



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



02.09.2021 № 10-2-21/05/4733

на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научному и
инновационному развитию ФГБОУ
ВО «Алтайский государственный
университет» доктор географических
наук

Дунец А.Н.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
на диссертационную работу Попкова Артема Антоновича
**«МЕТОДИЧЕСКОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АКУСТИКО-
ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности**

**05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и
изделий»**

Актуальность диссертации

Акустическая эмиссия (АЭ) как метод контроля структурного состояния материала все активнее применяется в технологических процессах для оценки эксплуатационного ресурса деталей или изделия. Природа явления акустической эмиссии, связанная с развивающимися дефектами в ходе локальной перестройки структуры материала обеспечивает принципиальную возможность тонкого и глубокого исследования процессов развития дефектной структуры материала. Первостепенная роль дефектной подсистемы в процессах пластической деформации металлов и сплавов определяет внимание исследователей к эволюции дислокационной, двойниковой структур, микротрешин и макротрешин в материале в ходе механического воздействия. В этой связи поиск методов идентификации дефектов в процессе деформирования материала, то есть в реальном масштабе времени, является актуальной задачей. Особо актуальным следует признать поиск связи параметров акустической эмиссии с элементарными актами хрупкого разрушения материала – развивающимися микро- и макротрешинами в условиях ударного нагружения,

зависимые от формы, размеров и свойств материала объекта контроля, особенно, имеющих сложную конфигурацию.

Регистрация сигналов акустической эмиссии представляет серьезную проблему, связанную с выделением полезных сигналов из непрерывных внешних и аппаратных шумов и распознанием различных одновременно действующих источников сигналов акустической эмиссии. В этой связи совершенствование методов анализа, а также разработка новых, опирающихся как на современную приборную базу, так и на современные математические подходы представляет собой также актуальную задачу.

Актуальность работы подчеркивает сформулированная цель: создание методик и алгоритмов для обработки сигналов, позволяющих обнаруживать развивающиеся без заметной пластической деформации дефекты методом АЭ в процессе ударного нагружения.

Научная новизна полученных результатов

состоит из оригинального методического подхода к оценке эволюции структурных изменений, происходящих в материале в условиях ударного нагружения, выполненного автором с использованием многофакторного анализа акустической эмиссии, включающий фиксацию временных интервалов в потоке сигналов акустической эмиссии, статистический анализ и кластеризацию источников акустической эмиссии путем анализа распределений интервалов времени между сигналами.

Таким образом, представленная диссертационная работа обладает научной новизной, состоящей в следующем:

1) установлены временные параметры потоков сигналов при ударном нагружении объектов с хрупко развивающейся трещиной, позволяющие дифференцировать потоки сигналов, вызванные ударом, смещением кромок и ростом трещины; экспериментально показано, что сигналы от развивающейся б трещины фиксируются и после затухания колебательных процессов, а их временная зависимость описывается логарифмической функцией времени; постоянная времени в экспериментах превышала 150 с;

2) установлено, что корреляция сигналов на двух ПАЭ является индикатором связи параметров сигналов с контролируемым параметром источника, что позволяет обоснованно выбирать информативные параметры АЭ и проводить кластеризацию источников;

3) обоснована и экспериментально доказана возможность применения фазовой локации источников дискретной АЭ преобразователями, образующими акустическую антенну, размеры которой не превышают длину волны; разработан алгоритм локации источников дискретной АЭ по разности фаз сигналов, зарегистрированных разными ПАЭ, который может быть использован для контроля объектов с развитыми трещинами, нарушающими топологию объекта, в которых пути распространения не могут быть однозначно определены до проведения контроля;

4) установлено, что в общем потоке сигналов АЭ, вызванном хрупким ростом трещины, обнаруживаются группы сигналов, интервалы времени между которыми значительно отличаются от среднего интервала времени между сигналами в группе; разработан способ, основанный на теории проверки статистических гипотез, разделения потока регистрируемых сигналов на группы и их кластеризации по общности параметров распределений интервалов времени между сигналами.

Практическая значимость

Разработан способ АЭ контроля (патент на изобретение RU 2676219 от 26.12.2018), который позволяет проводить контроль с использованием ударного нагружения объектов, склонных к быстрому и неконтролируемому хрупкому разрушению или объектов, полное нагружение которых невозможно или нецелесообразно.

Разработан способ оптимизации амплитудных параметров сигналов и кластеризации источников АЭ (патент на изобретение RU 2727316 от 21.07.2020), который использовался при контроле технологических трубопроводов при экспертизе промышленной безопасности компании ООО «Технология», что позволило снизить временные затраты на идентификацию источников АЭ при контроле протяженных объектов с размерами контролируемых зон более 10 метров

Разработано программное обеспечение для фазовой локации источников дискретной АЭ, зарегистрированное в государственном реестре программ для ЭВМ (свидетельство №2017610809 от 18.01.2017), которое обеспечивает устойчивую локацию источников АЭ в процессе пневматических испытаний сосудов с ограниченным доступом к поверхности.

Разработано программное обеспечение для анализа зависимостей параметров сигналов АЭ и кластеризации источников, зарегистрированное в государственном реестре программ для ЭВМ (свидетельство №2021611019 от 20.01.2021), алгоритмы которого используются при обработке результатов прочностных испытаний образцов из авиаматериалов и элементов авиационных конструкций в условиях повышенного уровня шумов и помех.

Оценка достоверности результатов диссертационной работы

Достоверность и обоснованность результатов, полученных в работе, обеспечивается корректностью поставленной цели и сформулированных задач, большим объемом полученных с помощью современных приборов экспериментальных данных. Численное моделирование и обработка сигналов акустической эмиссии проводилась методами цифровой фильтрации и математического анализа: преобразование Фурье, интегрирование, свертка. Для обработки экспериментальных данных применялись статистические методы: корреляционный и регрессионный анализ, теория проверки гипотез, методы максимального правдоподобия для определения параметров распределений случайных величин.

Сопоставлением и непротиворечивостью оригинальных теоретических и экспериментальных результатов с данными, полученными другими исследователями, имеющимися в литературе; высокой воспроизводимостью разработанных технологических приемов контроля в лабораторных и производственных условиях.

Общая характеристика диссертации

Диссертационная работа является логичным результатом систематизации большого объема экспериментальных результатов, полученных автором, прошедших апробацию в виде докладов на 7 конференциях различного уровня.

Результаты диссертации опубликованы в 20 работах, из них 3 статьи в рецензируемых изданиях, входящих системы индексирования WoS и Scopus и рекомендованных ВАК РФ. Зарегистрировано 2 программы для ЭВМ, получено 7 патентов РФ.

Диссертационная работа по своим целям, задачам, методам исследования, научной новизне и содержанию соответствует паспорту научной специальности «05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»: п.1. Научное обоснование новых и усовершенствование существующих методов аналитического и неразрушающего контроля природной среды, веществ, материалов и изделий; п.6. Разработка алгоритмического и программно-технического обеспечения процессов обработки информативных сигналов и представление результатов в приборах и средствах контроля, автоматизация приборов контроля.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, выводов по работе. Работа изложена на 129 страницах машинописного текста, содержит 87 рисунков, 1 таблицу.

Замечания по диссертационной работе

1. Автор нарушает последовательность ссылок на цитируемую литературу, начиная литературный обзор со ссылки [107] а не с ссылки [1]. Анализ работы [1] в обзоре отсутствует.

2. В главе 1 автор некритично подходит к подбору литературы по акустической эмиссии в ходе пластической деформации металлических материалов. Анализируя работу Дробота Ю.Б. [32], автор констатирует тот факт, что максимум акустической эмиссии при пластической деформации находится в области предела текучести. Это тривиальный факт, так как хорошо известно, что природа акустической эмиссии при пластической деформации связана с выходом дислокационного ансамбля на границу раздела. В этой связи более полезно было бы проанализировать, ставшие уже классическими работы Бойко В.С. и Нацика В.Д., в которых экспериментально и теоретически исследуется природа акустической эмиссии, связанная именно с дислокациями, выходящими на границу раздела.

3. Ссылаясь на работу [34], автор утверждает, что при трещинообразовании скорость счета в 2 – 4 раза выше, чем, по-видимому, при пластической деформации. Кроме того отмечается, что амплитуда акустического сигнала при трещинообразовании высока.

Этим самым автор констатирует тот факт, что число осциляций сигнала, значительно превышающих пороговое напряжение, фактически и приводит к увеличению скорости счета в 2 – 4 раза. Это тривиальный результат, более значимым параметром является амплитуда сигнала. Скорость счета не является адекватной характеристикой процесса трещинообразования. В настоящее время в исследованиях анализируются энергетические параметры акустической эмиссии.

4. Какой смысл цитировать в параграфе 1.1 работу [44], в которой рассматривается спектральная плотность потока сигналов акустической эмиссии при нагружении титанового сплава ВТ1-0, то есть энергия акустического сигнала ка функция частоты. Ведь автор анализирует связь интенсивности (скорости счета) и суммарного счета потока сигналов акустической эмиссии с параметрами разрушения материала.

5. На стр. 25 автор подводит итог анализу акустической эмиссии при нагружении материалов: «В настоящее время известно множество параметров сигналов акустической эмиссии, которые получили свое распространение из-за того, что на начальном этапе развития метода АЭ не представлялось возможных регистрировать и сохранять форму первичных сигналов». В этой связи автору полезно было бы познакомиться с ГОСТами на акустическую эмиссию, в которых предлагается наиболее адекватный набор параметров для описания потока акустических сигналов.

6. Странный вывод делает автор в конце параграфа 1.1. «Современные работы в области АЭ контроля, несмотря на значительные научные результаты и их новизну, во многих случаях повторяют подход, возникший в период становления метода АЭ». С этим нельзя согласиться. Так в работах Мерсона Д.Л., Башкова О.В и др. развивается идеология многофакторного анализа потока сигналов акустической эмиссии, согласно которому осуществляется кластеризацию потока сигналов акустической эмиссии наряду с Фурье-анализом, вейвлет-анализом и др.

7. На стр. 58 (глава 2) автор утверждает: «Параметры сигналов АЭ являются случайными величинами, на которые оказывают влияние процессы распространения в объекте контроля и преобразователях, искажения в электроакустическом тракте АЭ системы». Это утверждение не аргументировано. Следует отметить, что акустический сигнал формируется в результате работы коррелированного ансамбля элементарных событий. Это справедливо как при формировании деформационных полос при пластической деформации, так и при продвижении трещины при разрушении материала. Более того, амплитуда акустического сигнала тем выше, чем выше корреляция в системе элементарных актов (в пределе, чем выше когерентность в системе первичных элементарных волновых пакетов при срабатывании коррелированного ансамбля элементарных событий). В этой связи нужно достаточно осторожно утверждать о случайности параметров акустической эмиссии. Утверждение, что параметры акустической эмиссии «случайные величины» некорректно, так как на стр. 58-63 автор доказывает наличие корреляции параметров акустической эмиссии между собой и параметрами источника.

8. На стр. 68 автор обосновывает кластеризацию потока сигналов акустической эмиссии и источников, анализируя корреляционные зависимости амплитуд акустических сигналов от двух преобразователей. Параметры связаны линейной зависимостью с коэффициентом корреляции $r \geq 0,99$. Однако автор односторонне подходит к проблеме регистрации первичных сигналов акустической эмиссии, ориентируясь на пороговый вариант, где пороговый уровень задается уровнем шума. Не анализирует беспороговый вариант регистрации потока сигналов акустической эмиссии. В настоящее время имеется положительный опыт беспорогового варианта регистрации потока сигналов акустической эмиссии, осуществленный Мерсоном Д.Л., Башковым О.В. и др.

9. В первой главе автор акцентирует внимание на параметрах акустической эмиссии скорости счета и суммарном счете. Однако во второй главе он анализирует амплитуды акустических сигналов и определяет коэффициент корреляции между амплитудами, регистрируемые двумя пьезопреобразователями, на основе чего осуществляет кластеризацию потока сигналов акустической эмиссии. Какое место в приложении к проблеме кластеризации занимают анализируемые в первой главе скорость счета и суммарный счет?

10. Почему в главе 3 автор описывает эксперименты, которые никак не связаны с логикой главы 2, в которой автор проводит корреляционный анализ акустических сигналов, регистрируемых двумя датчиками или антенной решеткой. Ведь на основе такого анализа автор осуществляет кластеризацию потока сигналов акустической эмиссии – фактически базового подхода при контроле трещинообразования при ударном воздействии.

11. В главе 4 автор формулирует гипотезу об экспоненциальном характере распределения временных интервалов в пределах обособленных групп, на которые делится поток сигналов акустической эмиссии. Однако далее автор не анализирует эту гипотезу. Остается неясным – эта гипотеза адекватна экспериментальным результатам или она случайно попала в этот текстовый фрагмент на стр. 111.

12. Вывод 2 разумно было бы разделить на две части. Вторая часть начинается со слов: «В ходе экспериментальных исследований установлено...».

13. На рис. 3.6 и 3.7 не выделены линии акустической эмиссии и прироста длины трещины.

Заключение

Отмеченные выше недостатки не снижают научной значимости и практической ценности работы. Рассматриваемая диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся значимые сведения о процессах хрупкого разрушения металлических материалов и акустической эмиссии, сопровождающей эти процессы, многофакторном подходе при обработке потока сигналов акустической эмиссии, имеющие как научное, так и практическое значение.

Автореферат диссертации и опубликованные работы полностью отражают основные положения диссертации.

Рассмотренная диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, представляемым на соискание ученой степени кандидата технических наук. В соответствии с «Положением о порядке присуждения ученых степеней», автор рассматриваемой диссертации, Попков А.А., заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Диссертация и автореферат обсуждались на заседании кафедры «Общая и экспериментальная физика» ФБГОУ ВО «Алтайский государственный университет», протокол № 9 от 1 июля 2021 г. и получили положительную оценку.

Даю согласие на обработку моих персональных данных и включение их в аттестационное дело Попкова А.А.

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

[Signature]

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

А. Н. ТРУШНИКОВ