

ОТЗЫВ

официального оппонента Шанина Андрея Владимировича
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

Диссертационная работа В.В. Ершова посвящена конструированию плоских микрофонных антенн, предназначенных для локализации источников шума в аэроакустическом эксперименте, а также выбору алгоритмов построения изображений системой, построенной на основе такой антенны.

Автор берет за образец 54-канальную антенную решетку Briel & Kjaer (являющуюся стандартным инструментом для соответствующих измерений) и программные средства, использующие различные алгоритмы бимформинга, и ставит перед собой задачу улучшить конструкцию и алгоритмы, построив собственную систему визуализации. Такая постановка задачи вопросов не вызывает: потребность иметь измерительный прибор, оптимизированный под свои нужды, хорошо понятна.

Работа представляет собой весьма успешное исследование. Построенная автором система показывает впечатляющие результаты, в ряде случаев превосходящие результаты системы Briel & Kjaer. Ключевым фактором является развитие метода бимформинга для источников дипольного типа (а не монопольного, как в стандартной системе).

Преимущественно работа представляет собой экспериментальное исследование с уклоном в обработку сигналов, но также содержит интересный вычислительный эксперимент и теоретические выкладки.

Общая характеристика и содержание работы

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

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи, научная новизна работы, дана характеристика практической значимости, сформулированы положения, выносимые на защиту, описаны методы исследования, представлена краткая аннотация содержания глав диссертации.

В первой главе описаны механизмы генерации аэродинамического шума обтекания планера, индуцируемого источниками дипольного типа. Рассмотрено состояние вопроса о проведении исследований по локализации источников звука с помощью микрофонных антенн. Приведены математические основы процедуры обработки акустических данных для визуализации источников шума с помощью известных алгоритмов.

Во второй главе проведена разработка собственного приложения для визуализации акустических источников с поддержкой необходимых алгоритмов и настроек, недоступных в коммерческом программном обеспечении, а также выполнена верификация созданного приложения на основе сравнительного анализа карт визуализации и спектральных характеристик источников шума.

В третьей главе проведена реализация математической модели для проведения настройки микрофонной антенны на оптимальное качество локализации монополей. Определена целевая функция для решения оптимизационной задачи размещения микрофонов в решетке, и в результате получен тестовый набор координат, испытанный на виртуальных и физических источниках шума, в качестве которых используются пьезоизлучатели и дозвуковая воздушная турбулентная струя. Проведена серия экспериментов в акустической заглушенной камере, подтверждающая сопоставимое с коммерческой антенной решеткой качество визуализации шума.

В четвертой главе разработан и валидирован метод проведения настройки микрофонной решетки на оптимальное качество визуализации акустических диполей. Автором проведена генерация диполей в экспериментальных условиях в заглушенной камере с помощью обтекания дозвуковым воздушным потоком тонкого металлического стержня и тонкой прямоугольной пластины. Для подтверждения работоспособности данного подхода проведен сравнительный анализ карт визуализации с результатами, полученными с использованием коммерческой решетки подобного класса, настроенной традиционным монопольным способом.

Кроме того, четвертая глава содержит описание вычислительного эксперимента для отладки адаптированного дипольного метода обработки результатов измерений.

В заключении диссертации представлены основные результаты работы

Работа написана грамотным научным языком и оформлена в соответствии с правилами. Представлен также **автореферат**, содержание которого адекватно отражает содержание диссертации.

Основные результаты работы

- Усовершенствована математическая модель для поиска оптимальных схем установки микрофонов в антенну для высокоэффективной локализации акустических диполей.
- Предложена удобная конструкция лучевой микрофонной антенны с возможностью выбора числа микрофонов и подстройки их положения.
- Разработано собственное программное обеспечение для обработки и визуализации принимаемых сигналов. Данное ПО имеет более широкий набор функций, чем стандартный аналог. В частности, реализован дипольный вариант бимформинга.
- Проведенный на основе экспериментальных данных сравнительный анализ карт локализации диполей, полученных с помощью коммерческой и новой антенны, настроенной для этих целей специальным образом, показывает

прирост динамического диапазона. Получено визуальное подтверждение эквивалентности областей распределения источников на картах локализации, что свидетельствует об обеспечении сопоставимого разрешения с фирменной антенной подобного класса. Данный результат представляется наиболее важным результатом работы.

Актуальность темы исследования

Практический интерес работы связан с решением аэроакустических проблем, возникающих при создании и отработке новейших технологий снижения шума, и связанных с взаимодействием различных элементов планера магистрального самолета и высокоскоростного турбулентного потока. Средства визуализации аэроакустического шума микрофонными решетками в настоящее время подтверждают свою эффективность, например, в задачах ранжирования и оценки звуковой мощности шума натурального самолета при проведении летных испытаний.

Хорошо известно, что многие представляющие интерес источники шума имеют дипольную природу. Оценка дипольно-ориентированного звукового поля, порождаемого, например, при взаимодействии турбулентного потока с обтекаемыми им телами, требует наличие адаптированных для этих целей методов обработки сигналов. Развитие и реализация таких алгоритмов и составляет предмет рассматриваемой диссертации.

Полученные в работе результаты помогут расширить область применимости системы локализации звука в задачах экспериментальной аэроакустики. Таким образом, тема диссертационной работы является весьма актуальной.

Обоснованность и достоверность результатов

Результаты, представленные в работе, являются обоснованными и достоверными. Методики, использованные автором, не вызывают сомнений. Работа базируется на тщательно выполненном и подробно

задокументированном аэроакустическом эксперименте. Результаты работы опубликованы в рецензируемых научных журналах.

Научная новизна работы

В диссертации сформулированы следующие пункты, в отношении которых предполагается научная новизна:

1. Разработана новая микрофонная антенна, позволяющая изменять положение микрофонов по угловой и радиальной координате в соответствии с расчетными значениями оптимальной настройки антенны на обеспечение максимального динамического диапазона локализации источников шума монопольного и дипольного типа.

2. Усовершенствована математическая модель, позволяющая более точно находить оптимальное положение на плоскости заданного числа микрофонов с заданной апертурой с целью повышения эффективности проведения измерений источников звука дипольного типа.

3. Проведены экспериментальные исследования шума взаимодействия турбулентных течений с препятствиями (струя – тонкий стержень, струя – тонкая пластина), которые впервые выполнялись с помощью микрофонной антенны, специальным образом настроенной для измерения именно дипольных источников звука. Получены карты локализации звуковых источников дипольного типа и определены их спектральные и акустические характеристики на основе результатов проведенных измерений. Установлено, что антенна, оптимизированная по усовершенствованной математической модели настройки на локализацию источников дипольного типа, дает прирост динамического диапазона до 2 дБ относительно известных моделей.

Я считаю, что утверждение автора справедливо, т.е. данные пункты отражают то, что в данной работе является новым.

Практическая значимость работы

Представленная работа имеет несомненную практическую значимость. Повышение точности средств проведения измерений микрофонными решетками за счет описанных в работе методов может помочь в идентификации источников шума гражданских самолетов для удовлетворения требованиям ИКАО по допустимому уровню шума.

Замечания

1. Описание математических основ бимформинга в первой главе выполнено недостаточно подробно. Не описывается стандартный математический аппарат инструменты для работы со случайными процессами (корреляционная функция, спектр мощности и др.). При этом в третьей главе явно используется правильный способ оценки спектра мощности (усреднение по блокам).
2. Для отображения автор переводит амплитуду источника в децибелы. Из формулы на стр. 31 следует, что амплитуда источника измеряется в $Ra \cdot m$, а это значит, что под логарифмом в формуле на стр. 53 стоит размерная величина. Этого быть не может.
3. На рисунках 9, 10 и 11 нет видно боковых лепестков, в то время, как на стр. 39 указано, что они там есть.
4. Первая формула на стр. 56 отличается от представленной в [32]. Видимо, формула записана с ошибкой.
5. В формуле (5) имеется очевидная опечатка.
6. В разделе 4.1 не хватает рисунка, описывающего геометрию виртуального эксперимента.

Приведенные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации.

Заключение

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой проведен большой объем теоретических и экспериментальных исследований, совокупность которых можно квалифицировать, как решение важной научной задачи, позволяющей повысить точность измерений с использованием многомикрофонных антенн.

Результаты исследований по теме диссертационной работы отражены в 13 публикациях; из них 7 опубликованы в научных журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК, и входящих в международные базы данных научного цитирования Scopus и Web of Science. Также получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Диссертационная работа Ершова Виктора Валерьевича отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением № 842 Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. (в текущей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ершов Виктор Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.7 – Акустика.

Шанин Андрей Владимирович
Доктор физико-математических наук
Доцент кафедры акустики физического факультета МГУ
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова»
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
e-mail: andrey_shanin@mail.ru
р.т.: +7 (495) 939-30-81

Я, Шанин Андрей Владимирович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

«29» ноября 2022 г.

Подпись Шанина А.В. заверяю



7

Севостьянов Е.Р.