

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертационную работу Соболева Ильи Александровича
«Разработка бортового комплекса мониторинга целостности конструкции
авиационной и космической техники методом акустической эмиссии»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 1.3.7 «Акустика»

Общие сведения о диссертации. Диссертационная работа Соболева Ильи Александровича на тему: «Разработка бортового комплекса мониторинга целостности конструкции авиационной и космической техники методом акустической эмиссии» соответствует паспорту научной специальности 1.3.7 – Акустика в части пункта 2 «Акустическая диагностика и неразрушающий контроль в транспорте и строительстве; акустический мониторинг зданий и конструкций».

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы (включает 115 наименований) и 1 приложения. Работа изложена на 160 страницах машинописного текста, содержит 77 рисунков и 15 таблиц. Результаты диссертационного исследования опубликованы в научных изданиях и тематических сборниках научных трудов по материалам конференций. По тематике диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 2 работы опубликованы в международной наукометрической базе Web of Science и Scopus, 5 работ - в рецензируемых журналах, входящих в Перечень ведущих научных журналов и изданий ВАК Минобрнауки РФ, два из них в журналах уровня K2 из перечня ВАК по научной специальности 1.3.7 – Акустика. Основные положения диссертационного исследования опубликованы в двух научных работах по специальности 1.3.7 в изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций.

Актуальность темы. Метод акустической эмиссии нашел широкое применение при техническом диагностировании сосудов, аппаратов и трубопроводов на опасных производственных объектах. Метод позволяет безопасно заменить гидравлические испытания на пневматические и обеспечивает контроль объекта даже под слоем теплоизоляции. Широкое распространение метода акустической эмиссии связано с его интегральностью — контролем объекта несколькими неподвижно установленными преобразователями — и высокой

БГТУ «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф.Устинова
Вх. № 81-269-17
от 18.09.2026

чувствительностью к наиболее опасным развивающимся дефектам.

Современным направлением развития систем непрерывного мониторинга авиационных и космических аппаратов в реальном режиме времени является применение акустической эмиссии. Метод позволяет не только обнаружить развитие дефектов на ранних стадиях, но и определить их координаты и оценить степень их опасности без вывода объекта из эксплуатации. Развитие научных основ этой технологии является актуальной задачей, решение которой позволит оптимизировать затраты на жизненный цикл объекта за счет перехода на ремонт по фактическому состоянию и снижения вероятности внезапных отказов и, следовательно, аварий, крушений и катастроф.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций определяются применением разных типов испытаний образцов (одноосное растяжение до разрушения, циклические испытания без концентратора и с концентратором), комиссионными испытаниями прототипа акустико-эмиссионного комплекса, сравнением полученных результатов с опубликованными результатами других авторов, использованием в качестве основы для разработки алгоритмов локации известных и общепризнанных алгоритмов поиска минимума функции нескольких переменных.

Научная новизна диссертационной работы заключается в экспериментально установленных закономерностях изменения потоковых характеристик сигналов акустической эмиссии при статическом и циклическом нагружении образцов из сплава АМгб с нанесенным концентратором напряжений, а также в теоретическом обосновании способа локации источников дискретной акустической эмиссии численным решением обратной задачи о распространении акустических импульсов от источника до приемных преобразователей.

Практическая значимость диссертации заключается в доказательстве возможности обнаружения и локации усталостных трещин в образцах из сплава АМгбНОП при пневматических испытаниях и при механическом циклическом нагружении образцов. Практическая направленность полученных в работе результатов подтверждается актами внедрения в ФГУП ВНИИМ и у производителя акустико-эмиссионных систем ООО «НДТ-системы».

Теоретическая значимость работы связана с развитием способов локации источников акустической эмиссии избыточным количеством преобразователей на основе численного решения обратной задачи, что расширяет возможности метода для исследования объектов сложной формы.

Оценка содержания диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Изложение последовательно, структура логичная.

Во введении автор обосновывает актуальность темы исследования, формулирует цель и задачи работы, указывает объект и предмет исследования, отражает положения, выносимые на защиту, приводит научную новизну, теоретическую и практическую значимость работы. Автор приводит сведения о личном вкладе, публикациях и апробации работы.

В первой главе описан проведённый аналитический обзор литературы, методов и средств неразрушающего контроля, нормативной документации по тематике способов, требований и методик применения методов неразрушающего контроля для оценки технического состояния, эксплуатационных характеристик авиационной и космической техники. Рассмотрена специфика применения метода акустической эмиссии, проанализированы базы патентного фонда и научно-техническая литература. Описаны общие закономерности возникновения акустической эмиссии внутри материала, описана специфика проведения контроля. По результатам аналитического обзора показано отсутствие бортовых систем мониторинга целостности авиационных и космических аппаратов на базе метода акустической эмиссии. В конце главы автор четко формулирует научную проблему, формулирует цель и задачи исследования.

Во второй главе описаны экспериментальные исследования по выявлению закономерностей изменения параметров акустической эмиссии при статическом растяжении и циклическом нагружении образцов из сплава АМгб. Автором проведен детальный анализ, выявлены ключевые закономерности процессов трещинообразования для сплава АМгб. Описанные результаты позволили перейти к разработке алгоритма, позволяющего определять координаты источников сигналов акустической эмиссии, и методики применения результатов

исследования.

В третьей главе описывается решение задачи по определению координат источника АЭ. Автор проанализировал и провел теоретический анализ следующих методов поиска: одномерного поиска, сопряженных направлений Пауэлла, Ньютона, Флетчера – Ривса и Дэвидона – Флетчера – Пауэлла. Анализ показал преимущества последнего метода, по сравнению с аналогами, и на его основе была разработана математическая модель развития трещин и алгоритм расчета координат источника сигнала акустической эмиссии, который состоит из четырех шагов.

В четвертой главе описаны испытания программного-аппаратного комплекса с внедренными результатами исследования на производственной базе ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева». Автором описано, что натурные исследования подтвердили возможность обнаружения и локализации утечек воздуха с погрешностью не более 15%, а также локализации ударных трещин с погрешностью не более 10%. В главе описаны схемы расстановки антенн для отсеков модулей Российской орбитальной станции, предложены практические рекомендации по реализации бортового диагностического комплекса. Автор описывает результаты внедрения программно-аппаратного комплекса, как элемента постоянного мониторинга состояния конструкций космических аппаратов ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева (протокол №1 от 26 апреля 2024 г., программа-методика №1-082-24 от 15.05.24 г., техническое задание на выполнение составной части опытно-конструкторской работы «Средства мониторинга технического состояния конструкции»).

В заключении автор формулирует основные научные и практические результаты работы, которые подтверждают достижение поставленной цели и задач работы.

Вопросы и комментарии, требующие пояснения:

1. Соискатель утверждает «Для алюминия скорость акустических волн составляет ~3000–6300 м/с (в зависимости от сплава)». При этом автор не уточняет, о каких волнах идет речь — продольных, поперечных, поверхностных или волнах Лэмба.

2. Из текста диссертации и подписей рисунков 2.16 и 2.26 непонятны формы и размеры концентратора напряжений.

3. Из текста диссертации непонятно, как использовались способы поиска минимума функции, описанные в главе 3, и были ли они реализованы в программном обеспечении или остались на уровне теоретической модели.

4. Чем обеспечивается достоверность проверки прототипа программно-аппаратного комплекса при наличии всего двух образцов с дефектами: одного — для пневматических испытаний, второго — для циклических механических испытаний?

5. В тексте содержатся несогласованные предложения и предложения с нарушениями научно-технического стиля и с субъективными оценками: «от наличия трещин в материале образцов...» не согласуется с предыдущим текстом, «рост величины сигналов у зависимости» содержит нестандартизированный термин «величина сигналов», «можно характеризовать низкой интенсивностью АЭ» содержит субъективную оценку, так как непонятно, по сравнению с чем интенсивность является низкой, а термин «интенсивность» недопустим; «зависимости амплитуды от импульса...», «график более выпуклый...», «от режима работы аппараты...», «длине образца 170 мкс...».

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней. Работа обладает научной новизной, практической и теоретической ценностью. По актуальности, объему и содержанию теоретических и экспериментальных исследований данная работа в целом соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация по специальности 1.3.7 Акустика на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным Положением о присуждении ученых степеней (пп. 9-14), а ее автор, Соболев Илья Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.7 Акустика.

Официальный оппонент Бехер Сергей Алексеевич
доктор технических наук 05.11.13 — Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, доцент, заведующий кафедрой «Физика,

электротехника, диагностика и управление в технических системах» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск.

Я, Бехер Сергей Алексеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Дата составления отзыва «11» сентября 2026 года

Официальный оппонент:

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Физика, электротехника,
диагностика и управление в технических
системах»,
заведующий научно-исследовательской
лабораторией «Физические методы контроля
качества»

Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Сибирский государственный
университет путей сообщения»

Бехер
Сергей
Алексеевич

Бехер Сергей Алексеевич – доктор технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий». Диплом доктора наук №12 от 03.10.2017 г., ДНД №005264 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, д. 191 Тел. +7-913-914-42-27; e-mail: behers@mail.ru

Подпись С.А. Бехера заверяю:

Зав. отд. диссерт. сб.

Третьяков ОА

