



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Алтайский государственный университет»

пр-т Ленина, 61, г. Барнаул, 656049
Тел. (385-2) 291-291. Факс (385-2) 66-76-26
E-mail: rector@asu.ru



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научному и
инновационному развитию ФГБОУ

ВО «Алтайский государственный
университет» д.т.н.

Дунец А.Н.

2022 г.



28.12.2022 № 10-2-21/05/8284

на № _____ от _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Растегаева Игоря Анатольевича
«Методы и средства обнаружения шумоподобных сигналов источников
акустической эмиссии трибологической и гидродинамической природы на
основе иерархического беспорогового спектрально-временного анализа»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики
материалов, изделий, веществ и природной среды

Актуальность диссертации

Под общемировой тенденцией в области систем анализа рисков для безопасной эксплуатации опасных производственных объектов понимаются технические устройства, в которых осуществляется регистрация и анализ акустической эмиссии (АЭ). Использование метода акустической эмиссии оправдано его высокой чувствительностью к процессам дефектообразования (собственно дефектообразование и является источником акустической эмиссии), а также способностью осуществлять непрерывный контроль опасных промышленных объектов непосредственно во время их эксплуатации, что позволяет принимать решение о дальнейшей эксплуатации таких объектов. В этой связи повышается ответственность за адекватность информации, получаемой методом акустической эмиссии. Хорошо известно, что типичным негативным фактором, влияющим на качество АЭ-контроля, является шумоподобная природа акустической эмиссии, сопровождающая эксплуатацию большинства промышленного оборудования, что усложняет диагностику АЭ сигналов. Следствием чего АЭ-контроль таких объектов существующими средствами метода акустической эмиссии или затруднен, или вовсе не возможен.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»	
Вх. №	4
Дата	09.01.2023

Таким образом, поиск новых подходов, методов обработки шумоподобных потоков сигналов акустической эмиссии можно отнести к актуальным задачам, имеющим как научное, так и большое прикладное значение.

Цель работы, заключающаяся в разработке методов и средств обнаружения шумоподобных сигналов источников акустической эмиссии трибологической и гидродинамической природы на основе иерархического беспорогового спектрально-временного анализа, подчеркивает её актуальность.

Диссертационная работа выполнялась в ходе реализации следующих научных программ и проектов НИИ «Прогрессивных технологий» Тольяттинского государственного университета: мегагрант Правительства РФ (постановление № 220 от 09.04.2010г.); проект № 11.G34.31.0031; Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014 - 2020 годы»; проект № RFMEFI58614X0011 (Соглашение № 14.586.21.0011 от 27.11.2014г.); проект № RFMEFI57714X0145 (Соглашение № 14.577.21.0145 от 28.11.2014г.); Государственное задание Минобрнауки РФ, проект № 11.8236.2017/9.10 и проект № FEMR-2020-0003; Российский научный фонд, проект № 20-79-10262 (Соглашение № 20-79-10262 от 20.07.2020г.).

Научная новизна полученных результатов

В диссертационной работе Растегаевым И.А. получены и сформулированы следующие пункты научной новизны.

1. Впервые для АЭ контроля циклически нагруженных элементов динамического и статического промышленного оборудования теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность обнаружения акустических источников на фоне шума за счет оценки подобия проявления их АЭ признаков на нескольких временных масштабах;
2. Впервые предложены способы воспроизведения источников АЭ, физически имитирующие основные виды дефектов на статическом и динамическом промышленном оборудовании, имеющем в своем составе циклически нагруженные: узлы трения-скольжения, силовые элементы или ротационные механические активаторы гидродинамических процессов, не приводящие к их критическому повреждению, посредством использования имитаторов АЭ специального вида и остановки испытания по данным АЭ;
3. Сформулирован новый научный подход выявления и изучения стадийности срабатывания акустических источников, сопровождающих схватывание и пластическое отеснение материала контактирующих элементов узлов трения-скольжения динамического промышленного оборудования на основе использования спектрального и временного подобия их проявления;
4. Впервые для выявления усталостных трещин и оценки поврежденности цапф опорных подшипниковых узлов использованы закономерности спектрального и временного подобия проявления АЭ за цикл нагружения;

5. Предложен новый способ обнаружения вихрей в рабочей камере роторной установки, работающей на режиме обеззараживания жидких водных растворов, на основе отслеживания спектрального подобия АЭ сигналов;
6. Впервые предложена схема компенсации потери работоспособности антенной группы за счет изменения режима работы в ней преобразователей, имеющих дублирующие линии регистрации АЭ.

Практическая значимость

Автором диссертации аргументированно представлена практическая значимость работы.

1. На основе предложенного трехуровневого спектрально-временного анализа шумоподобной АЭ разработаны: способ повышения точности локации шумоподобных источников АЭ (Патент № 2515423); способ диагностики динамического промышленного оборудования (Патент № 2684709); способ управления работой роторных перемешивающих устройств по АЭ обратной связи; способ анализа и сопоставления хронологии разрушения узлов трения-скольжения; методика оценки поврежденности цапф сушильных цилиндров картоноделательных машин (№ МАЭК-СЦКДМ-001-2019).
2. Для обеспечения возможности регистрации шумоподобной АЭ с промышленного оборудования в условиях вибрации, термоциклирования и высоких температур разработаны: преобразователь АЭ повышенной надежности (Патент № 2601270) и универсальный акустический волновод (Патент № 2665360).
3. Для верификации результатов регистрации и анализа шумоподобной АЭ при производственных и лабораторных испытаниях динамически и статически нагруженного оборудования (далее динамического и статического оборудования) разработаны подходы по имитации основных АЭ источников без повреждения объектов контроля (Патент № 2608969).

Таким образом, можно констатировать, что полученные данные исследования шумоподобной акустической эмиссии обладают абсолютной мировой новизной, о чем свидетельствуют патенты на изобретения, а представленные конкретные точки приложения результатов подчеркивают практическую значимость.

Оценка достоверности результатов диссертационной работы

Достоверность полученных в работе результатов обеспечивалась: (i) использованием поверенной испытательной аппаратуры и оборудования лабораторий аккредитованных в двух системах: International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) и/или Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору (Росгортехнадзор); (ii) корректностью приближений, сделанных при имитации исследуемых источников АЭ; (iii) использованием кода проверенных модулей цифровой обработки данных

реализованных в математических пакетах MathLab, Octave и Python; (iv) поэтапной верификацией результатов акустических исследований с контрольными параметрами стандартных методов механических испытаний (температурой, нагрузкой, длиной трещины, силой трения и др.), а также визуальным подтверждением с использованием средств микроскопии, видеозаписи и тепловых измерений; (v) значительным объемом проанализированных экспериментальных данных; (vi) согласием полученных результатов между собой и известными данными, полученными другими исследователями.

Таким образом, достоверность результатов диссертационной работы не вызывает сомнения и отвечает современным требованиям оценки получаемой информации о состоянии контролируемого объекта.

Общая характеристика диссертации

Диссертация Растегаева И.А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся сведения о цели и задачах исследования, новизне полученных результатов и их практической ценности, защищаемых положениях. Работа хорошо апробирована в виде докладов на конференциях разного уровня. При этом автор диссертации подчеркивает, что акустический сигнал есть результат действия когерентных источников первичных акустических сигналов. Этот подход к потоку сигналов акустической эмиссии, анализируемому в диссертации, свидетельствует, что автор констатирует процесс генерирования акустического сигнала как фундаментальное физическое явление, исследование которого в настоящее время активно осуществляется в ряде научных организаций. Однако отмечается, что и в настоящее время метод акустической эмиссии (АЭ) все еще остается на стадии апробации из-за отсутствия полного понимания физики явлений, лежащих в основе генерации АЭ. В этой связи остаются нерешенными ключевые вопросы его применения, в частности, для неразрушающего контроля и диагностики состояния объекта контроля.

Следует отметить, что для решения поставленных в диссертационной работе задач использовали целый набор методов исследования. В акустических исследованиях применялись приемы теории сигналов по цифровой обработке и анализу временных рядов, а именно методы: частотно-временного преобразования; фильтрации; кластеризации и статистического анализа данных. Исходные данные для акустических исследований получали путем записи АЭ при проведении стандартных методов испытаний материалов на: прочность и плотность; одноосное растяжение; рост усталостной трещины; трение и износ, а также при кавитационной обработки жидких сред с параллельной высокоскоростной видеосъемкой. Помимо записи АЭ анализируемый массив данных включал и синхронно полученные оценочные параметры стандартных методов механических испытаний (записей измерения

температуры, нагрузки, длины трещины, силы трения и др.), а также результаты оценки повреждений посредством конфокальной лазерной сканирующей микроскопии. Исследование характеристик разработанных устройств регистрации АЭ проводились электрическими и акустическими методами на специализированных стендах.

Основное содержание диссертационной работы изложено в 48 публикациях, в том числе: 22 статьях (из которых 10 опубликованы в журналах входящих в перечень рецензируемых научных изданий рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ и 14 в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus, одной монографии, 5-ти патентах на изобретения РФ и 20 тезисах докладов. Библиографические ссылки на публикации по теме диссертационной работы представлены в списке литературных источников, а копии патентов на изобретение – в приложении.

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, выводов по работе и приложений. Работа изложена на 327 страницах машинописного текста, содержит 75 рисунков, 36 таблиц, 261 источника цитирования.

Диссертационная работа по своим целям, задачам, методам исследования, научной новизне и содержанию соответствует паспорту научной специальности 2.2.8. – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды по п.п. 1, 3, 6, 7.

Замечания по диссертационной работе

1. В первой главе автор анализирует акустическую эмиссию как метод диагностики и контроля материалов и изделий, а также как физическое явление, в основе которого лежат множество элементарных процессов, формирующих поток акустических сигналов. Однако трактовка эффекта акустической эмиссии содержит ряд противоречивых установок и взаимоисключающих определений. Например, обсуждая природу дискретной (импульсной) и непрерывной (шумоподобной) акустической эмиссии автор утверждает: «источниками импульсной АЭ являются пластическая деформация двойникованием; скачок хрупкой трещины; мартенситные превращения и др.; примером источников непрерывной (шумоподобной) АЭ являются пластическая деформации дислокационным скольжением, трение и изнашивание материалов и др.». Однако следует подчеркнуть, что элементарным актом пластической деформации скольжением дислокаций является выход на границу раздела или свободную поверхность дислокационного ансамбля одной системы скольжения, то есть когерентного ансамбля первичных акустических сигналов, интерференция которых приводит к формированию единичного сигнала акустической эмиссии. Двойникование осуществляется ансамблем двойникующих дислокаций, который также представляет собой когерентный ансамбль дислокаций. Таким образом, в обоих случаях элементарный механизм акустической эмиссии один и тот же, то есть природа акустической эмиссии как

дискретного события очевидна. Автор и сам констатирует, что деление потока сигналов акустической эмиссии на дискретный и непрерывный условно.

2. Во второй главе (стр. 57) анализируется и обосновывается беспороговый спектрально-временной метод обнаружения сигналов акустической эмиссии на уровне шума. Для этого делается допущение о нормальном законе распределения сигналов на уровне шума. На основе этого допущения сконструирована вероятностная функция для расчета вероятности обнаружения сигнала на уровне шума (выражение 2.8). Однако известно, что для описания потока сигналов акустической эмиссии в общем шумовом потоке используется и распределение Пуассона. В этой связи возникает вопрос об адекватности допущения только о нормальности распределения и реальности получаемых результатов выделения сигналов из шума?

3. Анализируя потоки акустической эмиссии как совокупность полезных сигналов и шума автор однозначно определяет полезные сигналы как самостоятельные события, у которых распределение амплитуд и временных интервалов подчиняется нормальному закону распределения. Однако во многих случаях эти события коррелированы, как, например, при пластической деформации или продвижении усталостной трещины. Можем ли распределение амплитуд и длительностей описывать нормальным законом, ведь автор только «предполагает нормальную плотность распределения выбросов амплитуды в шуме».

4. Базовым принципом обработки шумоподобной АЭ, рассмотренным в главе 2 является кластеризация «полезных» акустических событий в потоке сигналов акустической эмиссии. В разделе 2.4 кластеры акустических сигналов анализируются по принадлежности механизмов генерации к опасным: «Количество формируемых групп регулируется исходя из значения $[K_s]$ автоматически (путем межгруппового сравнения подобия) или задается оператором исходя из понимания количества возможных источников АЭ». Однако не ясно, формируется ли кластер шума с помощью описываемого алгоритма обработки. Если он формируется, то как соотносятся шумовой кластер и информативный («полезный») кластер. Кластеры могут перекрываться, как в этом случае происходи выбор решения?

5. В диссертации наблюдается обилие сокращений. В этой связи возникают сложности прочтения текста. Характерным, например, является подпись к рис. 2.3.

Заключение

Рассматриваемая диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся обширные и значимые сведения и алгоритмы, обеспечивающие уверенный анализ шумоподобного потока сигналов акустической эмиссии разной природы и оценку дефектности контролируемых объектов методом регистрации и анализа акустической эмиссии.

Автореферат диссертации и опубликованные работы полностью отражают основные положения диссертации.

Несмотря на отмеченные недостатки, рассмотренная диссертационная работа выполнена на высоком уровне и соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, представляемым на соискание ученой степени доктора технических наук, в соответствии с «Положением о порядке присуждения ученых степеней». Автор рассматриваемой диссертации, Расстегаев И.А., заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Диссертация и автореферат обсуждались на заседании кафедры «Общая и экспериментальная физика» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», протокол № 5 от 09 декабря 2022 г. и получили положительную оценку.

Заведующий кафедрой
общей и экспериментальной физики,
доктор физ.-мат. наук, профессор

Владимир Александрович Плотников

Адрес: пр. Ленина 61, 656049, Барнаул, Россия
Телефон: (8-3852) 296659, E-mail: plotnikov@phys.asu.ru

Подпись Плотникова В.А. и его
контактную информацию удостоверяю.
Начальник управления кадров ФГБОУ ВО
«Алтайский государственный университет»



Трушников А.Н.