

## ОТЗЫВ

официального оппонента Иванова Валерия Ивановича  
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 (технические науки)»

### 1. Актуальность темы

Диссертационная работа направлена на развитие методов и средств акустико-эмиссионной (АЭ) диагностики технического состояния технических устройств опасных производственных объектов, что соответствует критической технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (Указ Президента РФ № 899 от 7 июля 2011 г.). Поскольку метод АЭ остается единственным методом Технической Диагностики (ТД) позволяющий классифицировать дефекты в промышленных объектах по степени их опасности, то направление исследований, результаты которого представлены в рецензируемой диссертации, является весьма актуальным, т.к. способствует предотвращению аварийных ситуаций и повышению безопасности или эффективности эксплуатации промышленных объектов. Однако область охвата темы исследований представляется более широкой, чем обозначенное в работе направление на контроль и мониторинг промышленного оборудования. Это определяется особенностями явления АЭ, т.к. практически любой физический или химический процесс сопровождается излучением упругих волн, что принципиально определяет широкий набор возможностей применения метода. Именно этим и объясняется большой объем поисковых работ, проводимый различными научными группами при оценке возможности использования метода АЭ для решения задач в разных научных и практических сферах (от проблем в области медицины до оценки качества сгорания топлива в двигателях внутреннего сгорания автомобилей).

Однако отсутствие надежных алгоритмов выделения сигналов АЭ из помех и оценки источников непрерывной АЭ сдерживает или делает невозможным контроль и мониторинг объектов при работе которых возникают источники сигналов непрерывного типа. Такие сигналы сопровождают трибологические, аэро- и гидродинамические, химические, электромагнитные и др. явления. В связи с этим настоящая работа, посвященная разработке нового подхода выделения и классификации источников непрерывных сигналов, представляется весьма актуальной. Она направлена на расширение числа объектов исследований, имеющих в своем составе узлы и механизмы работа которых основана на упомянутых выше явлениях. При этом поскольку подходы и алгоритмы обработки АЭ данных в принципе обладают свойством многофункциональности, то полученные результаты представляются актуальными не только для развития исследуемых в диссертационной работе направлений применения метода АЭ, но и для решения других не обсуждаемых в работе научно-технических проблем.

Также следует отметить, что развитие средств неразрушающего контроля (НК) и методик проведения прочностных расчетов оценке промышленного оборудования с учетом фактического технического состояния привело к тому, что в настоящее время появилась возможность расчёта вероятности разрушения объектов с обнаруженными дефектами. В данном направлении метод АЭ, несмотря на свои некоторые преимущества перед другими методами НК заключающимися в возможности определения степени опасности дефекта и его координат без сканирования объекта контроля, пока не позволяет проводить такие оценки. Причиной этому является отсутствие установленных взаимосвязей между классами опасности источников АЭ и вероятностью разрушения объекта контроля. Одним из путей

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки	
«Удмуртский федеральный исследовательский центр	
Уральского отделения Российской академии наук»	
Вх. №	1604
Дата	26.12.2011

решения данной проблемы может быть выбранный в настоящей диссертационной работе подход определения степени опасности источника и слежения за ним после распознавания его вида и оценки масштабности по данным АЭ, что также подтверждает актуальность выбранной темы исследований и перспективность её дальнейшего развития. Поскольку обеспечение раннего обнаружения развивающегося дефекта подразумевает анализ всего массива данных АЭ, то весьма важным является переход на концепцию беспорогового обнаружения источников АЭ, которая в настоящее время находится на начальной стадии своего развития.

В связи с отмеченным выше тема диссертационной работы Игоря Анатольевича Растегаева, направленная на разработку новых беспороговых методов и средств повышающих вероятность обнаружения и надежность оценки опасности источников сигналов непрерывного вида является актуальной и затрагивающей широкий круг проблем науки и техники.

## **2. Краткий обзор диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и восьми приложений. Список цитируемой литературы включает 261 источник. В приложениях приведены результаты исследования: чувствительности пяти частотно-временных преобразований; оригинального АЭ волновода; преобразователя АЭ повышенной надежности. Приведены также четыре акта внедрения результатов выполненных исследований; копии пяти патентов РФ на изобретение; подтверждение соответствия разработанного измерительного АЭ канала по взрывозащите и диплом призёра салона инноваций РОНКТД. Общий объем диссертации без титульного листа, содержания, списка литературы, списка сокращений и приложений составляет 260 страниц. Диссертация Растегаева И.А. по классификации «Положения о присуждении ученых степеней» выполнена в виде отдельного труда. Оформление диссертационной работы соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

В введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены основные результаты и положения диссертационной работы.

В первой главе по данным российских и зарубежных литературных источников представлен современный технический уровень и области промышленного применения метода АЭ, а также обозначены перспективы и проблемы сдерживающее его развитие, внедрение и повышение качества получаемых результатов. Литературный обзор проведен в достаточном объёме и подтверждает необходимость градации непрерывной АЭ более детальной, чем принятая в документе ПБ 03-593-03, где выделено только два класса непрерывной АЭ: регистрируется и не регистрируется сигнал АЭ.

Во второй главе представлено теоретическое обоснование и общее описание предложенного в работе беспорогового спектрально-временного метода анализа источников сигналов АЭ непрерывного типа. Выявлены его преимущества, разработаны меры по снижению его ограничений с учетом которых проведена теоретическая оценка повышения вероятности обнаружения источников АЭ по сравнению со стандартной схемой амплитудной дискриминации. Описаны необходимые исходные данные и разработаны способы их получения для реализации предложенного метода при контроле промышленного оборудования.

В третьей главе приведено теоретическое обоснование выбора способов и алгоритмов реализации в АЭ системе. В результате было выбрано: пять алгоритмов частотно-временного преобразования; два алгоритма шумоподавления; три алгоритма разделения АЭ на классы; девятнадцать основных и двенадцать вспомогательных информативных параметров оценки сигналов непрерывного типа в амплитудной и частотной областях для условий беспороговой регистрации АЭ, а также модифицирован один алгоритм локации и предложены два алгоритма оценки класса опасности АЭ источников сигналов непрерывного типа.

В четвертой главе описываются: материалы, образцы, средства и методики исследования с помощью которых проводилась лабораторная и практическая апробация и

оценка работоспособности разработанного метода обнаружения трибологических и гидродинамических источников. Следует выделить, что в работе разработанным методом обрабатывались данные полученные при использовании пяти АЭ систем (трех исследовательских и двух промышленных), что подтверждает его универсальность.

В пятой главе приведены результаты экспериментального выбора алгоритмов, которые вошли в программный комплекс экспериментальной АЭ системы и непосредственно использовались при практической апробации разработанного метода. Выбор алгоритмов основывался на результатах оценки их чувствительности к сигналам непрерывного типа от трибологических источников. Всего проведено и описано: пятнадцать результатов исследования алгоритмов частотно-временных преобразований; восемнадцать результатов исследования сочетаний применения алгоритмов шумопонижения с алгоритмами кластеризации АЭ данных; два результата исследования алгоритмов оценки степени опасности АЭ источников непрерывного типа.

В шестой главе приведены результаты апробации и подтверждения работоспособности предложенного метода для решения четырех принципиально разных практических задач, а именно: для раннего обнаружения схватывания и задира поверхностей шарикового узла трения-скольжения; для обнаружения усталостных трещин по сигналам АЭ от трения берегов и АЭ ранжирования по поврежденности материала цапф сушильных цилиндров бумагоделательной машины; для повышения точности локализации места течи в резервуаре хранения щелочи и поддержания режима обеззараживания смазочно-охлаждающей жидкости в роторной установке.

В седьмой главе описаны технические средства, разработанные для реализации предлагаемого метода, которые представляют собой комплексное и законченное техническое решение, включающее: экспериментальный программно-аппаратный комплекс; взрывозащищенные преобразователи повышенной надежности; универсальный акустический волновод; стенд для получения исходных данных ориентированный на ёмкостное технологическое оборудование химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств.

В заключении диссертационной работы кратко сформулирован основной порядок выполнения работы, обозначена взаимосвязь между этапами ее выполнения и выделены основные результаты исследований.

### **3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Научные положения и полученные в работе выводы и рекомендации в достаточной мере обоснованы аналитически с использованием теории сигналов, теории распространения акустических и тепловых полей, теории надежности технических средств, а также статистических и вероятностных методов оценки результатов экспериментальных исследований. Полученные аналитические выводы и закономерности в достаточном объеме подтверждены экспериментально на лабораторных и реальных (промышленных) объектах пяти видов путем сопоставления с результатами полученных на АЭ системах четырех типов использующих стандартный амплитудный пороговый метод обнаружения сигналов и алгоритм локации по разности времен прихода.

### **4. Научная новизна и достоверность полученных результатов**

В рамках работы впервые теоретически обоснован и экспериментально апробирован новый беспороговый иерархический спектрально-временной метод обнаружения источников непрерывной АЭ и комплекс аппаратно-программных средств для его реализации. В рамках реализации разработанного метода новизной обладают: методика анализа АЭ данных на трех временных интервалах оценки; методика получения исходных данных путем имитации основных механизмов повреждения материала непосредственно на объекте контроля без его разрушения; установленные параметрические АЭ образы и спектрально-временные закономерности проявления следующих механизмов повреждений: задира поверхностей трения, трения берегов усталостной трещины, вихревого течения жидкости в камере, а также подходы компенсации потери

работоспособности преобразователя АЭ в антенной группе и повышения теплорассеивающих характеристик волновода с минимизацией акустических потерь в сигнале при его распространении через волновод с рассеивателями тепла.

В теоретических исследованиях использованы апробированные физические и математические методы и алгоритмы. При исследовании работоспособности разработанных Растегаевым И.А. методов и средств использованы хорошо изученные и проверенные материалы, методы и средства проведения исследований и испытаний. Результаты анализа данных АЭ с использованием разработанного метода сопоставлены: с параметрическими данными стандартных средств и методик испытаний, результатами параллельного анализа тех же акустических данных с помощью известных и апробированных АЭ систем, а также с известными литературными источниками. Критического расхождения при сопоставлении экспериментальных и литературных данных нет. Уровень надежности при оценке всех результатов исследований по методу Стьюдента принимался 0,95. В связи с обозначенной достоверностью полученных результатов и выводов сомнений не вызывает.

### **5. Практическая и теоретическая значимость**

Практическая значимость диссертационной работы состоит в проработке предложенных технических и алгоритмических решений вплоть до практической их реализации, что уже сегодня делает возможным использования следующих полученных в работе технических решений: способ локации источников непрерывной АЭ; способ идентификации АЭ от основных источников повреждения промышленного оборудования; способ верификации результатов работы алгоритмов обнаружения АЭ источников сигналов непрерывного типа; способ диагностики динамического промышленного оборудования; способ управления работой роторных перемешивающих устройств по АЭ данным; способ анализа и сопоставления хронологии разрушения узлов трения-скольжения; методика оценки поврежденности материала цапф сушильных цилиндров картоноделательных машин; конструктивное исполнение преобразователя АЭ повышенной надежности и универсального АЭ волновода.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что ее результаты являются научной базой для создания методик, приборов и систем, ориентированных на регистрацию и анализ АЭ от источников сигналов непрерывного типа, перечень которых не ограничивается трибологическими и гидродинамическими процессами и явлениями.

Если в методе АЭ при выявлении дефектов материалов используются одни подходы, то в данной работе при исследовании АЭ ряда процессов диссертант разработал подходы, которые в большой мере являются пионерскими в данной области. Поэтому можно согласиться с автором, что в разделе «Научная новизна работы» все позиции соответствуют определению: впервые.

### **6. Публикация и апробация результатов работы**

Основные результаты диссертационной работы отражены в сорока восьми публикациях из которых двадцать две в изданиях, в которых согласно «Положения о присуждении ученых степеней» должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора наук, одна в коллективной монографии и пять в патентах на изобретение РФ, фиксирующих авторство соискателя по ключевым результатам определяющих новизну и практическую значимость работы.

Результаты диссертационной работы докладывались на двадцати всероссийских и международных конференциях, соответствующих профилю и тематике работы.

### **7. Замечания по работе**

7.1. На стр. 29 автор пишет: «имеем принципиальную и физически обоснованную возможность решения ... обратной задачи: путем расшифровки ... АЭ-информации судить о происходящих в материалах и веществах ... процессах». Представляется, что обратная задача для АЭ-процесса в техническом устройстве некорректна. Однако, по параметрам АЭ

можно судить о состоянии конструкции. Обратная задача для АЭ диагностирования должна быть исследована отдельно.

7.2. На с.55 приведено: «...сегодня центральное место при обработке АЭ данных занимает спектральный анализ». Это не вполне точно, поскольку кроме параметров спектра АЭ сигнала необходимо получать параметры самого сигнала для включения их в критерии оценки источников АЭ и состояния объекта.

7.3. В выводах по Главе 1 написано: «1. Метод АЭ единственный метод неразрушающего контроля, который позволяет классифицировать источники по степени их опасности для объекта контроля. Этот вывод не вполне точен. В настоящее время знание параметров дефекта, полученное, например, при ультразвуковом контроле, позволяет оценить вероятность разрушения объекта. Т.е. это информация о степени опасности дефекта. В 3-ем выводе Главы 1: «...в основу исследований следует положить спектральный анализ АЭ данных». С этим выводом нельзя согласиться. Во временной зависимости сигнала АЭ содержится больше информации о параметрах источника АЭ.

7.4. На с.109: «возникновение шумоподобной АЭ связано с наложением сигналов от нескольких одновременного действующих источников». Это неточно. Сигнал АЭ даже от одного источника непрерывной АЭ шумоподобен по природе.

7.5. В выводах по главе 6 сказано: «Учет спектральных особенностей источников АЭ позволил в 3 раза (на 49%) увеличить вероятность обнаружения схватывания поверхностей трения». Увеличение в 3 раза соответствует увеличению на 150%.

7.6. С сожалением приходится отметить опечатки и неудачные выражения, которые режут глаз, например: «С точки зрения метода акустической эмиссии» (стр.6); «метод анализа сигналов акустической эмиссии за счет обработки диагностических данных» (Стр.12) и ряд других.

## **8. Общая оценка и заключение по рассмотренной работе**

Диссертационная работа является законченным научно-исследовательским трудом. Работа выполнена автором на высоком научном уровне и доведена до практической реализации. Особенно важным является вывод по Главе 3: «Впервые разработаны критерии оценки класса опасности шумоподобных источников в беспороговом режиме регистрации АЭ.» (с.132), Полученные в работе результаты обоснованы в достаточном объеме. Можно порекомендовать автору трансформировать «Экспериментальный образец интеллектуальной системы мониторинга» в промышленную систему диагностирования.

Рецензируемая работа является первым квалифицированным и глубоким исследованием высокого уровня источников АЭ, излучающих шумоподобную, непрерывную АЭ. В работе впервые предложены алгоритмы классификации источников шумоподобных сигналов АЭ на 4 уровня, что позволяет получить информацию о состоянии диагностируемого объекта с оптимальной достоверностью. Можно только порекомендовать автору начать разработку методических документов для широкого использования результатов работы в промышленности. Учитывая сказанное, можно констатировать, что автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, оформление соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

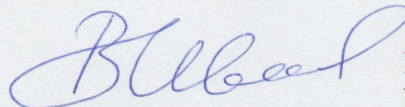
Несмотря на отмеченные недостатки по своей актуальности, научной новизне, объёму исследований и практической значимости диссертационная работа «Методы и средства обнаружения шумоподобных сигналов источников акустической эмиссии трибологической и гидродинамической природы на основе иерархического беспорогового спектрально-временного анализа» соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (редакция от 26.09.2022 г.), предъявляемых к докторским диссертациям, а её автор Растегаев Игорь Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени доктора

технических наук по специальности 2.2.8. «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки)».

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело и их дальнейшую обработку, а также на размещение моего отзыва на сайте объединённого диссертационного совета 99.0.077.02 (Д 999.230.02).

Дата составления отзыва «11 » декабря 2022 года.

Официальный оппонент  
доктор технических наук, профессор,  
главный научный сотрудник  
ЗАО «НИИИ МНПО «Спектр»



Иванов  
Валерий  
Иванович

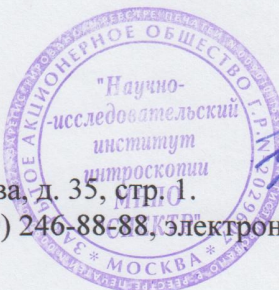
Докторская диссертация по специальности 05.02.11 «Методы контроля и диагностика в машиностроении».

Место работы: Закрытое акционерное общество "Научно-исследовательский институт интроскопии МНПО "Спектр".

Адрес: 119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1.

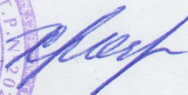
Телефон: +7-906-043-11-94, электронная почта: [ivi444@mail.ru](mailto:ivi444@mail.ru), сайт: <http://www.niirn.ru>

Подпись В.И. Иванова заверяю  
Инспектор  
ЗАО «НИИИ МНПО «Спектр»



Адрес: 119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1.

Тел./Факс: +7(499) 245-56-56/+7(499) 246-88-88, электронная почта: [niin@spekrt-group.ru](mailto:niin@spekrt-group.ru)



Л.Ф. Храмцова