

ОТЗЫВ

официального оппонента Кинжагулова Игоря Юрьевича
на диссертационную работу Попкова Артема Антоновича
«Методическое и алгоритмическое обеспечение акустико-эмиссионного контроля
при ударном нагружении», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля
природной среды, веществ, материалов и изделий»

1. Актуальность темы диссертационной работы

Диссертация Попкова Артема Антоновича посвящена вопросам применения метода акустической эмиссии (АЭ) в процессе эксплуатации объектов контроля, испытывающих воздействия динамических и ударных нагрузок. Накопленный отечественный и мировой опыт применения метода АЭ позволил сформулировать ряд норм и правил нагружения объектов, использования средств и анализа данных при проведении АЭ контроля на различных объектах. Однако, существует ряд объектов, статическое нагружение которых вызывает быстрое и неконтролируемое разрушение, что существенно ограничивает применение метода АЭ, а в некоторых случаях делает его применение невозможным. Таким образом, исследования, направленные на обеспечение возможности раннего обнаружения дефектов, развивающихся без заметной пластической деформации в процессе эксплуатации, являются весьма актуальными. Разработка методического, алгоритмического и программного обеспечения средств АЭ позволит существенно повысить показатели надежности и безопасности эксплуатации данного класса оборудования.

2. Краткий обзор содержания диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 109 наименований. Диссертация изложена на 129 страницах, содержит 87 рисунков и 1 таблицу. В приложения вынесены Акты внедрения результатов диссертационной работы на предприятиях: ФГУП «СибНИИ им С.А. Чаплыгина», ООО «НЭКС», ООО «Технология».

Первая глава посвящена современному состоянию метода АЭ. В данной главе проанализированы модели формирования потока сигналов АЭ, используемых для интерпретации результатов АЭ контроля: теория пластического течения, кинетическая теория прочности, статистические и феноменологические теории. Определены получившие распространение информативные параметры сигналов АЭ,

выполнен анализ методов и средств обработки сигналов, ограничений и возможностей программно-технических средств, используемых для проведения АЭ контроля.

Во второй главе представлены результаты исследований корреляционной связи параметров сигналов, зарегистрированных разными преобразователями акустической эмиссии (ПАЭ) от одного источника, и ее использование для решения задачи выбора информативных параметров сигналов, кластеризации и фазовой локации источников АЭ. На основе установленных закономерностей представлена разработанная методика кластеризации сигналов АЭ. Разработаны методика фазовой локации сигналов АЭ и алгоритмы определения направления на источник АЭ с использованием близкорасположенных ПАЭ. Для определения зависимости направления распространения акустической волны от разности фаз сигнала, зарегистрированного ПАЭ, разработана модель пьезоантенны, состоящей из трех ПАЭ, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга, не превышающем длины волны сигнала АЭ, для обеспечения однозначности результатов сдвига фаз. Представлены полученные коэффициенты корреляции амплитудных параметров сигналов АЭ, зарегистрированных в процессе роста трещины. В качестве индикатора устойчивости параметров сигналов к влиянию мешающих факторов предложено использовать относительное среднее квадратичное отклонение шумовой составляющей, позволяющее оценить неопределенность параметров сигналов. Экспериментально показана возможность кластеризации источников сигналов АЭ по корреляции параметров сигналов при развитии трещины в стеклянном образце.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям, направленным на изучение закономерностей хрупкого разрушения объекта при статическом и ударном нагружении. Описана разработанная установка для проведения ударных испытаний на исследуемых объектах, в качестве которых выступали образцы из листового стекла. Приведен анализ временных закономерностей сигналов АЭ при статическом и ударном нагружении, выявлено, что после полного разрушения в течение некоторого времени регистрируются сигналы АЭ, предположительно вызванные смещением кромок трещины. Предложен алгоритм идентификации групп сигналов АЭ, основанный на обработке интервалов времени между сигналами в общем потоке.

В четвертой главе приведено описание алгоритмов обработки сигналов акусто-эмиссионной системы при ударном нагружении объектов, а также математический аппарат, реализованный в программном обеспечении. Приводится подробное описание алгоритма проведения ударного нагружения при АЭ контроле с использованием метода тензометрии. Так же автором предложен алгоритм идентификации обособленных групп в потоке сигналов АЭ, основанный на гипотезе об экспоненциальном распределении временных интервалов между сигналами внутри группы. Для оптимизации комплекса информативных параметров описан алгоритм математической обработки сигналов АЭ. Программное обеспечение на основе

предложенных алгоритмов прошло апробацию при контроле технологических трубопроводов и теплообменников ООО «Томскнефтехим». Алгоритм определения координат конечного числа ПАЭ был опробован на предприятии ООО «СИБУР Тобольск».

В Заключении сформулированы основные результаты диссертационного исследования.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Положения диссертации аргументированы, теоретически и экспериментально подтверждены. Положения, выводы и рекомендации обоснованы теоретически в рамках теории акустики и механики разрушения, подтверждены экспериментальными данными с моделированием искусственных дефектов, а также апробацией в производственных условиях предприятий. В ходе экспериментальных исследований использовались акусто-эмиссионные и тензометрические системы, имеющие метрологическое подтверждение соответствия, а также лицензионное программное обеспечение.

4. Научная новизна и достоверность полученных результатов

Научная новизна заключается в разработке нового методического и алгоритмического аппарата, позволяющего дифференцировать потоки сигналов АЭ, вызванные ударом, смещением кромок и ростом трещины. Теоретически обосновано и экспериментально доказано, что корреляция сигналов на двух ПАЭ является индикатором связи параметров сигналов с контролируемым параметром источника АЭ. Экспериментально доказано, что в общем потоке сигналов АЭ, вызванных хрупким ростом трещины, обнаруживаются группы сигналов, интервалы времени между которыми значительно отличаются от среднего интервала времени между сигналами в группе. Достоверность подтверждается непротиворечивостью и воспроизводимостью результатов, совпадением результатов экспериментов и расчетов.

5. Практическая значимость диссертационной работы

Практическая значимость работы заключается в разработанном способе АЭ контроля, который позволяет проводить контроль с использованием ударного нагружения объектов, склонных к быстрому и неконтролируемому хрупкому разрушению, и объектов, полное нагружение которых невозможно или нецелесообразно. Так же следует отметить разработанное программное обеспечение для анализа зависимостей параметров сигналов АЭ и кластеризации источников, алгоритмы которого внедрены в программное обеспечение для акусто-

эмиссионных систем СЦАД 16.03 и СЦАД 16.10 и используются при обработке результатов прочностных испытаний образцов из авиаматериалов и элементов авиационных конструкций в условиях повышенного уровня шумов и помех.

6. Опубликование научных результатов

Основные результаты докторской диссертации опубликованы в 20 статьях, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ, 2 из которых в SCOPUS и WoS, получено семь патентов РФ на изобретения, два свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

7. Замечания по работе

- 1) На стр. 17 сказано, что «усталостная трещина прошла стенку патрубка», следовало бы употреблять более научную терминологию.
- 2) На стр. 78 приводится утверждение «погрешность измерения направления на источник не превышала 9^0 », из текста докторской диссертации не ясно о каком виде погрешности идет речь? Как рассчитывалась данная погрешность?
- 3) На стр. 84 идет речь об измерении напряженно-деформированного состояния с помощью тензорезистора. В данном случае следует говорить об измерении изменения напряженно-деформированного состояния, а не об абсолютных значениях.
- 4) На стр. 93 и стр. 94 описаны два способа измерения смещения кромки трещины, в результате чего, сделан вывод, что смещение кромок в результате ударного воздействия не превышало 0,03 мм. Вывод не очевиден, так как указанный цифровой фотоаппарат не является средством измерения, а микрометры с индикатором часового типа, как правило, имеют погрешность измерений $\pm 0,02$ мм.
- 5) На стр. 98 Рис. 3.22 имеет название: «Схема определения коэффициентов отношения временных интервалов», тот же рисунок 11 в тексте автореферата имеет название «Схема определения отношения временных интервалов», в тексте докторской диссертации: «На рисунке 3.22 представлена схема разделения сигналов на группы». Следовало бы однозначно формулировать название рисунка и ссылки на него.
- 6) На стр. 105 упоминается термин максимальной достоверности. Из текста докторской диссертации не ясно, по какому критерию рассчитывалась достоверность и каковы максимальные показатели данного критерия.
- 7) На стр. 125 приведены сведения об апробации алгоритма определения координат расстановки ПАЭ, однако не приведены численные значения результатов апробации.

Отмеченные замечания и сформулированные вопросы не снижают научной и практической значимости работы и не влияют на достоверность полученных результатов.

8. Общая оценка и заключение по рассмотренной работе

Диссертационная работа Попкова Артема Антоновича «Методическое и алгоритмическое обеспечение акустико-эмиссионного контроля при ударном нагружении» является законченной научно-исследовательской работой, выполненной автором на достаточно высоком научном уровне. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым ВАК и п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Попков Артем Антонович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Официальный оппонент

Кандидат технических наук, преподаватель
факультета Систем управления и робототехники,
Университета ИТМО

Игорь Юрьевич
Кинжагулов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Адрес: Российская Федерация,
197101, Санкт-Петербург,
Кронверкский пр., д. 49, лит. А
Тел.: +7 (812) 283-00-89
E-mail: od@itmo.ru
Сайт: <https://itmo.ru>

Подпись *Кинжагулов И.Ю*
удостоверяю

Менеджер ОП НПР
Ершов Д.А.

01.09.2021

