



# Контроль. Диагностика

Научно-технический журнал

2026. Том 29. №5  
(май)

# Auto WeldScan

Точность в контроле  
трубопроводов

**КРОПУС**  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР

Сочетание передовых методов ФР + TOFD

для комплексной инспекции  
всего объема сварного шва



8 (495) 229 42 96

8 (800) 500 62 98

sales@kropus.com

www.kropus.com



Официальный дилер в России и странах СНГ ведущих мировых производителей рентгеновского оборудования неразрушающего контроля:

### comet

x-ray

COMET AG,  
Фламатт, Швейцария

СТАЦИОНАРНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ  
АППАРАТЫ СЕРИИ iXRS  
И РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ



### comet

yxlon

COMET YXLON GmbH  
Гамбург, Германия

СИСТЕМЫ РЕНТГЕНОВСКОГО  
КОНТРОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО  
ПРИМЕНЕНИЯ



### comet

x-ray

COMET Technologies  
Denmark A/S, Копенгаген, Дания

ПЕРЕНОСНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ  
АППАРАТЫ SMART EVO



МИКРОФОКУСНЫЕ АППАРАТЫ  
ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКОГО КОНТРОЛЯ  
С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ, ВКЛЮЧАЯ  
АППАРАТЫ С ВЫНОСНЫМ АНОДОМ



#### Мы будем рады Вашему появлению в достойной компании наших заказчиков:

- ОАО "Машиностроительный завод" (Электросталь), ОАО "Новосибирский завод химконцентратов", ОАО "Уральский электрохимический комбинат", ОАО "Московский завод полиметаллов", Балаковская АЭС;
- Ижорские Заводы и Металлический Завод (Санкт-Петербург), ОАО ТКЗ "Красный котельщик" (Таганрог), филиалы группы "Энергомаш" в Чехове и Белгороде, ОАО "Курганмашзавод", ОАО "Салаватнефтемаш", ЗАО "Петрозаводскмаш", ОАО "ЗиО-Подольск", ОАО "Тамбовский завод "Комсомолец" им. Н.С. Артемова", "Усть-Каменогорский арматурный завод";
- ОАО "Выксунский металлургический завод", Ижорский и Харцызский трубные заводы;
- РКК "ЭНЕРГИЯ" (Королев), ОАО "НПО Энергомаш" (Химки), ФГУП "Красмаш", КБ Приборостроения (Тула), ФГУП ГНПП "СПЛАВ" (Тула), ГНПРКЦ "ЦСКБ-Прогресс" (Самара), ОАО "ГРЦ им. В.П. Макеева" (Миасс), КБ "Арматура" (Ковров), Иркутское авиационное ПО, Комсомольское-на-Амуре авиационное ПО, ММПП "САЛЮТ" (Москва), Казанское моторостроительное ПО, ФГУП "Воронежский механический завод", ОАО "УРАЛРЕДМЕТ";
- Моострансгаз, Лентрансгаз, Волготрансгаз, Кавказтрансгаз, Таттрансгаз, Волгоградтрансгаз, Севертрансгаз, Баштрансгаз, ЗАО "ЛУКОЙЛНЕФТЕГАЗСТРОЙ", ОАО "Краснодарнефтегазстрой", ООО "Каспийгазпром", ОАО "Южтрубопроводстрой" (Ростов-на-Дону);
- Судостроительный Завод в Выборге, ФГУП "МП "Звездочка" (Северодвинск);
- ООО "Континентал Калуга", ОАО "Белшина" (Бобруйск), АМТЕЛ (Киров и Воронеж), ОАО "Нижнекамскшина", ОАО "Ярославский шинный завод";
- ЗАО "ГРАНИТ-ВТ" (Санкт-Петербург), ОАО "УКБП" (Ульяновск), ЗАО "ЭЛЕКТРОСЕРВИС", РСВ Professional (Санкт-Петербург), ФГУП «ПНИЭИ» (Пенза), ОАО "ЭЛЕКТРОВЫПРЯМИТЕЛЬ" (Саранск), МИРЭА, ФГУП "НПО "МАРС" (Ульяновск), ФГУП "Калугаприбор", а также многие другие предприятия в России и странах СНГ.



# Оборудование для магнитопорошкового контроля

**СДЕЛАНО В РОССИИ !**

**СТЕНД ДЛЯ  
МАГНИТОПОРШКОВОГО  
КОНТРОЛЯ  
СМК-112**



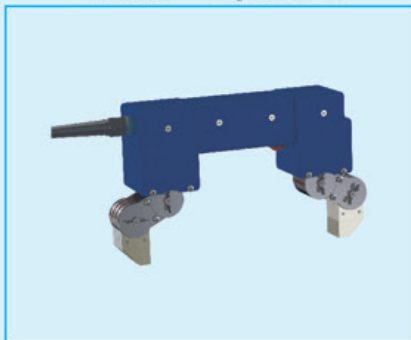
**ИНДУКТОРЫ**



**УНИ - 2000/4000  
модификации ПШСЭ**



**ЭЛЕКТРОМАГНИТ  
МЭД - 40/200 А**



**УНИ - 2000/4000**



**ООО "НПК "ЛУЧ", Россия, 143930, Московская область,  
г. Балашиха, мкр. Салтыковка, ш.Ильича, д.1, тел.: 8(498) 520-77-99  
Эл.почта: [luch@luch.ru](mailto:luch@luch.ru), [5207799@mail.ru](mailto:5207799@mail.ru); сайт: [www.luch.ru](http://www.luch.ru)**

# Контроль. Диагностика

Научно-технический журнал

2026. Том 29, № 5 (335)

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Ушанов С. В., Барат В. А., Качарский В. Д., Елизаров С. В., Лукашев И. А., Александров А. С.</b> Использование нейросетевых алгоритмов обработки данных в системе АЭ-мониторинга шагающего экскаватора	4
<b>Науменко А. П., Кудрявцева И. С.</b> О восстановлении дискретизированных акустических сигналов	14
<b>Попов А. В., Волошина В. Ю., Лебединский М. С., Кривошеин Д. С.</b> Разработка автоматизированных систем диагностирования конструкций сложных технических объектов на основе инвариантов	33
<b>Сафьяник А. А., Харебов К. В., Живоносная Д. М., Мишунин В. С., Сулов А. В.</b> Особенности проведения акустико-эмиссионного контроля при сопровождении пневматических испытаний протяженных контуров высокого давления	39
<b>Растегаев И. А., Акимов Е. Г., Шафеев М. Р., Растегаева И. И., Полуни А. В., Мерсон Д. Л., Криштал М. М.</b> Влияние режима плазменно-электролитического оксидирования на характеристики акустической эмиссии в анодном и катодном полупериодах	49
<b>Бао Ф., Башков О. В.</b> Акустическая эмиссия: новый подход к анализу механизмов разряда при микродуговом оксидировании	60
<b>Шелобков В. И., Мусатов В. В., Сазонов А. А., Иванов В. И.</b> Определение параметров пьезопреобразователей с использованием их собственных тепловых шумов	68
<b>Мисейко А. Н., Харебов К. В., Мишунин В. С., Живоносная Д. М., Перов К. А., Богатов М. В., Ковалев С. А.</b> Исследование возможностей метода акустической эмиссии для диагностирования гибких полимерных армированных труб несвязной конструкции	75
<b>Лепшеев Е. А., Барат В. А., Елизаров С. В.</b> Исследование особенностей распространения сигналов акустической эмиссии методом слоистых элементов	85

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

В. В. Ключев, д-р техн. наук, проф., акад. РАН

**ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:**

В. Г. Шевалдыкин, д-р техн. наук, проф.

П. Е. Клейзер

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

Б. В. Артемьев, д-р техн. наук, проф.

Х. Г. Асадов, д-р техн. наук, проф.

А. Е. Базулин, д-р техн. наук

В. А. Барат, д-р техн. наук, доцент

С. А. Бехер, д-р техн. наук, доцент

В. Т. Бобров, д-р техн. наук, проф.

О. Н. Будадин, д-р техн. наук

А. А. Буклей, д-р техн. наук

В. П. Вавилов, д-р техн. наук, проф.

Д. И. Галкин, канд. техн. наук

В. А. Голенков, д-р техн. наук, проф.

А. Г. Ефимов, д-р техн. наук

Г. В. Зусман, д-р техн. наук

В. И. Иванов, д-р техн. наук, проф.

А. В. Ковалев, д-р техн. наук, проф.

Е. Е. Ковшов, д-р техн. наук, проф.

В. В. Коннов, д-р техн. наук, проф.

Н. Н. Коновалов, д-р техн. наук

Н. Р. Кузелев, д-р техн. наук, проф.

А. Р. Маслов, д-р техн. наук, проф.

В. И. Матвеев, канд. техн. наук

С. А. Микаева, д-р техн. наук, доцент

А. С. Мусихин, канд. техн. наук

А. П. Науменко, д-р техн. наук, проф.

Г. А. Нухдин, канд. техн. наук

К. В. Подмастерьев, д-р техн. наук, проф.

А. В. Полуни, д-р техн. наук

А. В. Пруцов, д-р техн. наук, проф.

С. Г. Сандомирский, д-р техн. наук

Д. А. Слесарев, д-р техн. наук, доцент

Ю. С. Степанов, д-р техн. наук, проф.

Л. Н. Степанова, д-р техн. наук, проф.

В. В. Сухоруков, д-р техн. наук, проф.

В. А. Сясько, д-р техн. наук, доцент

В. М. Ушаков, д-р техн. наук, доцент

М. Ю. Федотов, д-р техн. наук

**РЕДАКЦИЯ:**

П. Е. Клейзер, Д. А. Елисеев, С. В. Сидоренко

**УЧРЕДИТЕЛИ:**

Российское общество по неразрушающему контролю и

технической диагностике (РОНКТД);

ООО «Издательский дом «Спектр»

**ИЗДАТЕЛЬ**

ООО «Издательский дом «Спектр»

119048, Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1

Тел.: (495) 514 76 50, 8 (916) 676 12 38

Http://www.idspektr.ru. E-mail: info@idspektr.ru

**ПОДПИСКА**

В любом почтовом отделении.

Индексы по каталогам агентств:

«Пресса России» – 29075;

«Почта России» электронный каталог – П3652

Подписка через издательство:

тел. (495) 514 26 34; e-mail: zakaz@idspektr.ru

**АДРЕС РЕДАКЦИИ:**

119048, Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1

Тел.: (495) 514 76 50, 8 (916) 676 12 38

Http://www.td-j.ru;

E-mail: td@idspektr.ru, tdjpost@gmail.com

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия Российской Федерации. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-46328

Верстка: Евсейчев А. И., Смольянина Н. И.

Корректор Евсейчев А. И. Сдано в набор 10.03.2026 г.

Подписано в печать 20.04.2026 г. Формат 60x88 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 11,52. Уч. изд. л. 11,0. Свободная цена.

Отпечатано в типографии «ЛАЙДЕР ПРИНТ»

142104, Россия, Московская область, г. Подольск,

ул. Свердлова, д. 26

# Kontrol'. Diagnostika

(Testing. Diagnostics)

2026, Vol. 29, No 5 (335)

## CONTENTS

<b>Ushanov S. V., Barat V. A., Kacharsky V. D., Elizarov S. V., Lukashev I. A., Aleksandrov A. S.</b> Using Convolutional Neural Networks to Detect Acoustic Emission Signals in a Noise Background	4
<b>Naumenko A. P., Kudryavtseva I. S.</b> About Recovery of Sampled Acoustic Signals	14
<b>Popov A. V., Voloshina V. Yu., Lebedinsky M. S., Krivoshein D. S.</b> Development of Automated Systems for Diagnostic Assessment of Complex Technical Structures Based on Invariants	33
<b>Safyanik A. A., Kharebov K. V., Zhivonosovskaya D. M., Mishunin V. S., Suslov A. V.</b> Features of Acoustic Emission Control During Pneumatic Testing of Long High-Pressure Circuits	39
<b>Rastegaev I. A., Akimov E. G., Shafeev M. R., Rastegaeva I. I., Polunin A. V., Merson D. L., Krishtal M. M.</b> The Relationship Between the Characteristics of Acoustic Emission in the Anodic and Cathodic Half-Periods and the Treatment Mode under Plasma-Electrolytic Oxidation	49
<b>Bao F., Bashkov O. V.</b> Acoustic Emission: a New Approach to the Analysis of Discharge Mechanisms in Microarc Oxidation	60
<b>Shelobkov V. I., Musatov V. V., Sazonov A. A., Ivanov V. I.</b> Determining the Parameters of Piezotransducers Using their Own Thermal Noise	68
<b>Miseiko A. N., Medvedev K. A., Mishunin V. S., Zhivosnovskaya D. M., Perov K. A., Bogatov M. V., Kovalev S. A.</b> Investigation of the Possibilities of the Acoustic Emission Method for the Diagnosis of Flexible Polymer Reinforced Pipes of Incoherent Construction	75
<b>Lepsheev E. A., Barat V. A., Elizarov S. V.</b> Investigation of Acoustic Emission Signals Propagation Features by the Layerwise Method	85



KONSTANTA

# БУЛАТ 7

Универсальный  
автокалибруемый  
ультразвуковой  
толщиномер



видео  
о наших  
приборах  
на Яндекс Дзен

ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

constanta.ru

УДК 620.179.17  
DOI: 10.14489/td.2026.05.pp.004-013

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ АЭ-МОНИТОРИНГА ШАГАЮЩЕГО ЭКСКАВАТОРА



**С. В. Ушанов,**  
ООО «Интерюнис-ИТ»,  
Москва, Россия.  
E-mail: ushanovsv@  
interunis-it.ru



**В. А. Барат,**  
д-р техн. наук,  
ООО «Интерюнис-ИТ»,  
ФГБОУ ВО «Национальный  
исследовательский  
университет «МЭИ», Моск-  
ва, Россия.  
E-mail: vera.barat@mail.ru



**В. Д. Качарский,**  
ООО «Интерюнис-ИТ»,  
ФГБОУ ВО «Национальный  
исследовательский  
университет «МЭИ»,  
Москва, Россия.  
E-mail: kacharskyvd@  
mpei.ru



**С. В. Елизаров,**  
ООО «Интерюнис-ИТ»,  
Москва, Россия.  
E-mail: serg@interunis-it.ru



**И. А. Лукашев,**  
ООО «Интерюнис-ИТ»,  
ФГБОУ ВО «Национальный  
исследовательский  
университет «МЭИ»,  
Москва, Россия.  
E-mail: LukashevIA@mpei.ru



**А. С. Александров,**  
ООО «Интерюнис-ИТ»,  
ФГБОУ ВО «Национальный  
исследовательский  
университет «МЭИ»,  
Москва, Россия.  
E-mail: AlexandrovASer@  
mpei.ru

Рассматривается алгоритм автоматического обнаружения сигналов акустической эмиссии (АЭ) на фоне интенсивных помех, ориентированный на применение в системах мониторинга динамически нагруженных объектов. В качестве объекта контроля рассматривается шагающий экскаватор ЭШ-24.95, несущие металлоконструкции которого оборудованы системой АЭ. При работе шагающего экскаватора наблюдается высокий уровень акустических помех, создаваемых движением тягового и подъемного канатов и вибрацией слабо закрепленных элементов конструкции. Особенность алгоритма выявления импульсов АЭ на фоне непрерывно действующих помех заключается в том, что обработка данных происходит поэтапно, на начальных этапах применяются методы с небольшой вычислительной сложностью, фильтрация по локации и параметрическая фильтрация с высокой скоростью обработки данных, на финальном этапе используется сверточная нейронная сеть, позволяющая обнаруживать импульсы АЭ на основании анализа времязастотного распределения энергии сигнала.

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия, сверточные нейронные сети, система акустико-эмиссионного мониторинга, шагающий экскаватор.

S. V. Ushanov<sup>1</sup>, V. A. Barat<sup>1,2</sup>, V. D. Kacharsky<sup>1,2</sup>, S. V. Elizarov<sup>1</sup>,  
I. A. Lukashov<sup>1,2</sup>, A. S. Aleksandrov<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>“Interunis-IT” LLC, Moscow, Russia  
<sup>2</sup>National Research University “Moscow Power Engineering Institute”,  
Moscow, Russia

## USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS TO DETECT ACOUSTIC EMISSION SIGNALS IN A NOISE BACKGROUND

Algorithm for automatic detection of acoustic emission (AE) signals against a background of intensive noise, designed for use in monitoring systems for dynamically loaded objects, is being investigated. The monitored object is a walking dragline excavator ESh-24.95, supporting metal structures of which are equipped with an AE system. During operation of the walking dragline excavator high level of acoustic noise is being observed, generated by the movement of the traction and hoisting ropes and the vibration of loosely fixed structural elements. A distinctive feature of the algorithm for detection of AE impulses against a background of continuous noise is that data processing is realised in stages. In the initial stage methods with low computational complexity, such as location-based filtering and parametric filtering with high data processing speed, are used. In the final stage a convolutional neural network is used for AE impulses detection based on an analysis of the time-frequency distribution of signal energy.

**Keywords:** acoustic emission, convolutional neural networks, structure health monitoring system, dragline.



Статья поступила в редакцию 02.12.2025  
Статья принята к публикации 18.02.2026

Received 02.12.2025  
Accepted for publication 18.02.2026

УДК 681.518.5  
DOI: 10.14489/td.2026.05.pp.014-032

## О ВОССТАНОВЛЕНИИ ДИСКРЕТИЗИРОВАННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ



**А. П. Науменко,**  
д-р техн. наук, проф.,  
ФГАОУ ВО «Омский  
государственный  
технический университет»,  
Омск, Россия.  
E-mail: arnaumenko@omgtu.ru



**И. С. Кудрявцева,**  
канд. техн. наук,  
ФГАОУ ВО «Омский  
государственный  
технический университет»,  
ООО «ВС инжиниринг»,  
Омск, Россия.  
E-mail: s\_iren@mail.ru

Проведены имитационные исследования по выявлению закономерностей взаимосвязи частоты дискретизации гармонического и полигармонического процессов и их числовых и функциональных характеристик. Для сравнения сигналов были выбраны коэффициент корреляции Пирсона, коэффициенты гармонических и нелинейных искажений, погрешность восстановления спектральных составляющих в спектре сигнала. Путем сопоставления характеристик эталонного и исследуемого сигналов установлено, что для обеспечения погрешности восстановления спектральных составляющих во всем частотном диапазоне менее 1 % частоту дискретизации необходимо выбирать не менее чем в 30 раз выше максимальной частоты в спектре сигнала. Полученные данные актуальны при цифровом и аналого-цифровом преобразованиях и цифровой обработке акустических, виброакустических, акустико-эмиссионных сигналов, а также некоторых других, например кардиограмм.

**Ключевые слова:** дискретизация, теорема Котельникова, теорема отсчетов, акустический, акустико-эмиссионный, виброакустический, погрешность восстановления, квадрат коэффициента корреляции Пирсона.

A. P. Naumenko<sup>1</sup>, I. S. Kudryavtseva<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Omsk State Technical University, Omsk, Russia

<sup>2</sup>VS Engineering LLC, Omsk, Russia

### ABOUT RECOVERY OF SAMPLED ACOUSTIC SIGNALS

Simulation studies have been conducted to identify patterns in the relationship between the sampling rates of harmonic and polyharmonic processes and their numerical and functional characteristics. To compare the signals, the Pearson correlation coefficient, harmonic and nonlinear distortion coefficients, and the error in restoring spectral components in the signal spectrum were selected. By comparing the characteristics of the reference and studied signals, it was found that in order to ensure an error in restoring spectral components in the entire frequency range of less than 1 %, the sampling frequency must be selected at least 30 times higher than the maximum frequency in the signal spectrum. The obtained data are relevant for analog-to-digital conversion and digital processing of acoustic, vibroacoustic, acoustic emission signals, as well as some other signals, such as cardiograms.

**Keywords:** discretization, Kotelnikov theorem, sampling theorem, acoustic, acoustic-emission, vibroacoustic, reconstruction error, square of Pearson correlation coefficient.

Статья поступила в редакцию 27.11.2025  
Статья принята к публикации 20.01.2026

Received 27.11.2025  
Accepted for publication 20.01.2026

#### Введение

В некоторых случаях необходимо восстановление формы сигнала, который был дискретизирован и представлен в цифровом виде. Прежде всего это касается акустических сигналов, к которым следует отнести *виброакустические (ВА), акустико-эмиссионные (АЭ)*, аудиосигналы, полученные с помощью микрофонов или акустических датчиков.

Важно, что во всех этих сигналах, например в аудиосигналах, форма случайного процесса несет

информацию о передаваемом сообщении [1, 2]. Восстановление формы кардиограммы имеет ключевое значение, и неважно получен ли сигнал с помощью акустических датчиков или иными способами [3]. В технической диагностике, например, форма огибающей виброакустического сигнала с датчика вибрации, установленного на клапане поршневого компрессора, является принципиальным и определяющим фактором достоверности диагностирования [4 – 7]. В акустической эмиссии



УДК 620.179.17  
DOI: 10.14489/td.2026.05.pp.033-038

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИНВАРИАНТОВ



**А. В. Попов,**  
д-р техн. наук, проф.,  
Федеральное  
государственное казенное  
военное образовательное  
учреждение высшего  
профессионального  
образования «Военный  
учебно-научный центр  
Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная  
академия им. проф.  
Н. Е. Жуковского и  
Ю. А. Гагарина»,  
Воронеж, Россия.  
E-mail: avpnil@rambler.ru



**В. Ю. Волошина,**  
канд. экон. наук,  
Федеральное  
государственное казенное  
военное образовательное  
учреждение высшего  
профессионального  
образования «Военный  
учебно-научный центр  
Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная  
академия им. проф.  
Н. Е. Жуковского и  
Ю. А. Гагарина»,  
Воронеж, Россия.  
E-mail: vvalevich@mail.ru



**М. С. Лебединский,**  
Федеральное  
государственное казенное  
военное образовательное  
учреждение высшего  
профессионального  
образования «Военный  
учебно-научный центр  
Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная  
академия им. проф.  
Н. Е. Жуковского и  
Ю. А. Гагарина»,  
Воронеж, Россия.  
E-mail: mlebedinski@  
yandex.ru



**Д. С. Кривошеин,**  
Государственный ордена  
Ленина Краснознаменный  
центр подготовки  
авиационного персонала и  
войсковых испытаний  
Министерства обороны  
Российской Федерации  
им. В. П. Чкалова.  
Липецк, Россия.  
E-mail: antivirus.93@inbox.ru

Рассмотрен способ определения дефектов композитных конструкций на основе инвариантов акустической эмиссии, где в качестве критерия образования макротрещин используется факт отклонения параметров распределений числа импульсов акустической эмиссии от пуассоновского вида. Приведены результаты экспериментальных исследований образцов из органического стекла, используемого при изготовлении остекления герметичных кабин воздушных судов.

**Ключевые слова:** воздушное судно, остекление кабин, органическое стекло, макротрещина, разрушение.

A. V. Popov<sup>1</sup>, V. Yu. Voloshina<sup>1</sup>, M. S. Lebedinskiy<sup>1</sup>, D. S. Krivoshein<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Military Educational and Scientific Center of the Air Force  
N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia  
<sup>2</sup>State Center for Aviation Personnel Training and Military Testing, Lipetsk, Russia

### DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEMS FOR DIAGNOSTIC ASSESSMENT OF COMPLEX TECHNICAL STRUCTURES BASED ON INVARIANTS

The article discusses a method for identifying defects in composite structures based on acoustic emission invariants, using the deviation of acoustic emission pulse number distribution parameters from a Poisson shape as a criterion for macrocrack formation. The results of experimental studies of samples making from organic glass used in the manufacture of pressurized aircraft cabin glazing are presented.

**Keywords:** aircraft, cabin glazing, organic glass, macrocrack, fracture.

УДК 534.08:620.179.17  
DOI: 10.14489/td.2026.05.pp.039-048

# ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ СОПРОВОЖДЕНИИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПРОТЯЖЕННЫХ КОНТУРОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ



**А. А. Сафьяник,**  
ООО «Научно-технический  
центр «ЭгидА»,  
Самара, Россия.  
E-mail: aegis-rus@  
aegis-rus.com



**К. В. Харебов,**  
ООО «Научно-технический  
центр «ЭгидА»,  
Самара, Россия.  
E-mail: aegis-rus@  
aegis-rus.com



**Д. М. Живоносовская,**  
ООО «Научно-технический  
центр «ЭгидА»,  
Самара, Россия.  
E-mail: aegis-rus@  
aegis-rus.com



**В. С. Мишунин,**  
ООО «Научно-технический  
центр «ЭгидА»,  
Самара, Россия.  
E-mail: aegis-rus@  
aegis-rus.com



**А. В. Суслов,**  
канд. техн. наук,  
Самарский  
государственный  
технический университет,  
Самара, Россия.  
E-mail: a.v.suslov@inbox.ru



Описаны четыре эпизода проведения акустико-эмиссионного контроля при сопровождении пневматических испытаний на крупных технологических установках, уникальность которых заключается в объеме одновременно контролируемых объектов и большом количестве используемых измерительных каналов. Рассмотрены современная нормативная база, основные преимущества и недостатки метода, а также обозначены проблемы, связанные с контролем протяженных контуров. Приведены характерные особенности установок и программа испытаний контуров. Проведен анализ полученных данных и отмечены слабые стороны каждого контура, заключающиеся в специфических типах обнаруженных дефектов. Установлена корреляция между информативными параметрами акустико-эмиссионного импульса и обнаруженными в процессе верификации утечками. Оценены перспективы масштабирования акустико-эмиссионного метода контроля технического состояния и предложены пути его дальнейшего развития.

**Ключевые слова:** акустико-эмиссионный метод контроля технического состояния, пневматические испытания, контур высокого давления, параметры импульса акустической эмиссии, нефтегазовая отрасль.

A. A. Safyanik<sup>1</sup>, K. V. Kharebov<sup>1</sup>, D. M. Zhivonosovskaya<sup>1</sup>,  
V. S. Mishunin<sup>1</sup>, A. V. Suslov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Scientific and Technical Center “Aegis”, Samara, Russia

<sup>2</sup>Samara State Technical University, Samara, Russia

## FEATURES OF ACOUSTIC EMISSION CONTROL DURING PNEUMATIC TESTING OF LONG HIGH-PRESSURE CIRCUITS

The article describes four episodes of acoustic emission control accompanied by pneumatic tests at large technological installations, the uniqueness of which lies in the volume of simultaneously monitored objects and a large number of measuring channels used. The modern regulatory framework, the main advantages and disadvantages of the method are considered, as well as the problems associated with the control of extended contours. The characteristic features of the installations and the contour test program are given. The analysis of the data obtained was carried out and the weaknesses of each contour, consisting in specific types of defects detected, were noted. A correlation has been established between the informative parameters of the acoustic emission pulse and the leaks detected during the verification process. The prospects of scaling the acoustic emission method of technical condition control are assessed and ways of its further development are proposed.

**Keywords:** acoustic emission control method of technical condition, pneumatic tests, high pressure circuit, acoustic emission pulse parameters, oil and gas industry.

Статья поступила в редакцию 07.11.2025  
Статья принята к публикации 18.01.2026

Received 07.11.2025  
Accepted for publication 18.01.2026

УДК 621.794.61:001.891.7:53.082.4:620.1-1/9  
DOI: 10.14489/td.2026.05.pp.049-059

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ОКСИДИРОВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В АНОДНОМ И КАТОДНОМ ПОЛУПЕРИОДАХ



**И. А. Растегаев,**  
д-р техн. наук,  
Тольяттинский  
государственный  
университет,  
Тольятти, Россия.  
E-mail: RastlgAev@  
yandex.ru



**Е. Г. Акимов,**  
Тольяттинский  
государственный  
университет,  
Тольятти, Россия.  
E-mail: z.akimov@mail.ru



**М. Р. Шафеев,**  
Тольяттинский  
государственный  
университет,  
Тольятти, Россия.  
E-mail: shafeyevmr@  
yandex.ru



**И. И. Растегаева,**  
Тольяттинский  
государственный  
университет,  
Тольятти, Россия.  
E-mail: Ciyinna@yandex.ru



**А. В. Полунин,**  
канд. техн. наук,  
Тольяттинский  
государственный  
университет,  
Тольятти, Россия.  
E-mail: anpol86@gmail.com



**Д. Л. Мерсон,**  
д-р физ.-мат. наук, проф.,  
Тольяттинский  
государственный  
университет,  
Тольятти, Россия.  
E-mail: d.merson@tlttsu.ru



**М. М. Криштал,**  
д-р физ.-мат. наук, проф.,  
Тольяттинский  
государственный  
университет,  
Тольятти, Россия.  
E-mail: krishtal@tlttsu.ru

Методом сравнения исследуются визуальные и акустические признаки технологических стадий плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО), пригодные для их идентификации в режиме реального времени (in situ), а также возможность их распознавания с применением оптического и акустико-эмиссионного (АЭ) методов. Исследования проведены на экспериментальных данных, полученных при оксидировании деформируемого Al-Mg-сплава в щелочно-силикатно-фосфатном электролите при 125 вариантах (режимах) ПЭО, которые практически полностью перекрывают все типовые технологические режимы обработки алюминиевых сплавов по плотности тока, соотношению катодного и анодного токов в полупериодах и длительности воздействия. Установлено, что по визуальным признакам, а значит и оптическими методами (основными, используемыми в литературных источниках сегодня), стадии ПЭО устанавливаются с меньшей точностью по сравнению с АЭ-признаками. Показано, что причины снижения чувствительности оптического метода не влияют на эффективность метода АЭ. Подтверждено, что предложенный новый в методе АЭ подход параллельного анализа формы и положения сигналов АЭ в анодном и катодном полупериодах воздействия позволяет более обоснованно и точно устанавливать стадийность и временные метки стадий ПЭО по сравнению с интегральными амплитудными акустическими признаками, используемыми сегодня в методе АЭ. С помощью нового подхода параллельного анализа АЭ в анодном и катодном полупериодах установлено, что к существенному сокращению длительности стадий ПЭО, особенно стадии анодирования и переходной стадии, приводит увеличение плотности тока и его соотношения в анодном и катодном полупериодах формовочного импульса.

**Ключевые слова:** плазменно-электролитическое оксидирование, алюминиевый сплав, акустическая эмиссия, микродуговые разряды, мониторинг.

I. A. Rastegaev, E. G. Akimov, M. R. Shafeyev, I. I. Rastegaeva,  
A. V. Polunin, D. L. Merson, M. M. Krishtal  
(Togliatti State University, Togliatti, Russia)

### THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CHARACTERISTICS OF ACOUSTIC EMISSION IN THE ANODIC AND CATHODIC HALF-PERIODS AND THE TREATMENT MODE UNDER PLASMA-ELECTROLYTIC OXIDATION

This paper is devoted to study of visual and acoustic signs of plasma electrolytic oxidation (PEO) process stages suitable for their in situ identification, as well as the feasibility of their detecting using optical and acoustic emission (AE) methods. The study was performed using experimental data obtained under PEO of a deformable Al-Mg alloy in an alkaline-silicate-phosphate electrolyte under 125 treatment modes, which corresponds to all typical treatment modes of aluminum alloy in terms of current density, cathodic and anodic current ratios in half-periods, and treatment time. It was found that visual signs, and therefore optical methods (the main ones used in present time),



identify PEO stages with less accuracy than AE signs. It is shown that the reasons that reduced sensitivity of the optical method do not affect the effectiveness of the AE method. It has been found that the proposed new approach to the AE method, using parallel analysis of the shape and position of AE signals in the anodic and cathodic half-periods of forming pulse, allows for a more substantiated and accurate identification of the stages and time stamps of PEO stages compared to the AE integrated amplitude currently used in the AE method. Using this new approach for simultaneous analysis of AE in the anodic and cathodic half-periods, it has been demonstrated, that a significant reduction in the duration of the anodization and the transition stages is achieved by increasing the current density and its ratio in the anodic and cathodic half-periods of the forming pulse.

**Keywords:** plasma-electrolytic oxidation, aluminum alloy, acoustic emission, microarc discharges, in situ monitoring.

Статья поступила в редакцию 12.11.2025  
Статья принята к публикации 16.01.2026

Received 12.11.2025  
Accepted for publication 16.01.2026

## Введение

Технология плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО) сплавов вентильных металлов (Al, Mg и др.) находит все большее применение в различных отраслях промышленности. Положительный эффект ПЭО-технологии заключается в возможности формирования на поверхностях металлических изделий сложной формы многофункционального керамического покрытия (оксидного слоя), позволяющего повысить износостойкость и коррозионную стойкость изделий, обеспечить управляемую теплопередачу, контролируруемую биоэрозацию (саморастворение), создать зонную электрическую изоляцию и др. [1]. В свою очередь свойства ПЭО покрытий (адгезионная прочность, твердость, износостойкость и др.) определяются: структурой (толщиной, пористостью, остаточными микронапряжениями и др.), фазовым составом (качественным и количественным), морфологией самого слоя и его дефектностью [2]. При этом обозначенные свойства и их однородность по толщине (подслоям) оксидного слоя определяются параметрами процесса ПЭО и зависят от многих факторов, в частности: плотности тока; частоты и вида формовочных импульсов; наличия катодной составляющей тока и ее мощностного соотношения с анодной составляющей; состава и качества электролита и др. Поэтому, наряду с технологическим совершенствованием режимов ПЭО, одним из важнейших вопросов его развития является надежный контроль процесса ПЭО на всех его этапах, который в идеале должен осуществляться в реальном времени (*in situ*) с применением современных высокоскоростных и высокоразрешающих систем мониторинга [3].

Поскольку процесс формирования ПЭО-покрытий диссипативный, то многие его подпроцессы сопровождаются акустическим излучением (или АЭ) в звуковом и ультразвуковом диапазонах. Как следствие, в настоящее время уже предложено и

апробировано несколько методик мониторинга процесса ПЭО по АЭ. При этом звуковой диапазон используется редко по сравнению с ультразвуковым, так как обладает существенно более низкой помехозащищенностью [4], поэтому в настоящей работе рассматривается АЭ только в ультразвуковом диапазоне. В работах по исследованию АЭ при ПЭО удалось установить некоторую корреляцию параметров процесса оксидирования с интегральными характеристиками акустического излучения. В работах [5, 6] обсуждается связь акустического излучения с режимами ПЭО в категориях «увеличения» и «снижения» его уровня, но без уточнения параметров оценки сигналов АЭ. В статье [7] с помощью порогового метода АЭ была установлена корреляция сигналов АЭ с этапом развития формовочных разрядов (пассивацией и начальным анодным искрением, микродуговыми и дугowymi разрядами), а в работе [8] – корреляция трендов накопления счета АЭ и кинетики роста оксидных слоев на сплаве Д16. В статье [9] установлено, что с ростом толщины оксидного слоя наблюдается смещение акустического сигнала в более низкочастотную и высокоамплитудную область, что, по мнению авторов, свидетельствует о локализации и повышении мощности единичного микродугового разряда.

В работе [10] продемонстрировано, что слежение за амплитудой АЭ позволяет повысить качество оксидных слоев и их воспроизводимость на сплаве Д16АТ. В статье [11] на фоне отслеживания трендов изменения энергии АЭ сделана попытка разделения акустических сигналов на импульсный и непрерывный (резонансный) виды с последующим описанием их параметрами: амплитудой, энергией, временем нарастания и частотой при пике. В работах [12, 13] представлены предварительные результаты записи сигналов АЭ, полученных при ПЭО Al–Mg-образцов, и, в частности, установлена синхронность регистрации сигналов АЭ с циклом воздействия, а также показана корреляция их временного положения с визуальными наблюдениями и

УДК 620.179.17:620.193  
DOI: 10.14489/td.2026.05.pp.060-067

## АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ: НОВЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ МЕХАНИЗМОВ РАЗРЯДА ПРИ МИКРОДУГОВОМ ОКСИДИРОВАНИИ



**Ф. Бао,**  
канд. техн. наук,  
Харбинский университет  
науки и технологий,  
Харбин, Китай.  
E-mail: baofy@hrbust.edu.cn



**О. В. Башков,**  
д-р техн. наук, проф.,  
Комсомольский-на-Амуре  
государственный  
университет,  
Комсомольск-на-Амуре,  
Россия.  
E-mail: bashkov@knastu.ru

Микродуговое окисление (МДО) широко применяется для поверхностной модификации цветных металлов, однако оптимизация его параметров требует значительных экспериментальных затрат. Методом акустической эмиссии (АЭ) выполнен мониторинг процесса МДО на алюминиевом сплаве Д16АТ в силикатном электролите. Анализ АЭ-сигналов позволил четко выделить стадии процесса, особенно на начальном этапе. Классификация сигналов при различных плотностях тока установила связь между механизмами разряда, типами АЭ-сигналов и стадиями формирования пленки. По частотным характеристикам определены точки перехода между стадиями. Показано, что АЭ является эффективным инструментом для оперативного контроля, прогнозирования и оптимизации свойств МДО-покрытий.

**Ключевые слова:** микродуговое окисление, акустическая эмиссия, алюминиевый сплав, Д16, оксидный слой, t-SNE.

F. Bao<sup>1</sup>, O. V. Bashkov<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Harbin University of Science and Technology, Harbin, China

<sup>2</sup>Komsomolsk-na-Amure State University, Komsomolsk-on-Amur, Russia

### ACOUSTIC EMISSION: A NEW APPROACH TO THE ANALYSIS OF DISCHARGE MECHANISMS IN MICROARC OXIDATION

Microarc oxidation (MAO) is widely used for surface modification of non-ferrous metals; however, optimization of its parameters requires significant experimental effort. In this study, the MAO process on D16AT aluminum alloy in a silicate electrolyte was monitored using acoustic emission (AE). Analysis of AE signals allowed for clear identification of the process stages, particularly the initial phase. Classification of signals at different current densities established a relationship between discharge mechanisms, AE signal types, and film formation stages. Transition points between stages were determined using frequency characteristics. It is demonstrated that AE is an effective tool for operational monitoring, prediction, and optimization of MAO coating properties.

**Keywords:** microarc oxidation, acoustic emission, aluminum alloy, D16, oxide layer, t-SNE.

Статья поступила в редакцию 03.11.2025  
Статья принята к публикации 12.01.2026

Received 03.11.2025  
Accepted for publication 12.01.2026

#### Введение

Микродуговое окисление (МДО), или плазменно-электролитическое окисление (ПЭО), позволяет формировать на поверхности цветных металлов и их сплавов высокопрочные, коррозионно-стойкие керамические пленки с высокой диэлектрической прочностью. В последние годы МДО нашло широкое применение в аэрокосмической, автомобильной, электронной и других отраслях [1, 2]. Современные исследования направлены на точность контроля структуры и свойств пленки при взаимодействии

множества технологических параметров, а также с учетом сложности и динамичности механизмов формирования [3, 4].

Для анализа процессов формирования пленки применяются различные физико-химические методы. В работе [5] выявлены аномалии выделения газов с анода, а авторы работы [6] связали их с гидролизом воды в разрядных каналах. Измеренная авторами работы [7] температура плазмы при МДО составила около 3500 К. Яо Д. показал влияние частоты импульсов на энергоэффективность и интенсивность возбуждения плазмы [8].



УДК 534.231.3:534.6.08:620.179.16  
DOI: 10.14489/td.2026.05.pp.068-074

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИХ СОБСТВЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ШУМОВ



**В. И. Шелобков,**  
ЗАО «ГИАП-ДИСТцентр»,  
Москва, Россия.  
E-mail: shelobkovvi@  
giapdc.ru



**В. В. Мусатов,**  
ЗАО «ГИАП-ДИСТцентр»,  
Москва, Россия.  
E-mail: gdc@giapdc.ru



**А. А. Сазонов,**  
ЗАО «ГИАП-ДИСТцентр»,  
Москва, Россия.  
E-mail: sazonovaa@  
giapdc.ru



**В. И. Иванов,**  
д-р техн. наук, проф.,  
АО «НТЦ «Промышленная  
безопасность»,  
Москва, Россия.  
E-mail: ivi444@mail.ru

Рассмотрены методики измерения электрических параметров пьезоэлектрических преобразователей. Показаны основные ограничения методик, которые затрудняют использование их для измерения параметров пьезоэлектрических преобразователей. Предложен новый способ калибровки, в котором используются собственные тепловые шумы преобразователей. Данный метод позволяет существенно упростить процесс калибровки и увеличить точность измерения электрических параметров пьезопреобразователей.

**Ключевые слова:** пьезоэлектрический преобразователь, калибровка, метод шумовой калибровки (ШК).

V. I. Shelobkov<sup>1</sup>, V. V. Musatov<sup>1</sup>, A. A. Sazonov<sup>1</sup>, V. I. Ivanov<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>GIAP-DIST center Closed Joint Stock Company, Moscow, Russia  
<sup>2</sup>JSC “STC “Industrial Safety” Moscow, Russia

### DETERMINING THE PARAMETERS OF PIEZOTRANSDUCERS USING THEIR OWN THERMAL NOISE

Various methods for measuring the electrical parameters of piezoelectric transducers are considered. The main disadvantages of the limitations of standardized well-known techniques are shown, which hinder their adequate use and make it difficult to measure the parameters of piezoelectric converters used in industry for the diagnosis of technical devices. A new calibration method is proposed, which uses the intrinsic thermal noise of the transducers to calibrate them. This method makes it possible to significantly simplify the calibration process and increase the accuracy of measuring the electrical parameters of piezoelectric transducers.

**Keywords:** piezoelectric transducer, transducer calibration, Noise Calibration method (NC).



Статья поступила в редакцию 15.11.2025  
Статья принята к публикации 15.01.2026

Received 15.11.2025  
Accepted for publication 15.01.2026

#### Введение

В пьезоэлектрических материалах сосуществуют две независимые области физических процессов, которые простым образом сочетаются на микроуровне. Это области акустических и электрических процессов, которые описываются совместными уравнениями акустики и электричества. Первыми публикациями по пьезорезонаторам и пьезоэлектрическим преобразователям (ПЭП) были труды Н. Н. Андреева, У. Кэди [1, 2]. Сначала

пьезорезонаторы использовались в радиоэлектронной аппаратуре для повышения стабильности частоты генераторов и в качестве частотных фильтров. ПЭП нашли применение во многих научных направлениях и отраслях промышленности, включая гидроакустику. Далее ПЭП получили широчайшее использование в неразрушающем ультразвуковом контроле (УЗК) и технической диагностике (вибродиагностике и акустико-эмиссионной диагностике).

УДК 534.08:620.179.17  
DOI: 10.14489/td.2026.05.pp.075-084

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИБКИХ ПОЛИМЕРНЫХ АРМИРОВАННЫХ ТРУБ НЕСВЯЗНОЙ КОНСТРУКЦИИ



**А. Н. Мисейко,**  
канд. техн. наук,  
ООО «Научно-технический  
центр «ЭгиДА»,  
Самара, Россия.  
E-mail: aegis-rus@  
aegis-rus.com



**К. В. Харебов,**  
ООО «Научно-технический  
центр «ЭгиДА»,  
Самара, Россия.  
E-mail: aegis-rus@  
aegis-rus.com



**В. С. Мишунин,**  
ООО «Научно-технический  
центр «ЭгиДА»,  
Самара, Россия.  
E-mail: aegis-rus@  
aegis-rus.com



**Д. М. Живоносновская,**  
ООО «Научно-технический  
центр «ЭгиДА»,  
Самара, Россия.  
E-mail: aegis-rus@  
aegis-rus.com



**К. А. Перов,**  
ООО «НИЦ «Неметалл»,  
Самара, Россия.  
E-mail: aegis-rus@  
aegis-rus.com



**М. В. Богатов,**  
канд. техн. наук,  
ООО «НИЦ «Неметалл»,  
Самарский  
государственный  
технический университет,  
Самара, Россия.  
E-mail: bogatov@  
npcsamara.ru



**С. А. Ковалев,**  
ООО «СИБУР ПолиЛаб»,  
Москва, Россия.  
E-mail: kovalevserra@sibur.ru

Приведено исследование возможностей метода акустической эмиссии для решения задачи диагностирования гибких полимерных армированных труб (ГПАТ) несвязной конструкции. Рассмотрены основные типы конструкций и механизмов разрушения ГПАТ. Затронута тема нормативной базы и регламента контроля при ревизии ГПАТ в нефтегазовой промышленности, а также выявлены преимущества и недостатки диагностирования акустико-эмиссионным методом. Разработана методология экспериментально-исследования, включающая этапы подготовки, первичного (на образцах без нанесенных дефектов) и повторного (на образцах с нанесенными дефектами) АЭ-контроля при проведении гидравлических испытаний, а также этап анализа полученных данных. Выявлены наиболее информативные параметры для определения предпосылок к разрушению, а также разработаны рекомендации для дальнейшего развития темы.

**Ключевые слова:** гибкие полимерные армированные трубы, ГПАТ, гидравлические испытания, неразрушающий контроль, метод акустической эмиссии, электрохимическая коррозия.

A. N. Miseiko<sup>1</sup>, K. V. Kharebov<sup>1</sup>, V. S. Mishunin<sup>1</sup>,  
D. M. Zhivosnovskaya<sup>1</sup>, K. A. Perov<sup>2</sup>, M. V. Bogatov<sup>2,3</sup>, S. A. Kovalev<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>Scientific and Technical Center “Aegis”, Samara, Russia  
<sup>2</sup>ООО “NITs “Nemetall”, Samara, Russia  
<sup>3</sup>Samara State Technical University, Samara, Russia  
<sup>4</sup>ООО “SIBUR PolyLab”, Moscow, Russia

## INVESTIGATION OF THE POSSIBILITIES OF THE ACOUSTIC EMISSION METHOD FOR THE DIAGNOSIS OF FLEXIBLE POLYMER REINFORCED PIPES OF INCOHERENT CONSTRUCTION

The article presents an investigation of the acoustic emission method possibilities for solving the problem of diagnosing flexible polymer reinforced pipes (GPAT) of an incoherent structure. The main types of structures and mechanisms of destruction of GPAT are considered. The regulatory framework and inspection procedures for FPRP in the oil and gas industry are discussed, and the advantages and disadvantages of APRP diagnostics are identified. An experimental research methodology has been developed, including the stages of preparation, initial (on samples without introduced defects) and repeat (on samples with introduced defects) AE testing during hydraulic testing, as well as a data analysis stage. The most informative parameters for determining the prerequisites for destruction have been identified, and recommendations have been developed for further development of the topic.

**Keywords:** flexible polymer reinforced pipes, GPAT, hydraulic testing, non-destructive testing, acoustic emission method, electrochemical corrosion.

УДК 534.13-16:51-74:620.179.17  
DOI: 10.14489/td.2026.05.pp.085-094

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ МЕТОДОМ СЛОИСТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ



**Е. А. Лепшеев,**  
ООО «Интерюнис-ИТ»,  
ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»,  
Москва, Россия.  
E-mail: lepsheeva@  
interunis-it.ru



**В. А. Барат,**  
д-р техн. наук,  
ООО «Интерюнис-ИТ»,  
ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»,  
Москва, Россия.  
E-mail: vera.barat@mail.ru



**С. В. Елизаров,**  
ООО «Интерюнис-ИТ»,  
Москва, Россия.  
E-mail: serg@interunis-it.ru

Основными объектами контроля для метода акустической эмиссии (АЭ) являются тонкостенные объекты – трубопроводы, сосуды и резервуары. Основной тип волн АЭ, распространяющихся в тонкостенных объектах, – это волны Лэмба. Вследствие дисперсионного распространения волн Лэмба и частотно-зависимого затухания форма и спектр сигнала АЭ существенно зависят от расстояния, пройденного сигналом по волноводу, что осложняет интерпретацию данных АЭ, так как влияние акустического тракта маскирует влияние функции источника и затрудняет идентификацию характера повреждения объекта контроля. Проведено исследование совместного влияния параметров источника и параметров акустического тракта на форму сигналов АЭ. Исследование выполнено с помощью процедуры полуаналитического моделирования сигналов АЭ с различными параметрами источника и акустического тракта.

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия, волны Лэмба, дальние сигналы, корреляция.

E. A. Lepsheev<sup>1,2</sup>, V. A. Barat<sup>1,2</sup>, S. V. Elizarov<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>“Interunis-IT” LLC, Moscow, Russia  
<sup>2</sup>National Research University “MPEI”, Moscow, Russia

## INVESTIGATION OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS PROPAGATION FEATURES BY THE LAYERWISE METHOD

The primary inspection objects for the acoustic emission (AE) method are thin-walled structures such as pipelines, pressure vessels, and storage tanks. The dominant type of AE waves propagating in thin-walled structures are Lamb waves. Owing to the characteristics of Lamb wave propagation, including dispersive behavior and frequency-dependent attenuation, the waveform and spectral content of AE signals strongly depend on the propagation distance along the waveguide. This significantly complicates the interpretation of AE data, since the influence of the acoustic transmission path masks the effect of the source function and hinders reliable identification of the damage mechanism in the inspected structure. In this work, the combined influence of source parameters and acoustic transmission path parameters on the AE signal waveform is investigated. The study is carried out using a semi-analytical modeling procedure for AE signals with various source and waveguide parameters.

**Keywords:** acoustic emission, Lamb waves, far-field signals, correlation.

Статья поступила в редакцию 10.12.2025  
Статья принята к публикации 17.01.2026

Received 10.12.2025  
Accepted for publication 17.01.2026

### Введение

Современный уровень технологического развития предъявляет все более строгие требования к конструкциям и механизмам. Критические компоненты механизмов могут характеризоваться длительным сроком службы и подвергаются значительным функциональным и природным нагрузкам. Следовательно, мониторинг критических механизмов и конструкций становится необходимым. Одним из ос-

новных видов неразрушающего контроля, применяющихся в системах диагностического мониторинга, является метод акустической эмиссии (АЭ).

К преимуществам метода АЭ относится его чувствительность к трещинам малых размеров и структурным изменениям внутри материала, что приводит к изменению формы сигнала АЭ. Большое число работ направлено на установление взаимосвязи параметров диагностического сигнала



Издательский дом «СПЕКТР» издает пять специализированных журналов: «Вестник компьютерных и информационных технологий», «Контроль. Диагностика», «Стекло и керамика», «Справочник. Инженерный журнал», «Территория NDT».

Ежемесячные журналы: «Вестник компьютерных и информационных технологий», «Контроль. Диагностика», «Стекло и керамика», «Справочник. Инженерный журнал» – включены в Перечень рецензируемых изданий и журналов Высшей аттестационной комиссии (ВАК), в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук. Издания входят в национальную информационно-аналитическую систему – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Журнал «Контроль. Диагностика» входит в базу данных Russian Science Citation Index (RSCI).

Журнал «Стекло и керамика» переводится на английский язык («Glass and Ceramics») и издается в США «SPRINGER SCIENCE + BUSINESS MEDIA, INC».

Журналы распространяются по подписке и представлены в подписных каталогах «Пресса России» и в электронном каталоге «Почта России», а также в подписных каталогах альтернативных подписных агентств: «Книга-Сервис», «Руспресса», «Урал-Пресс» во всех регионах Российской Федерации.

Ежеквартальный журнал «Территория NDT» распространяется бесплатно через издательство, находится в свободном доступе на сайте и является бесплатным для читателей.

Подробную информацию о журналах и книгах издательства можно найти на сайте издательства [www.idspektr.ru](http://www.idspektr.ru).



#### **ВЕСТНИК КОМПЬЮТЕРНЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

ISSN 1810-7206. Выходит с 2004 года. Объем – 48...64 страницы.

Сайт журнала: <http://www.vkit.ru>. Телефон редакции: 8 (495) 589-56-41. E-mail: [vkit@idspektr.ru](mailto:vkit@idspektr.ru).

Журнал публикует статьи о компьютерных и информационных технологиях в промышленности, образовании, экономике и т.д. – опыт разработки, внедрения и использования.

**Подписные индексы:** 39244 – по каталогу «Пресса России»;  
 П3645 – по электронному каталогу «Почта России».

#### **КОНТРОЛЬ. ДИАГНОСТИКА**

ISSN 0201-7032. Выходит с 1998 года. Объем – 56...64 страницы.

Сайт журнала: <http://www.td-j.ru>. Телефон редакции: 8 (495) 514-76-50. E-mail: [td@idspektr.ru](mailto:td@idspektr.ru).

Журнал публикует научные и методические статьи о методах, приборах и технологиях контроля и диагностики, их внедрении, развитии и применении.

**Подписные индексы:** 29075 – по каталогу «Пресса России»;  
 П3652 – по электронному каталогу «Почта России».

#### **СПРАВОЧНИК. ИНЖЕНЕРНЫЙ ЖУРНАЛ**

ISSN 0203-347X. Выходит с 1997 года. Объем – 56...64 страницы, приложения – 16...32 страницы.

Сайт журнала: <http://www.handbook-j.ru>. Телефон редакции: 8 (495) 589-56-81. E-mail: [hb@idspektr.ru](mailto:hb@idspektr.ru).

Журнал публикует статьи справочно-информационного характера, предназначенные для повышения квалификации инженеров всех отраслей техники: конструкторов, технологов, экспертов, разработчиков новой техники, проектировщиков, материаловедов, а также для преподавателей и студентов вузов.

**Подписные индексы:** 41299 – по каталогу «Пресса России»;  
 П3653 – по электронному каталогу «Почта России».

#### **СТЕКЛО И КЕРАМИКА**

ISSN 0131-9582. Выходит с 1925 года. Объем – 40...56 страниц.

Сайт журнала: <http://www.glass-ceramics.ru>. Телефон редакции: 8 (499) 391-87-06.

E-mail: [stiker1925@gmail.com](mailto:stiker1925@gmail.com).

Научные исследования, техника, технология. Производство всех видов: стекла, керамики, ситаллов и стеклокерамики, стеклопластиков, эмалей и глазурей, каменного литья и минеральной ваты.

**Подписной индекс:** 70881 – по каталогу «Пресса России»; П3654 – по электронному каталогу «Почта России».

#### **ТЕРРИТОРИЯ NDT**

ISSN 2225-5427. Выходит с 2012 года. Объем – 56...72 страницы.

Сайт журнала: <http://tndt.idspektr.ru>. Телефон редакции: 8 (499) 393-30-25. E-mail: [tndt@idspektr.ru](mailto:tndt@idspektr.ru).

Новейшие разработки и исследования в области неразрушающего контроля и технической диагностики. Информация о выставках, семинарах, конференциях. Анонсы мероприятий, подробные и краткие отчеты.

Журнал распространяется через национальные общества по неразрушающему контролю, на выставках, семинарах, конференциях, в учебных центрах и через редакцию.

# ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НК IU ИНТЕРЮНИС-ИТ

- ▶ Акустико-эмиссионные измерительные комплексы «А-LINE»
- ▶ Универсальный прибор неразрушающего контроля «ЮНИСКОП»
- ▶ Системы диагностического мониторинга
- ▶ Проведение научно-прикладных исследований
- ▶ Интеллектуальное сопровождение неразрушающего контроля



ИННОВАЦИИ



ТЕХНОЛОГИИ



МОНИТОРИНГ



КОНТРОЛЬ



ТОЧНОСТЬ

**30**  
ЛЕТ В НК

МОСКВА, ШОССЕ ЭНТУЗИАСТОВ, Д. 205, А/Я 140  
+7 (495) 361-76-73, 361-19-90, 707-12-94  
SALES@INTERUNIS-IT.RU

[WWW.INTERUNIS-IT.RU](http://WWW.INTERUNIS-IT.RU)