

## ОТЗЫВ

официального оппонента Комкина Александра Ивановича  
на диссертационную работу Ершова Виктора Валерьевича  
«Разработка новых алгоритмов настройки плоских микрофонных антенн для  
эффективной локализации источников звука монопольного и дипольного типа»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 1.3.7 – Акустика

### **Актуальность темы диссертации**

Авиационный шум относится к числу основных факторов акустического загрязнения окружающей среды. Поэтому снижению шума самолетов уделяется очень большое внимание. В настоящее время происходит постоянное ужесточение международных норм ИКАО по шуму самолетов на местности. Для эффективной борьбы с шумом самолетов требуется знать акустические характеристики отдельных источников, входящих в суммарный шум самолета. Требуется оценивать степень значимости каждого источника шума с целью определения наиболее существенных источников, что невозможно получить с помощью стандартных измерений.

Для таких задач часто используются плоские микрофонные антенны. Наиболее часто встречаются системы локализации с монопольными методами обработки, что не позволяет описать весь круг задач, возникающих при исследовании авиационного шума. В аэроакустике часто приходится встречаться с источниками другого типа, например, шум обтекания имеет дипольный характер. Существующие методы настройки микрофонных антенн также основаны на монопольном представлении источника звука. Очевидно, что для источников звука, имеющих другой характер, требуются специальные алгоритмы настройки. Таким образом, можно заключить, что данная диссертационная работа, направленная на создание микрофонной антенны и способов её настройки на источники монопольного и дипольного характера, является весьма актуальной.

### **Анализ содержания диссертации**

Объем диссертационной работы составляет 130 страниц и состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы из 123 наименований.

**В первой главе** содержится подробный обзор применения микрофонных антенн в аэроакустических исследованиях, опирающийся на опыт их создания и эксплуатации в ведущих отечественных и зарубежных научных центрах. Приведен подробный анализ особенностей применения в акустических измерениях микрофонных решеток, разнообразия их конструктивного исполнения в зависимости от условий проведения эксперимента.

Проведен анализ проблем генерации шума применительно к двигательным установкам летательных аппаратов. Приведена картина ранжирования источников шума, создаваемых элементами двигательной установки и планера относительно суммарного шума самолета на режиме взлета и посадки.

Особое внимание уделено аэродинамическому шуму обтекания планера самолета, вследствие чего, за счет силового воздействия потока, как отмечается автором, возникает заметное дипольное излучение звука в окружающую среду, борьба с которым требует специальных расширенных средств и математических алгоритмов для локализации шума.

**Во второй главе** приведены результаты оценки эффективности существующих алгоритмов локализации звука на примере обработки имеющихся данных измерений в заглушенной камере ПНИПУ пьезоэлектрических излучателей (биперов). Автором проводится сопоставление карт локализации, полученных с помощью таких алгоритмов, как Conventional Beamforming, Cross-Spectral Beamforming, DAMAS, с картами локализации фирменного приложения Bruel & Kjaer, и приводится вывод о том, что наиболее высокий уровень соответствия с коммерческой программой имеет алгоритм Cross-Spectral Beamforming.

Отдельно следует отметить разработку и валидацию собственного программного продукта для визуализации источников звука с помощью различных общеизвестных в мировой практике алгоритмов. Приложение разработано на платформе программного пакета математического моделирования MathWorks MATLAB с реализацией пользовательского интерфейса. В качестве обоснования проведения данной части работы автор приводит в сопоставление фирменную программу Bruel & Kjaer с закрытым исходным кодом, которая обладает ограниченным функционалом при обработке измерений в ряде многих случаев.

Большой практической ценностью работы является разработка собственной регулируемой конструкции лучевой микрофонной решетки, изготовленной из металлических и полимерных материалов для обеспечения оптимальной массы. Основная особенность данной решетки заключается в установке требуемого числа микрофонов в необходимых позициях, что позволяет настраивать её геометрические параметры в зависимости от требований проведения эксперимента, а также позволяет тестировать различные схемы установки микрофонов и определять чувствительность точности проведения локализации в зависимости от используемого набора координат.

**В третьей главе** рассматривается способ настройки решетки по монопольной схеме, разработанный зарубежными исследователями. В главе автор реализует применение апертурной сглаживающей функции с последующей ее трансформацией в диаграмму направленности, которая позволяет выполнять построение контурного графика частотно-зависимого размещения боковых лепестков. С помощью данной модели найдена схема оптимальных позиций установки микрофонов, которая была протестирована в серии виртуальных и лабораторных экспериментов с использованием разработанной регулируемой антенны. При эквивалентной с решеткой Bruel & Kjaer величине разрешающей способности, автору удалось увеличить общий динамический диапазон системы локализации в установленном диапазоне до 8 кГц. Особо стоит отметить применение воздушной

турбулентной струи в качестве системы для генерации источников шума. При локализации шума в искусственно созданных сложных условиях – высокочастотных источников при истечении потока из шевронного сопла – примененная автором конфигурация решетки формирует более качественную карту локализацию, доказывающую практическую значимость проведенных в работе исследований.

**В четвертой главе** усовершенствована математическая модель для поиска наиболее подходящих схем установки микрофонов в решетку в случае излучения шума дипольными источниками. На первом этапе автор реализует и тестирует метод локализации акустических диполей с помощью численного моделирования шума обтекания цилиндра в различных пространственных ориентациях. В дальнейшем данная концепция экспериментально подтверждается в серии акустических измерений в заглушенной камере лаборатории ПНИПУ. Установлено, что численное моделирование шума обтекания цилиндра для генерации дипольного поля показывает хорошее соответствие с экспериментальными данными других авторов и может быть использовано для отладки реализованного дипольного алгоритма.

Особо ценным результатом главы является проведенная автором настройка решетки на дипольное звуковое поле. Микрофоны устанавливались в соответствии с найденными по модели координатами в созданную регулируемую конструкцию решетки. Проведенная серия экспериментов в заглушенной камере ПНИПУ подтвердила соответствие эквивалентности областей распределения источников на картах локализации, что свидетельствует об обеспечении сопоставимого разрешения с фирменной антенной Bruel & Kjaer подобного класса при повышении динамического диапазона настроенной решетки по созданной модели до 2 дБ.

### **Научная новизна и практическая значимость работы**

**Научная новизна** выполненных исследований заключается в обосновании возможности настройки микрофонной антенны на тип источника звука; в модернизации математической модели и алгоритмов настройки микрофонной антенны, позволяющей проводить дипольную настройку антенны; в подтверждении эффективности разработанных алгоритмов настройки антенны серией экспериментальных работ по определению акустических характеристик источников дипольного типа.

**Практическая значимость работы** не вызывает сомнения и заключается в том, что создан инструмент для исследования акустических источников монопольного и дипольного типа. Разработана и создана микрофонная решетка, предназначенная для проведения широкого спектра аэроакустических исследований, с возможностью переустановки микрофонов в зависимости от условий проведения эксперимента.

### **Оценка достоверности полученных результатов**

Достоверность приведенных в диссертации результатов подтверждается путем сравнения полученных экспериментальных данных с результатами

других авторов, полученных в аналогичных экспериментах, а также верификацией используемых численных моделей путем сравнения данных численных расчетов с расчетами других исследователей.

Результаты работы по теме диссертации опубликованы в 7 статьях в журналах из перечня ВАК и входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science, а также в 6 публикациях в трудах научных конференций.

Автореферат содержит краткое изложение материала диссертации. Автореферат и опубликованные научные труды по результатам исследований полностью отражают основные положения диссертационной работы.

Диссертационная работа изложена логично и аргументированно. Это же относится и к тексту автореферата.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В работе используется новая решетка с возможностью перенастройки положения микрофонов. При этом на стр. 76 отмечено, что возникает погрешность при позиционировании микрофонов. Однако не указаны возможные значения погрешностей и их влияние на качество измерений.

2. В диссертации рассматриваются примеры локализации акустических источников шума различных типов, характеризуемых различным динамическим диапазоном. При этом выбор величины динамического диапазона при проведении локализации не обосновывается.

3. В тесте диссертации очень часто говорится об оптимальности. Например, в заголовке раздела 3.3. встречается словосочетание “оптимальное качество локализации”. При этом не всегда понятно, что означает та или иная оптимальность и по каким критериям она определяется.

4. В диссертации проводится сравнение эффективности работы разработанной антенной решетки в сравнении с известными аналогичными системами. При этом такое сравнение, как правило, в работе может быть проведено только визуально, на основе рассмотрения представленных в диссертации картин локализации источников шума микрофонными антеннами, без использования какой-либо количественной оценки.


5. При проектировании настраиваемой микрофонной антенны в качестве аналога была выбрана микрофонная антенна Bruel & Kjaer с диаметром 2,5 м. Однако созданная в работе антенна настраивается на увеличенный диаметр 3 м для анализа чувствительности её разрешения. Почему не было проведено прямого сравнения качества локализации шума антеннами с эквивалентным размером?

### **Заключение**

Диссертационная работа Ершова Виктора Валерьевича является завершённой научно-квалификационной работой, которая несмотря на имеющиеся в ней недостатки, выполнена на высоком научном уровне. В диссертационной работе достигнута поставленная цель, а все

сформулированные задачи решены. Полученные при этом результаты достоверны и представляют научную и практическую ценность.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ершов Виктор Валерьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.7 – Акустика

Профессор кафедры экологии и промышленной безопасности МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.  А.И. Комкин

Наименование и адрес организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана) 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, телефон: 8 (499) 263-63-91, e-mail: e9@bmstu.ru

