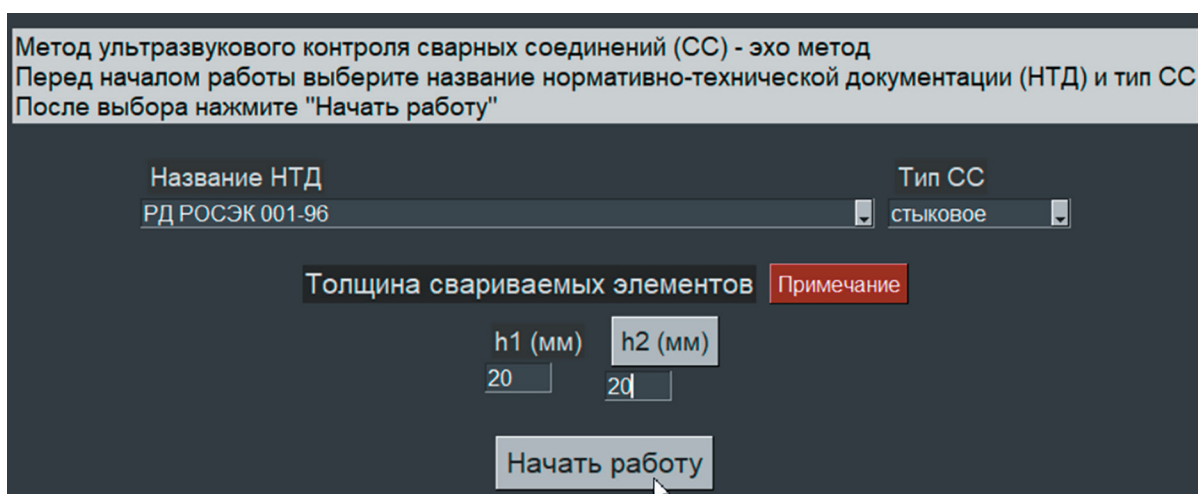


Рис. 1. Стартовое окно компьютерной программы

шовной зоны или сообщением об отсутствии сведений в НТД. При нажатии кнопки «Схема контроля» отображается схема контроля, соответствующая выбранным или введенным ранее параметрам сварного соединения (рис. 3).

Во вкладке «Параметры ПЭП» в верхней части окна при нажатии кнопки «Отобразить» выводится тип ПЭП и луча из выбранного ранее нормативного документа. Ниже осуществляется удобный вывод параметров ПЭП, соответствующий сведениям из верхней части окна. При нажатии кнопки «Выбор параметров наклонных ПЭП для контроля ОЗ»

открывается дополнительное окно со сведениями параметров наклонных ПЭП для контроля околошовной зоны. По кнопке «Условия прозвучиваемости» осуществляется проверка условия прозвучиваемости для стыковых соединений — выводится соответствующее сообщение в дополнительном окне. При нажатии кнопки «Пересчет прямоугольной пьезопластины в круглую» открывается дополнительное окно для ввода параметров длины и ширины прямоугольной пьезопластины и пересчета.

В случае разных значений толщин свариваемых элементов необходимо установить

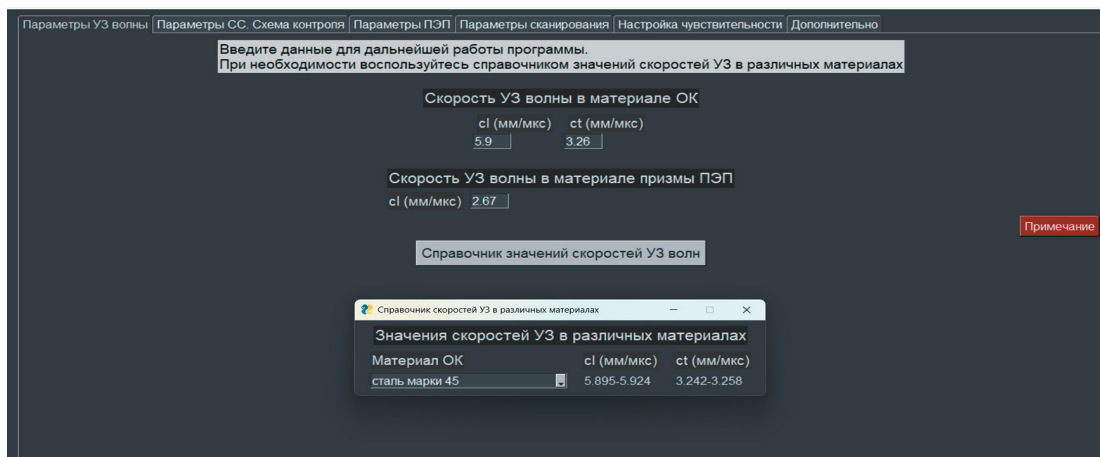


Рис. 2. Главное окно компьютерной программы. Вкладка «Параметры УЗ-волны»

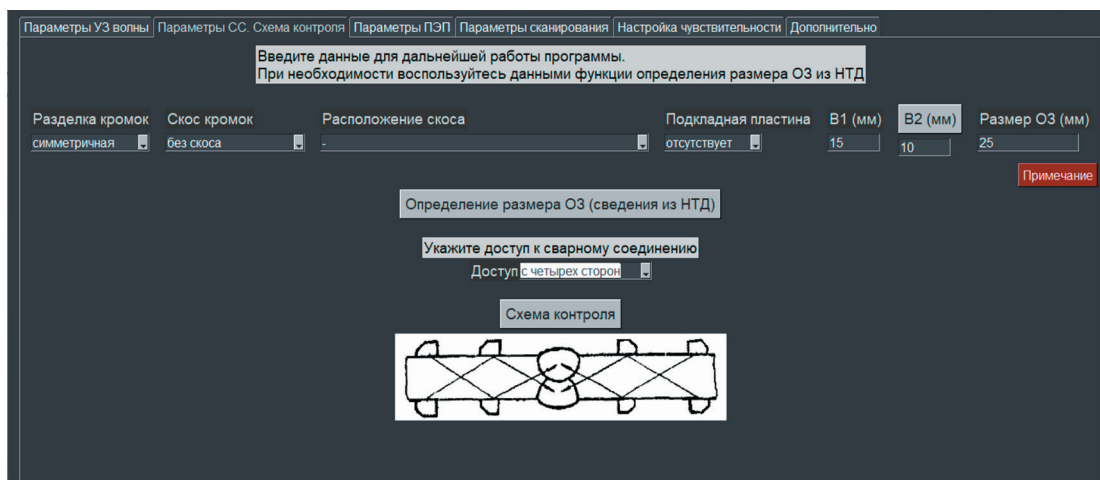


Рис. 3. Главное окно компьютерной программы. Вкладка «Параметры СС. Схема контроля»

переключатель сначала для одного, а затем второго свариваемого элемента. Ввод параметров ПЭП необходим для дальнейшей работы программы (рис. 4).

Во вкладке «Параметры сканирования» осуществляется расчет границ зон перемещения ПЭП, а также вывод сведений о типе сканирования и значения шага сканирования. По кнопке «Схема границ зон перемещения ПЭП» отображается схема границ зон перемещения ПЭП. По двум кнопкам «Поперечно-продольное перемещение ПЭП» открываются дополнительные окна, позволяющие определить шаг сканирования по методикам ГОСТ 14782 [7]. По кнопке «Схема сканирования» отображается схема сканирования (рис. 5).

Во вкладке «Настройка чувствительности» при нажатии кнопки «Отобразить» выводится соответствующая информация: способ настройки, вид чувствительности, тип отражателя и его размеры, дополнительные сведения (поле «Сведения»). При нажатии кнопки ВРЧ открывается дополнительное окно для определения параметров настройки временной регулировки чувствительности (ВРЧ) и отображения схемы настройки ВРЧ. При нажатии

кнопки «Критерии браковки» открывается дополнительное окно с вводом параметров для определения критериев браковки, соответствующих выбранному ранее нормативному документу. При нажатии кнопки «Схема настройки / настроечного образца» отображается схема настройки чувствительности или настроечного образца для настройки чувствительности (рис. 6).

Во вкладке «Дополнительно» возможно произвести расчет коэффициента выявляемости дефекта K_d и эквивалентной площади дефекта S_d . По кнопке «Корректность расчета» выполняется проверка соответствия расчетов условию трех ближних зон ($r > 3r_{бли}$, где r — протяженность ультразвукового пучка, $r_{бли}$ — протяженность ближней зоны). Расчеты справедливы для дальней зоны ПЭП (рис. 7).

При нажатии кнопки «Пересчет углового отражателя (зарубки)» открывается дополнительное окно для ввода параметров углового отражателя и пересчета согласно ГОСТ Р 55724 [8].

В случае пропуска ввода или установки какого-либо параметра при выполнении любой из операций компьютерная программа

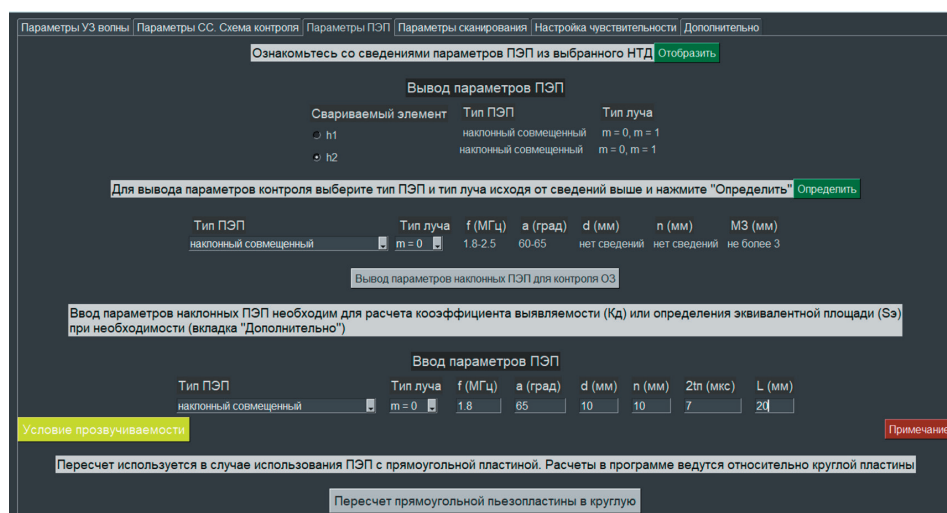


Рис. 4. Главное окно компьютерной программы. Вкладка «Параметры ПЭП»

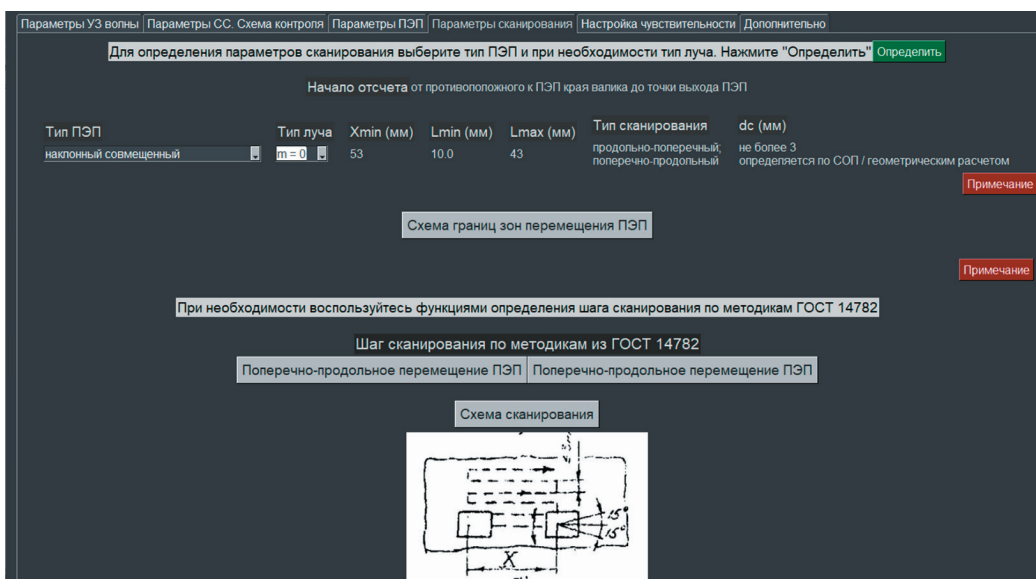


Рис. 5. Главное окно компьютерной программы. Вкладка «Параметры сканирования»

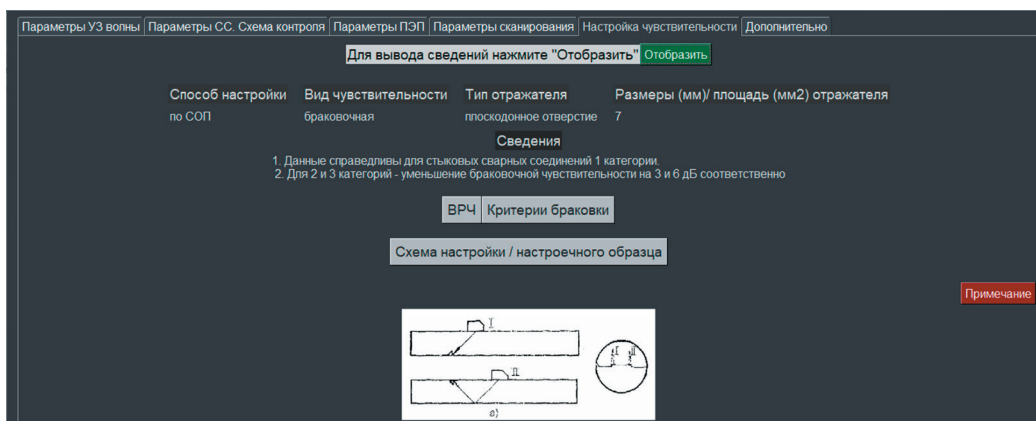


Рис. 6. Главное окно компьютерной программы. Вкладка «Настройка чувствительности»

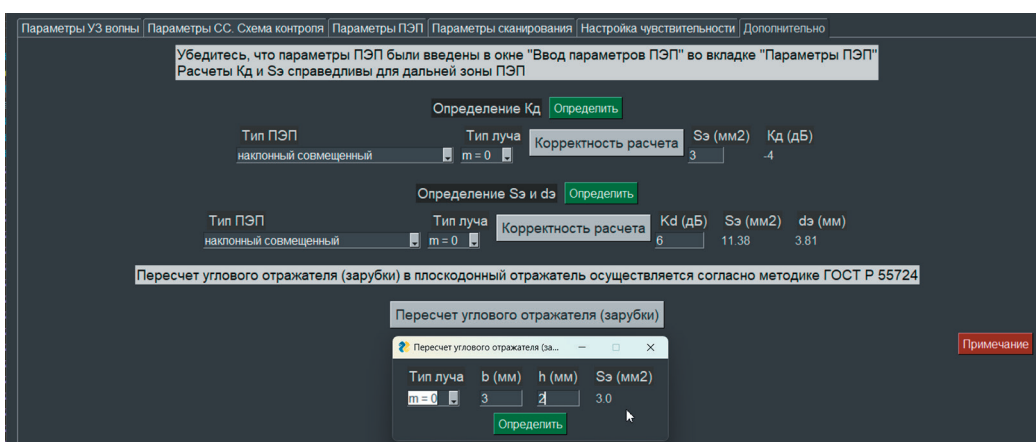


Рис. 7. Главное окно компьютерной программы. Вкладка «Дополнительно»

выводит сообщение об ошибке с указанием рекомендаций по исправлению и возобновлению дальнейшей работы.

Оперативность компьютерной программы обусловлена простотой пользовательского интерфейса. Объем программы составляет всего 20 Мб. Данное преимущество позволяет без затруднений устанавливать программу на компьютеры.

Заключение

Разработанная компьютерная программа позволяет автоматизировать процесс подготовки к ультразвуковому контролю сварных соединений в транспортных системах. За счет интеграции нормативно-технической документации в программный код достигается сокращение временных затрат дефектоскописта и исключаются ошибки при выполнении акустических расчетов. Простой интерфейс, встроенные справочные материалы и графические схемы обеспечивают удобство практического применения. Программа обладает низкими системными требованиями и может быть внедрена в лаборатории неразрушающего контроля, а также использована для обучения специалистов.

Список источников

1. ГОСТ 34991-2023. Соединения сварные в стальных конструкциях подвижного состава. Методы ультразвукового контроля.
2. РД РОСЭК 001-96. Машины грузоподъемные. Конструкции металлические. Контроль ультразвуковой. Основные положения. М.: Машиностроение, 1998.
3. СТО Газпром 15-2.3-005-2023. Сварка и неразрушающий контроль сварных соединений. Ультразвуковой контроль качества сварных соединений. СПб.: ПАО «Газпром», ООО «Научно-исследовательский институт природных газовых технологий — ВНИИГАЗ», 2023.

4. СТО Газпром 15-1.3-004-2023. Сварка и неразрушающий контроль сварных соединений. Неразрушающие методы контроля качества сварных соединений промышленных и магистральных трубопроводов. СПб.: ПАО «Газпром», ООО «Научно-исследовательский институт природных газовых технологий — ВНИИГАЗ», 2023.

5. ОСТ 36-75-83. Контроль неразрушающий. Сварные соединения трубопроводов. Ультразвуковой метод. М.: ВНИИМонтажспецстрой, 1984.

6. РД 19.100.00-КТН-545-06 Ультразвуковой контроль стенки сварных соединений при эксплуатации и ремонте вертикальных стальных резервуаров. М.: ОАО «АК «Транснефть», 2006.

7. Python: что это за язык программирования и где применяется. М.: Skillfactory Media, 2024. URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/python/>

8. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. М.: Стандартинформ, 2005.

9. ГОСТ Р 55724-2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. М.: Стандартинформ, 2019.

Дата поступления: 31.03.2026

Решение о публикации: 21.04.2026

Контактная информация:

АФАНАСЬЕВА Виктория Дмитриевна — магистрант кафедры «Наземные транспортные технологические комплексы»; nttk@pgups.ru
ВОРОБЬЕВ Александр Алфеевич — доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Наземные транспортные технологические комплексы»; nttk@pgups.ru
КОНШИНА Вера Николаевна — кандидат техн. наук, доцент кафедры «Наземные транспортные технологические комплексы»; mpnk@pgups.ru
НИКОЛАЕВ Сергей Викторович — кандидат техн. наук, доцент кафедры «Наземные транспортные технологические комплексы»; mpnk@pgups.ru

A Computer Program for Determining the Parameters of Ultrasonic Testing of Welded Joints in Railway and Oil and Gas Transportation Systems

V. D. Afanas'eva, A. A. Vorob'ev, V. N. Konshina, S. V. Nikolaev

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky ave., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: Afanas'eva V. D., Vorob'ev A. A., Konshina V. N., Nikolaev S. V. A computer program for determining the parameters of ultrasonic testing of welded joints in railway and oil and gas transportation systems // Proceedings of Petersburg State Transport University, 2026. Vol. 23, iss. 2. Pp. 483–490. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-2-483-490 (In Russian)

Abstract

This article presents the results of developing a computer program to simplify and accelerate the process of calculating the acoustic parameters of ultrasonic testing of welded joints, taking into account the quality requirements for welds in transport systems. **Objective:** to develop a computer program to automate the calculation of acoustic parameters of ultrasonic testing of welded joints used in the railway system, with the aim of reducing the time spent by a flaw detector operator and eliminating errors in the interpretation of regulatory and technical documentation. **Methodology:** the program is implemented in Python using the FreeSimpleGUI library, which ensures its free distribution and independence from licensing restrictions. The program code is based on the requirements of regulatory documents governing the ultrasonic testing of welds in transport systems. The interface is organized into six working tabs, each of which corresponds to a separate stage of testing setup: selection of a regulatory document, ultrasonic wave parameters, weld type, transducer characteristics, scanning schemes, and sensitivity settings. **Results:** a computer program has been developed that allows interactive calculation of sound parameters, determination of transducer movement zones, calculation of scanning pitch, sensitivity adjustment, and calculation of the defect detection coefficient and equivalent defect area. A calculation verification function is provided to ensure compliance with far-field conditions. The program contains built-in reference materials and graphical inspection diagrams. **Practical significance:** the program's 20 MB size allows for easy installation on workstations without additional hardware requirements. The intuitive interface and automated calculations reduce inspection preparation time, minimize the likelihood of errors, and increase the reliability of ultrasonic flaw detection results for welded joints.

Keywords: ultrasonic testing, welded joints, acoustic parameters, non-destructive testing

References

1. GOST 34991-2023. Soedineniya svarnye v stal'nykh konstruktsiyakh podvizhnogo sostava. Metody ul'trazvukovogo kontrolya [Welded Joints in Steel Structures of Rolling Stock. Methods of Ultrasonic Control]. (In Russian)
2. RD ROSEK 001-96. Mashiny gruzopod'emnye. Konstruktsii metallicheskie. Kontrol' ul'trazvukovoj. Osnovnye polozheniya [Lifting Machines. Metal Structures. Ultrasonic Control. The Main Provisions], Moscow, Mashinostroenie [Mechanical engineering], 1998. (In Russian)
3. STO Gazprom 15-2.3-005-2023. Svarka i nerazrushayushchij kontrol' svarnykh soedinenij. Ul'trazvukovoj kontrol' kachestva svarnykh soedinenij [Welding and Non-Destructive Testing of Welded Joints. Ultrasonic Quality Control of Welded Joints], Saint Petersburg, Gazprom PJSC, VNIIGAZ [Scientific Research Institute of Natural Gases and Gas Technologies LLC], 2023. (In Russian)

4. STO Gazprom 15-1.3-004-2023. Svarka i nerazrushayushchij kontrol' svarnykh soedinenij. Nerazrushayushchie metody kontrolya kachestva svarnykh soedinenij promyslovykh i magistral'nykh truboprovodov [Welding and Non-Destructive Testing of Welded Joints. Non-Destructive Methods of Quality Control of Welded Joints of Field and Main Pipelines], Saint Petersburg, Gazprom PJSC, VNIIGAZ [Scientific Research Institute of Natural Gases and Gas Technologies LLC], 2023. (In Russian)
5. OST 36-75-83. Kontrol' nerazrushayushchij. Svarnye soedineniya truboprovodov. Ul'trazvukovoj metod [The Control is Non-Destructive. Welded Joints of Pipelines. Ultrasonic Method], Moscow, VNIIMontazhspestroj [All-Union Scientific Research Institute for Installation and Special Construction Works], 1984. (In Russian)
6. RD 19.100.00-KTN-545-06 Ul'trazvukovoj kontrol' stenki svarnykh soedinenij pri ekspluatatsii i remonte vertikal'nykh stal'nykh rezervuarov [Ultrasonic Inspection of the Wall of Welded Joints During Operation and Repair of Vertical Steel Tanks], Moscow, OAO "AK "Transneft" [AC "TRANSNEFT"], 2006. (In Russian)
7. Python: chto eto za yazyk programirovaniya i gde primenyaetsya [Python: What Kind of Programming Language Is It and Where Is It Used?], Skillfactory Media, Moscow, 2024. URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/python/> (In Russian)
8. GOST 14782-86. Kontrol' nerazrushayushchij. Soedineniya svarnye. Metody ul'trazvukovye [The Control Is Non-Destructive. The Joints Are Welded. Ultrasonic Methods], Moscow, Standartinform, 2005. (In Russian)
9. GOST R 55724-2013. Kontrol' nerazrushayushchij. Soedineniya svarnye. Metody ul'trazvukovye [The Control Is Non-Destructive. The Joints Are Welded. Ultrasonic Methods], Moscow, Standartinform, 2019. (In Russian)

Received: March 31, 2026

Accepted: April 21, 2026

Author's information:

Viktoria D. AFANAS'EVA — Master's Student of the Department "Land transport technological complexes"; nttk@pgups.ru

Aleksandr A. VOROB'EV — Dr. Sci. in Engineering, Professor, Head of the Department "Land transport technological complexes"; nttk@pgups.ru

Vera N. KONSHINA — PhD in Engineering, Associate Professor of the Department "Land Transport Technological Complexes"; mpnk@pgups.ru

Sergej V. NIKOLAEV — PhD in Engineering, Associate Professor of the Department "Land Transport Technological Complexes"; mpnk@pgups.ru