

Утверждаю

Исполняющий обязанности директора

ФГБУН Институт машиноведения

им. А.А. Благонравова

Российской академии наук

д.т.н. А.В. Рагуткин

09 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук (ИМАШ РАН)
Малый Харитоньевский пер., д. 4, Москва, 101000
03.09.2026 № 11503/6-688
на № _____ от _____



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Кутузова Никиты Анатольевича «Разработка методов пространственной обработки случайных сигналов в приложении к задаче локализации источников вибрации с использованием конечно-элементного моделирования», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика (физико-математические науки), доп. специальности 1.3.7. – Акустика (физико-математические науки).

Актуальность темы исследования

Задача о локализации источников звуковых и вибрационных полей – одна из наиболее часто решаемых в акустике и теории механических колебаний. Потребность в ее решении естественно возникает при исследованиях практически во всех отраслях акустики – в гидроакустике, геоакустике, виброакустике. Она также хорошо известна в смежных областях физики, где энергия переносится волнами различной физической природы – в радиофизике, электродинамике, квантовой механике и др. Круг практически решаемых задач, где требуется локализация источников, также очень широк – это радио- и звуколокация, мониторинг различных сред и структур, диагностика состояния технических объектов, снижение шума и вибраций в промышленности и на транспорте и многие другие. Неудивительно, что уже создано большое число различных методов, в том числе и в акустике. Однако если не считать некоторые простейшие случаи, задача локализации источников звука и вибраций пока не имеет удовлетворительного для практики решения из-за малой точности существующих методов.

Фундаментальная причина трудности решения этой обратной задачи ясна – она принадлежит к классу математически некорректных по Адамару задач и потому чрезвычайно чувствительна к различного рода неточностям,

погрешностям и помехам. Трудности многократно возрастают, когда речь идет об источниках вибраций типа машин и механизмов из-за их чрезмерной сложности и малоизученности, и именно этой задаче посвящена диссертация Кутузова Никиты Анатольевича. Поэтому актуальность представленной диссертационной работы не вызывает сомнения.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 104 страницы, 44 рисунка и 4 таблицы.

Во введении дан обзор существующих методов локализации, отмечены общие достоинства и недостатки основных применяемых методов. Особое внимание уделено анализу возможных ошибок методов, вызванных зашумленностью сигналов, неточностями конечно-элементного моделирования, размещения датчиков. Указаны цели и задачи работы, основные полученные результаты, их новизна, научная и практическая значимость.

Глава 1, по существу, продолжает Введение и более детально описывает разработанный автором метод локализации одного источника вибраций. Метод основан на измерении вибрационного поля в нескольких контрольных точках конструкции и на их сопоставлении методом максимального правдоподобия с результатами пространственного конечно-элементного моделирования и его верификации, а также оптимальной обработки сигналов. Проведено подробное исследование эффективности метода на численном моделировании и в целом ряде экспериментов на упругих конструкциях, близких к реальным. Оптимизированы и уточнены основные параметры метода.

Особо следует подчеркнуть, что отдельные аспекты разработанного метода были известны ранее, например, принцип максимального правдоподобия или пространственное моделирование полей, и частично использовались в других методах локализации источников. Однако проведя тщательное исследование в рамках диссертационной работы, автор сумел найти оптимальное сочетание этих и других важных аспектов как составных частей метода и получить для него *качественно новые свойства*, приведшие в результате к существенному повышению точности и, как следствие, к практической работоспособности метода в условиях сложных инженерных конструкций.

В главе 2 решена новая задача локализации нескольких виброисточников, ранее почти не исследованная. Для этого использовался модифицированный метод MUSIC, разработанный в ИПФ РАН. Показана принципиальная возможность локализации нескольких одновременно работающих источников вибрации.

В главе 3 исследован один из наиболее важных аспектов метода локализации, определяющий его точность – влияние числа и расположения

датчиков, точности измерения и соответствия с результатами конечно-элементного прогноза. Предложен новый алгоритм проекционного типа для обнаружения аномальных отклонений различного типа в показаниях приемников, эффективность которого была продемонстрирована на задаче локализации одного и двух источников вибрации при разных типах аномальностей. Показано также, что эффективность алгоритма высока и при решении других актуальных задач акустики, в частности, задачи диагностики микрофонной решетки.

Обращает на себя внимание обширный объем экспериментальной работы, который был сделан автором для подтверждения эффективности и надежности предложенного метода, что является, несомненно, большим достоинством диссертационной работы.

В **заключении** изложены основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Научная новизна диссертационной работы.

1. Разработан (предложен, научно обоснован, экспериментально проверен) новый метод локализации источников вибрации в инженерных конструкциях, обладающий повышенной точностью по сравнению с имеющимися методами.

2. Предложен и апробирован вариант известного метода MUSIC решения задачи локализации нескольких одновременно работающих источников вибраций.

3. Разработан эффективный алгоритм проекционного типа, позволяющий находить аномалии различного типа в показаниях приемников вибраций (вибродатчиков) и минимизировать их влияние на решение задачи локализации.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Все три положения, выносимые на защиту, обоснованы. Метод локализации единственного источника выведен непосредственно из принципа максимума правдоподобия для принятой модели сигнала. Целевая функция модифицированного метода MUSIC получена аналитически из общего выражения этого метода. Проекционный алгоритм обнаружения аномальных вибродатчиков проверен по трем сценариям моделирования, в эксперименте с реальной конструкцией и, дополнительно, в самостоятельной задаче диагностики микрофонной антенной решетки. Используемые методы статистической радиофизики, теории матриц и конечно-элементного моделирования являются общепринятыми и применены корректно. Обоснованность подкрепляется объемом и качеством экспериментального материала. Испытания проведены на механоакустических конструкциях при разных положениях и разном числе источников, при разном числе вибродатчиков и частотных полос, а также с использованием нескольких конечно-элементных моделей. Результаты расчетов и

экспериментов согласуются между собой и не противоречат известным положениям радиофизики и акустики. Дополнительным подтверждением работоспособности предложенных методов служит их реализация в программном обеспечении САТЕС и практическое использование при решении задач акустической диагностики.

Достоверность результатов диссертации, а также сформулированных в ней положений и выводов подтверждается экспериментальной проверкой разработанных методов и сопоставлением с результатами, полученными существующими методами. Результаты диссертации не противоречат имеющимся в литературе теоретическим и экспериментальным данным.

Теоретическая и практическая значимость, рекомендации по использованию результатов. Значимость работы заключается в возможности применения разработанных методов и других результатов на многих реальных промышленных установках и на транспорте. Работа развивает методы пространственной обработки случайных сигналов применительно к обратным задачам виброакустики и в этой части вносит вклад в развитие радиофизики и акустики. Результаты работы использованы при разработке программного обеспечения САТЕС, предназначенного для акустического проектирования и диагностики техники. Их рекомендуется использовать при вибрационной и акустической диагностике машин, механизмов и сложных инженерных конструкций для определения местоположения источников повышенной виброактивности, а также при проведении многоканальных виброакустических измерений — для автоматического выявления неисправных датчиков и измерительных каналов. Результаты могут быть востребованы в организациях судостроительной, авиационной и энергетической отраслей.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация посвящена разработке экспериментальных методов исследования и обработки сигналов источников упругих колебаний широкого класса инженерных конструкций и может быть использована во множестве приложений радиофизики и акустики.

Публикации и апробация. Результаты диссертации в полной мере отражены в 3 публикациях, включенных в базы данных Web of Science, Scopus и перечень ВАК, в 6 публикациях по материалам докладов на научных конференциях и свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ. Полученные в диссертационной работе результаты докладывались на 7 представительных научно-технических конференциях.

По диссертационной работе имеется **несколько замечаний.**

1) Одно из замечаний касается моделирования вибрационного поля сигналов, описываемых формулой (1.1) главы 1 на стр. 21. Эта модель сигнала

верна, как нетрудно показать, только для точечного силового источника. Похожая формула будет, скорее всего, также и для точечного кинематического источника. Однако она неверна для источников конечных размеров, какими являются реальные источники вибраций (в диссертации говорится о машинах и механизмах). Для протяженного источника зависимость поля вибраций от координат места его установки значительно усложняется, а применение теоремы взаимности также не очевидно. В описанных в диссертации лабораторных экспериментах в качестве источников использовались пьезоэлектрические возбудители, которые можно считать точечными. Так что сомнений в правильности используемой модели не возникает.

Однако при проведении будущих натурных экспериментов на машинах и механизмах их моделирование точечными источниками может вызвать дополнительное рассогласование теории и эксперимента и увеличение ошибок метода. Поэтому в дальнейшем развитии полученных в диссертации результатов может потребоваться разработка более точных моделей сигналов, основанных на более сложных и адекватных моделях источников вибраций.

2) Во Введении диссертации и в автореферате в разделе «Научная новизна диссертационной работы» написано: «1. На основе принципа максимума правдоподобия разработан ранее не применявшийся метод локализации единственного виброисточника... Показано, что разработанный метод обладает меньшими погрешностями оценок параметров виброисточника (местоположение и ориентация), в сравнении с известными методами». Эта формулировка не вполне точна. Метод, предложенный в диссертации, состоит из нескольких составных частей. Помимо принципа максимума правдоподобия, в нем используются пространственная обработка сигналов, конечно-элементное моделирование, другие современные методы обработки сигналов. Все они дают свой отдельный и совместный вклад в результирующую точность разработанного в диссертации метода. Кроме того, «честного» сравнения с известными методами, т.е. сравнения в одинаковых условиях, насколько можно понять, в диссертационной работе не проводилось.

3) Ряд ключевых параметров предложенного в главе 3 алгоритма (порог критерия CPV, конкретный вид функции отбора (3.3), множитель в пороговом правиле (3.5)) выбран, по указанию самого автора, произвольно. Желательно привести обоснование их выбора или анализ чувствительности результатов к этим параметрам.

4) Номера сессий Российского акустического общества в разделе «Апробация результатов» содержат неточности.

5) Совпадают ссылки [26] и [71] в списке литературы.

6) В п. 2.2 при указании взаимных положений пары виброисточников дана ссылка на рисунок 2.3, тогда как положения источников показаны на рисунке 2.2.

7) Имеется расхождение в описании одного и того же эксперимента в главах 2 и 3, хотя в главе 3 прямо указано, что условия те же: мощность второго источника в положении II – 3,5 дБ / 10 дБ; длительность сигнала – 2 / 2,5 мин. Расхождение требует уточнения.

8) В тексте встречается ряд опечаток, в том числе: повтор слов в подписи к рис. 1.3; «коэффициента» вместо «коэффициента»; «методов, описанные в предыдущих главах», «а чем на других», «в трех направления» (п. 3.1–3.2); «принципа», «упрощенной модификации» вместо «модификацией» (Заключение); опечатка в фамилии научного руководителя в тексте благодарности («Родинову» вместо «Родионову»); «конечно-элементного моделирование» в расшифровке аббревиатуры КЭМ.

Приведенные замечания не влияют на высокую оценку диссертации в целом и на обоснованность положений, выносимых на защиту, а носят рекомендательный характер.

Итоговый вывод. Исследование выполнено на высоком научно-техническом уровне, решает актуальные задачи радиофизики и акустики. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей специальности 1.3.4. – Радиофизика (физико-математические науки), пп. 4, 5 направлений исследований специальности, доп. специальности 1.3.7. – Акустика (физико-математические науки), пп. 10, 11 направлений исследований специальности.

Автором разработаны методы локализации источников вибрации в сложных механоакустических конструкциях на основе пространственной обработки случайных сигналов, принципа максимального правдоподобия и конечно-элементного моделирования.

Научные результаты, представленные к защите, являются новыми. Они достаточно полно опубликованы в научной литературе и представлены на ведущих научно-технических конференциях. Автореферат корректно отражает содержание диссертации.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что диссертационная работа «Разработка методов пространственной обработки случайных сигналов в приложении к задаче локализации источников вибрации с использованием конечно-элементного моделирования» полностью удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата

физико-математических наук, а ее автор, Кутузов Никита Анатольевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика (физико-математические науки), доп. специальности 1.3.7. – Акустика (физико-математические науки).

Диссертационная работа Кутузова Н.А. и настоящий отзыв, составленный доктором физико-математических наук Бобровницким Юрием Ивановичем и кандидатом технических наук Карповым Иваном Андреевичем, обсуждались на заседании научно-технического совета отдела теоретической и прикладной акустики ИМАШ РАН 13 августа 2026 г. (протокол № 1/26) и получили положительную оценку.

Отзыв составили:

Заведующий отделом теоретической
и прикладной акустики ИМАШ РАН,
д.ф.-м.н. по специальности
01.04.06 – Акустика,
выпускник МФТИ
по специальности
«Радиофизика и акустика»


03.09.2026

Бобровницкий Юрий Иванович

М.н.с. ИМАШ РАН,
к.т.н. по специальности
1.1.7. – Теоретическая механика,
динамика машин,
выпускник МГУ
имени М.В. Ломоносова
по направлению 03.04.02 «Физика»


03.09.2026

Карпов Иван Андреевич

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН).

Подразделение, ответственное за отзыв: Отдел теоретической и прикладной акустики.

Почтовый адрес: 101000, г. Москва, Малый Харитоньевский пер., д. 4.

Телефон: +7 (495) 628-87-30

Электронная почта: info@imash.ru

Я, Бобровницкий Ю.И., даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Кутузова Н.А. и их дальнейшую обработку.

Я, Карпов И.А., даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Кутузова Н.А. и их дальнейшую обработку.

ПРОТОКОЛ № 1/26

заседания научно-технического совета

«13» августа 2026 г.

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

Зав. отделом Бобровницкий Ю.И., н.с. Пономарёва С.Н., м.н.с. Карпов И.А.,
м.н.с. Лысенко А.М., вед. инженер Бахтин Б.Н.

ПОВЕСТКА:

Отзыв ведущей организации ИМАШ РАН на диссертационную работу Кутузова Никиты Анатольевича «Разработка методов пространственной обработки случайных сигналов в приложении к задаче локализации источников вибрации с использованием конечно-элементного моделирования», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика (физико-математические науки), доп. специальности 1.3.7. – Акустика (физико-математические науки).

СЛУШАЛИ:

Диссертационную работу Кутузова Никиты Анатольевича «Разработка методов пространственной обработки случайных сигналов в приложении к задаче локализации источников вибрации с использованием конечно-элементного моделирования» и представление проекта отзыва ведущей организации ИМАШ РАН.

В ОБСУЖДЕНИИ ПРИНЯЛИ УЧАСТИЕ:

Бобровницкий Ю.И., Карпов И.А., Бахтин Б.Н.

ПОСТАНОВИЛИ:

Признать, что диссертационная работа «Разработка методов пространственной обработки случайных сигналов в приложении к задаче локализации источников вибрации с использованием конечно-элементного моделирования» полностью удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Кутузов Никита Анатольевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика (физико-математические науки), доп. специальности 1.3.7. – Акустика (физико-математические науки).

Заведующий отделом



Ю.И. Бобровницкий

Ученый секретарь



С.Н. Пономарёва