

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2019, №6, Том 11 / 2019, No 6, Vol 11 <https://esj.today/issue-6-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/44SAVN619.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Шмидт А.В., Емельянов Р.Т., Турышева Е.С., Грудинин И.А., Кузнецов С.Н. Система оценки качества трубного сварного соединения // Вестник Евразийской науки, 2019 №6, <https://esj.today/PDF/44SAVN619.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Schmidt A.V., Emelyanov R.T., Turysheva E.S., Grudinin I.A., Kuznetsov S.N. (2019). System of quality assessment of tubular welded joints. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 6(11). Available at: <https://esj.today/PDF/44SAVN619.pdf> (in Russian)

**УДК 480.7**

**ГРНТИ 90.27.37**

**Шмидт Андрей Викторович**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Инженерно-строительный институт  
Аспирант  
E-mail: andreishmidt1993@gmail.com

**Емельянов Рюрик Тимофеевич**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Инженерно-строительный институт  
Преподаватель  
Профессор  
E-mail: ert-44@Yandex.ru

**Турышева Евгения Сергеевна**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Инженерно-строительный институт  
Преподаватель  
Доцент  
E-mail: E.Turisheva@mail.ru

**Грудинин Иван Александрович**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Инженерно-строительный институт  
Аспирант  
E-mail: Gia199401@gmail.com

**Кузнецов Сергей Николаевич**

Инженер  
E-mail: macgasa@yandex.ru

## **Система оценки качества трубного сварного соединения**

**Аннотация.** Приведены результаты исследований трубчатого сварного соединения ультразвуком; основой ультразвукового дефектоскопа является комплекс электронной аппаратуры, которая посылает высокочастотный импульс тока в пьезокристаллы. Последние, в свою очередь, преобразуют электрический импульс в механические колебания высокой частоты – ультразвук. Колебания, проходя сквозь деталь, могут отразиться от ее противоположной стенки. Если в отливке есть дефекты и на их попадает луч ультразвука, то он

меняет свое направление на дефекте выполнено поперечно-продольное сканирование сварного соединения и определена пригодность стрелы пьезо-электрического прибора (ПЭП) по толщине изделия. При падении ультразвуковые волны на провисание возникают как волны, отраженные в точке, удовлетворяющей условию нормального падения луча на поверхность провисания, так и волны, расходящиеся от изломов поверхности. Контроль сварных соединений определяет наличие трещин или раковин, которые могут присутствовать, а также наличие воздуха или шлака. У двух материалов плотность разная, а значит, и разная отражательная способность. Сложно определить дефекты в деталях со сложной конфигурацией. Отправленные волны могут отразиться на другом участке шва, а не на исследуемом, за счет кривизны. Проведена оценка качества сварного соединения определялась по количеству изъянов, амплитуде акустической волны, ее протяженности (условная), размерам дефекта и его форме контроля дефектов сварного соединения. Приведены зависимости длины ультразвуковой волны, коэффициента излучения излучаемой волны к амплитуде электрического сигнала, коэффициент приема излучаемой волны, коэффициента двойного преобразования электрического сигнала.

#### **Вклад авторов.**

Шмидт Андрей Викторович – автор внес существенный вклад в написание статьи. Сбор, анализ и интерпретация материала.

Емельянов Рюрик Тимофеевич – автор внес существенный вклад в написание статьи. Сбор, анализ и интерпретация материала.

Турьшева Евгения Сергеевна – автор оказывал участие в написании статьи; одобрил окончательную версию статьи перед её подачей для публикации.

Грудинин Иван Александрович – автор осуществил редакцию и написание статьи.

Кузнецов Сергей Николаевич – автор оказывал участие в написании статьи; одобрил окончательную версию статьи перед её подачей для публикации.

**Ключевые слова:** ультразвук; дефекты; сварное соединение; ультразвуковая волна; сканирование

#### **Введение**

Ультразвук, в последние несколько лет, начал набирать все большую востребованность в промышленности и научных исследованиях. Возникает все больше новых областей применения ультразвука: интроскопия, голография, квантовая акустика, ультразвуковая фазометрия, акустоэлектроника [1–3]. Что касается ультразвуковых измерений, то наряду с теоретическими и экспериментальными исследованиями, выполнено достаточное количество практических работ [4–6]. В настоящее время разработано множество универсальных и специальных ультразвуковых станков, установок, работающих под повышенным статическим давлением. Ультразвуковой дефектоскоп состоит из комплекса электронной аппаратуры, которая посылает высокочастотный импульс тока в пьезокристаллы. Последние, в свою очередь, преобразуют электрический импульс в механические колебания высокой частоты – ультразвук. Колебания, проходя сквозь деталь, могут отразиться от ее противоположной стенки. Если в отливке есть дефекты и на их попадает луч ультразвука, то он меняет свое направление на дефекте.

При ультразвуковом контроле сварочных швов трубных соединений возникают ложные сигналы. При контроле прямым лучом ложные эхо-сигналы совпадают по времени с эхо-сигналами, отраженными от надкорневых дефектов. Так как эффективный диаметр

ультразвукового луча соизмерим с толщиной стенки сварочного шва эхо луч трудно идентифицировать. Это вызывает погрешности определения трещин и появление повышенных остаточных напряжений [7–8].

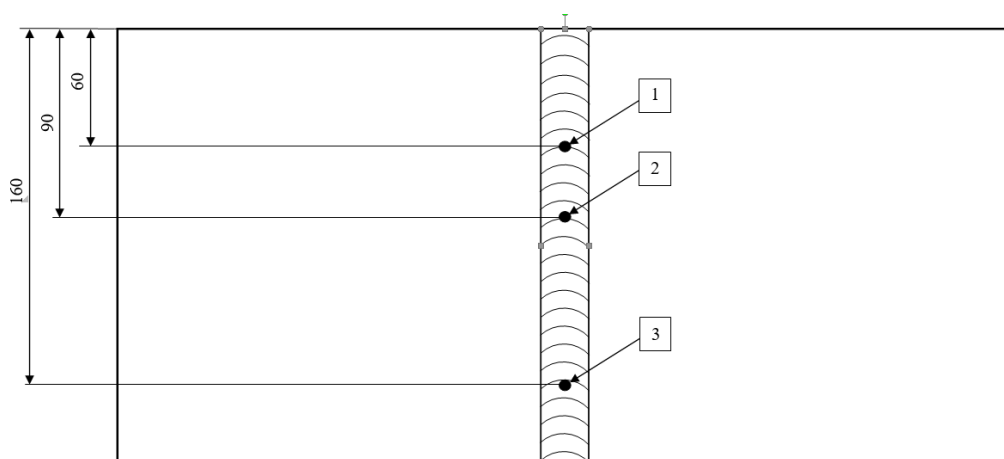
Основными преимуществами применения ультразвука в сварных соединениях перед другими неразрушающими методами, в том числе радиационными, заключаются в мобильности, безвредности для окружающей среды и людей, достаточно высокая чувствительность к внутренним и поверхностным дефектам. Для того, чтобы выявить внутренние дефектов (трещин, непроваров, пор, шлаковых и неметаллических включений и др.), а также для установления размеров дефектов и глубины проплавления шва, выполняют ультразвуковой контроль сварных соединений.

При контроле сварных соединений трубопроводов или других конструкций, невозможно получить точную картину касательно формы найденного дефекта. В трещинах или раковинах сварного шва могут присутствовать воздух (газ) или шлак. У разных материалов разная и плотность, а значит, и разная отражательная способность. В деталях со сложной конфигурацией, как правило, возникают трудности с определением дефектов. За счет кривизны, отраженные волны могут отразиться на другом участке шва, а не на исследуемом [9–10]. При крупнозернистой структуре материала будет происходить рассеивания направленного потока и затухание отраженных волн. Все выше перечисленное, определило необходимость разработки системы оценки качества трубного сварного соединения.

**Цель** – оценка качества трубного сварного соединения ультразвуком.

**Методы и материалы.** Объектом исследований выбрано трубное стыковое сварное соединение, которое приведено на рис. 1.

Соединение труб осуществляется ручной дуговой сваркой под флюсом. При расплавлении металла в месте соединения происходит защита сварочного шва флюсом от окружающего воздуха. В результате покрытия расплавленного металла защитным слоем флюса улучшается кристаллизация металла. Контроль качества соединения выполнен ультразвуковым методом.



**Рисунок 1.** Трубное стыковое сварное соединение  
(разработано Шмидтом А.В. и Емельяновым Р.Т.): 1; 2; 3 – места дефектов

Оценка качества трубного сварного соединения ультразвуком основана на ультразвуковых колебаниях, которые имеют частоту колебания выше 20 кГц. Проникая внутрь металла, волны попадают между его частицами, которые находятся в равновесии, то есть, колеблются в одной фазе. Расстояние между ними равно длине ультразвуковой волны (рис. 2).

Этот показатель зависит от скорости прохождения через металлический шов и частоты самих колебаний.

Зависимость длины ультразвуковой волны определяется по формуле:

$$L = c/f,$$

где  $L$  – длина волны;  $c$  – скорость перемещения волны;  $f$  – частота колебаний.

Чувствительность пьезоэлектрического прибора характеризуется коэффициентом преобразования. Для преобразователей, работающих на прием и излучение, можно определить коэффициенты излучения и приема.

Коэффициент излучения равен отношению амплитуды излучаемой волны к амплитуде электрического сигнала (зондирующего импульса):

$$K_u = \frac{\Delta X_{\max}}{U_{\max}}$$

Коэффициент приема равен отношению амплитуды регистрируемого электрического импульса (эхо-, донного) к амплитуде принимаемой акустической волны:

$$K_n = \frac{U_{\max}}{\Delta X_{\max}}$$

На практике наибольшее распространение получил коэффициент двойного преобразования, равный отношению амплитуды электрического сигнала на приемнике (эхо-, донного импульса) к амплитуде электрического сигнала, подаваемого на источник (зондирующего импульса):

$$K_{\text{дв}} = \frac{U_n}{U_u}$$

Для определения координат дефекта, дефектоскоп использует измерение времени между моментом генерации зондирующего импульса и моментом прихода эхо-импульса (ТЭХО), как следствие отражения от дефекта. Расстояние до дефекта по лучу ( $R$ ) вычисляется как отрезок линии, совпадающей с акустической осью и соединяющий центр отражателя с точкой выхода луча, поэтому время, затраченное волной при преодолении призмы пьезо-электрического прибора в прямом и обратном направлении, так называемое – время задержки в призме (2ТПЭП) необходимо исключить.

Расстояние до дефекта по лучу можно рассчитать по формуле:

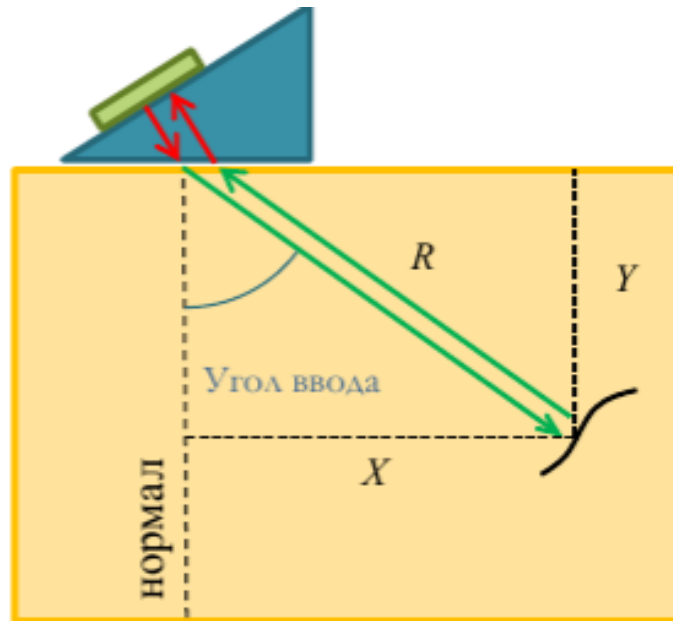
$$R = \frac{C(T_{\text{эхо}} - 2T_{\text{ПЭП}})}{2}$$

где  $C$  – скорость волны в материале, М/с.

Координаты угла ввода волны (рис. 2)

$$Y = R \cos(\alpha) = \frac{C(T_{\text{эхо}} - 2T_{\text{ПЭП}})}{2} \cos(\alpha)$$

$$X = R \sin(\alpha) = \frac{C(T_{\text{эхо}} - 2T_{\text{ПЭП}})}{2} \sin(\alpha)$$



**Рисунок 2.** Определение координат дефекта  
(разработано Шмидтом А.В. и Емельяновым Р.Т.)

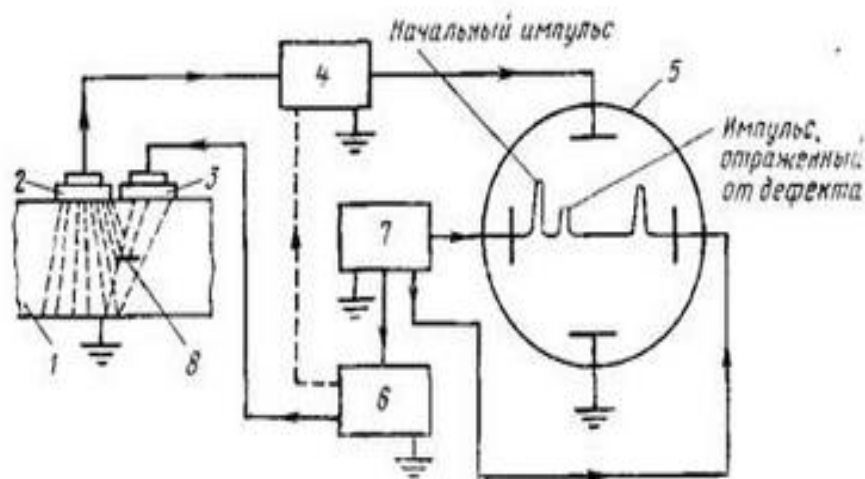
На рис. 3 приведена схема дефектования материала.



**Рисунок 3.** Схема дефектования материала (<https://proinstrumentinfo.ru/>)

Условия испытаний. Прибор УД2В-П45.Lite. Материал: Ст20. Параметры измерений: угол ввода  $\alpha = 70^\circ$ , частота  $f = 5$  МГц., глубина ввода  $S_{\text{э}} = 1,2$  мм [1]. Браковочный уровень = 90 %. Находим максимальный эхо-импульс однократно отраженным лучом от зарубки и функцией «УСИЛЕНИЕ» регулируем максимум до браковочного уровня. Задний фронт строга устанавливаем функцией «ШИРИНА» чуть дальше эхо-импульса, полученного от зарубки однократно отраженным лучом. Функцией «РАЗВЕРТКА» настраиваем развертку так, чтобы задний фронт строга немного не доходил до края экрана. Размеры отражателя СОП-ОК-5,0/плоск-70-5,0 №593 1,5×1,1 мм Ст20,  $S_{\text{э}} = 1,2$  мм. При поперечно-продольном сканировании шаг продольного перемещения не превышает половины ширины пьезопластины пьезоэлектрического прибора, скорость сканирования не выше 50 мм/сек.

Схема работы дефектоскопа приведена на рис. 4.



1 – Сварной шов трубногo соединения; 2 – Щуп дефектоскопа; 3 – Пьезоэлектрический излучатель; 4 – Усилитель сигнала; 5 – Электронно лучевая трубка; 6 – Импульсный генератор; 7 – Генератор развертки; 8 – Место дефекта

**Рисунок 4.** Схема работы дефектоскопа (<https://mirznanii.com/>)

Зона сканирования рассчитывается по формуле:

$$2Htg\alpha + \frac{B}{2} + A;$$

где: Н – толщина контролируемой стенки,  $\alpha$ - угол ввода пьезоэлектрического прибора; В – величина половины ширины валика усиления; А – ширина около шовной зоны, подлежащей контролю.

Зона сканирования = 36 мм;

Проверка пригодности стрелы пьезоэлектрического прибора по толщине изделия:

$$Htg\alpha - \frac{B}{2} > n = 5 \cdot 2,7 - \frac{8}{2} = 9,5;$$

9,5 > 9 => соответствует.

Оценка качества сварного соединения определялась по:

- количеству изъянов;
- амплитуде акустической волны;
- ее протяженности (условная);
- размерам дефекта и его форме.

В таблице 1 приведены исходные данные испытаний, в таблице 2 – параметры контроля.

**Таблица 1**

**Исходные данные испытаний**

№ п/п	Маркировка пьезоэлектрического прибора	Угол ввода, град.	Частота, МГц	Стрела, мм
1.	П121	70	5	9
2.	-	-	-	-

Разработано Шмидтом А.В. и Емельяновым Р.Т.



Таблица 2

**Параметры контроля**

№ п/п	Тип пьезоэлектрического прибора	Прямым лучом, дБ		Отражённым лучом, дБ	
		Б	П	Б	П
1.	Наклонный совмещенный	80	92	82	94
2.	-	-	-	-	-

*Разработано Шмидтом А.В. и Емельяновым Р.Т.*

Результаты контроля дефектов сварного соединения приведены в таблице 3

Таблица 3

**Результаты контроля дефектов сварного соединения**

Номер дефекта	Глубина расположения дефекта	Амплитуда эхо-сигнала от дефекта, дБ	Условная протяжённость дефекта, мм	Расстояние до начала дефекта, мм
1	3	Д(+4)	Г	60
2	4,8	Д(+5)	Г	90
3	3,2	Д(+2)	Г	160

*Разработано Шмидтом А.В. и Емельяновым Р.Т.*

**Выводы и заключение**

Проведенный эксперимент при поперечно-продольном сканировании показал пригодность стрелы пьезоэлектрического прибора по толщине изделия. Авторами определены глубина расположения дефекта, амплитуда эхо-сигнала от дефекта, условная протяжённость дефекта, расстояние до начала дефекта. Условная протяжённость дефекта не превышает допустимого значения  $\Delta L \leq \Delta L_0$ . Выявленные несплошности не являются протяженными и не превышают норм, установленных научно-технической документацией, согласованной с Госгортехнадзором России. Проведенное исследование качества сварного соединения показало результат, согласующийся с требованиями РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1с).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бородин А.С., Статистический анализ результатов готовой продукции (хим. состав, удлинение, прочность, твердость) и повышение коэффициента пригодности ррк одной единицы и менее, до 1,33 и выше / Бородин А.С., Емельянов Р.Т., Шмидт А.В. Евразийское Научное Объединение. 2019. № 7–1 (53). С. 32–36.
2. Шишкин И.Ф. Основы метрологии, стандартизации и контроля качества. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 320 с.
3. Прокопьев А.П., Проектирование ПИД-регуляторов для систем управления высокого порядка / Прокопьев А.П., Набижанов Ж.И., Иванчура В.И., Емельянов Р.Т. Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2019. Т. 1. С. 3–6.
4. Й. Крауткремер, Ультразвуковой контроль материалов / Й. Крауткремер, Г. Крауткремер. Справочник. Пер. с нем. М: Металлургия, 1991 – 752 с.
5. Ермолов И.Н., Акустический контроль. И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов / В сб. "Неразрушающий контроль". В 5 кн. Кн.2. Под ред. В.В. Сухорукова. – М.: "Высшая школа", 1991, – 288 с.
6. ISO 9712 «Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля» / В сборнике: «Измерения. Контроль. Качество». 276. Неразрушающий контроль. – М.: РШК Издательство стандартов, 2002. – С. 543–555.
7. Бегалиев У.Т., Применение легких стальных тонкостенных холодноформованных конструкций в строительстве Бегалиев У.Т., Абдыкалыков Д. Наука и инновационные технологии. 2018. № 8 (8). С. 150–153.
8. Самокрутов А.А., Сканирование в ультразвуковой томографии. Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.В. – В мире НК. 2010. № 3(49). С. 7–10.
9. Гурвич А.К. Неразрушающий контроль в мостостроении. – В мире НК. 2003. № 4 (22). С. 4–7.
10. Prokopen, A. Modeling Cyber-Physical System Object in State Space (on the Example of Paver) / Prokopen, A., Nabizhanov, Z., Ivanchura, V., Emelyanov, R. / Studies in Systems, Decision and Control 259, 2020. с. 313–323.



**Schmidt Andrey Viktorovich**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: andreishmidt1993@gmail.com

**Emelyanov Rurik Timofeevich**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: ert-44@Yandex.ru

**Turysheva Evgenia Sergeevna**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: E.Turysheva@mail.ru

**Grudinin Ivan Alexandrovich**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: Gia199401@gmail.com

**Kuznetsov Sergey Nikolaevich**

Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: macgasa@yandex.ru

## System of quality assessment of tubular welded joints

**Abstract.** The results of studies of tubular welded joints by ultrasound are presented; the basis of the ultrasonic flaw detector is a complex of electronic equipment that sends a high-frequency current pulse to the piezocrystals. The latter, in turn, convert the electrical impulse into mechanical vibrations of high frequency-ultrasound. Vibrations passing through the part can be reflected from its opposite wall. If there are defects in the casting and an ultrasound beam falls on them, then it changes its direction to the defect. a transverse-longitudinal scan of the welded joint is performed and the suitability of the piezo-electric device (PEP) boom for the thickness of the product is determined. When the ultrasonic waves fall on the SAG, both waves reflected at a point satisfying the condition of the normal incidence of the beam on the SAG surface and waves diverging from the surface fractures occur. Inspection of welded joints determines the presence of cracks or shells that may be present as well as the presence of air or slag. The two materials have different densities, which means different reflectivity. It is difficult to identify defects in parts with complex configurations. The sent waves can be reflected on other site of a seam, instead of on investigated, at the expense of curvature. The assessment of the quality of the welded joint was determined by the number of defects, the amplitude of the acoustic wave, its length (conditional), the size of the defect and its form of inspection of defects of the welded joint. The dependences of the ultrasonic wave length, the radiation coefficient of the emitted wave to the amplitude of the electric signal, the reception coefficient of the emitted wave, the coefficient of double conversion of the electric signal are given.

**Keywords:** ultrasound; defects; welded joint; ultrasonic wave; scanning