

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Московский государственный
университет имени М.В. Ломоносова»



А. А. Федянин

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ –

Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Московский
государственный университет имени М.В. Ломоносова»
на диссертационную работу Храмова Игоря Валерьевича
**«Исследование средних характеристик турбулентных вихревых колец
различных диаметров и особенности их акустического излучения»**,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 01.04.06 — Акустика

Диссертационная работа И.В.Храмова посвящена экспериментальному исследованию генерации шума турбулентным вихревым кольцом. Вихревое кольцо создается в лабораторных условиях специально разработанным генератором. Шум кольца регистрируется приемной установкой в заглушенной камере. К записанному шуму применяются различные алгоритмы отбора, обработки и анализа.

Работа И.В.Храмова продолжает серию исследований научного руководителя диссертации, проф. В.Ф.Копьева. Целью данных исследований является сопоставление экспериментальных результатов и теории одиночного вихревого кольца, включающей описания колебаний ядра кольца и описание процесса излучения звука кольцом.

Мотивация работы заключается в том, что турбулентное вихревое кольцо является элементарным вихревым объектом, описав который можно

приблизиться к пониманию физических процессов, приводящих к генерации шума турбулентной струей. Основным пример такой струи – струя реактивного двигателя самолета. Международные нормы по шуму гражданских самолетов постоянно ужесточаются, поэтому работа представляется весьма **актуальной**.

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Основной объем диссертации составляет 112 страниц, 52 рисунка и 9 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 117 источников.

Во **введении** сформулирована цель и задачи исследования, обоснована актуальность и новизна работы, представлены выносимые на защиту положения.

Первая глава представляет собой обзор литературы по генерации звука вихревым кольцом. В разделе 1.1 приводится обзор экспериментальных и теоретических исследований вихревых колец. В разделе 1.2 представлены описания имеющихся установок по созданию и исследованию вихревых колец. В разделе 1.3 описаны результаты численных исследований макропараметров вихревых колец.

Во **второй главе** описывается созданный в ходе работ генератор вихревых колец, представлены исследования движения турбулентных вихревых колец с различными размерами и скоростями. В разделе 2.1 представлена конструкция и характеристики поршневого генератора вихревых колец. Генератор представляет собой поршень с ударным приводом и набором сменных сопел разного диаметра. Значительное внимание уделяется демпфированию собственных колебаний генератора и заглушению сопутствующих шумов. В разделе 2.2 приводится описание методики проведения и первичной обработки результатов траекторных экспериментов для различных по начальному размеру вихревых колец с использованием микрофонов расположенных вблизи от траектории движения вихрей. В разделе 2.3 описывается методика выбраковки

результатов эксперимента. А именно, процесс генерации вихревых колец подвержен множеству случайных факторов. Автор разделяет запуски колец на удачные и неудачные по статистическим критериям и использует в дальнейшей обработке только удачные.

В **третьей главе** представлены результаты измерений шума вихревых колец. В разделе 3.1 представлена методика проведения измерений и обработки результатов. Получены усредненные по ансамблю реализаций спектры излучения на разных участках траектории. В разделе 3.2 описано изменение частоты и амплитуды пика в спектрах вихревых колец при движении кольца по траектории. В разделе 3.3 представлена методика определения шума одиночного вихревого кольца, основанная на усреднении по сигналам микрофонов шестиугольной решетки.

В **четвертой главе** проводится сравнение частоты излучения звука свободно летящими турбулентными вихревыми кольцами с результатами численного моделирования. В разделе 4.1 приводится описание совместного эксперимента по определению перемещения поршня генератора, движения вихревого кольца и акустического излучения. В разделе 4.2 описывается постановка задачи о формировании и движении вихревого кольца на начальном участке траектории для численного моделирования. В разделе 4.3 представлена верификация расчетной модели перемещения вихревого кольца на начальном участке.

В **пятой главе** описано применение многомикрофонных антенн для измерения шума вихревых колец. В разделе 5.1 представлено измерение шума шестиугольной антенной и обработка полученных результатов методом азимутальной декомпозиции. Получена направленность излучения квадрупольных составляющих в шуме вихревого кольца. В разделе 5.2 описано измерение шума плоской микрофонной антенной и обработка полученных результатов методом плоского бимформинга.

В **заключении** приводятся основные результаты работы.

Экспериментальные результаты, полученные И.В.Храмцовым, подтверждают теоретическую модель генерации шума, основанную на колебаниях ядра вихревого кольца. Так, спектр имеет острый пик, и положение пика соответствует точке сгущения спектра колебаний. Ключевые результаты работы приводятся в конце Главы 3, где строится число Струхаля (безразмерная частота колебаний) по экспериментальным данным, а также в конце Главы 4, где тот же параметр строится по экспериментальным и численным данным. Существенным успехом диссертации является то, что число Струхаля было приблизительно константой, как это и следует из теории.

Описанный в диссертации эксперимент является весьма тонким и трудоемким. Шум одиночного вихревого кольца является слабым, а разброс реализаций кольца по параметрам – очень большим. Потребовалось значительное экспериментальное мастерство, чтобы уменьшить собственные шумы установки, правильно организовать сбор и обработку данных. Подробности эксперимента описаны достаточно полно и представляют существенный интерес.

Результаты диссертации представляются обоснованными и **достоверными**, поскольку методика их получения не вызывает нареканий, а различные по своей природе результаты (численные и экспериментальные) хорошо согласуются друг с другом.

Научной новизной обладают следующие результаты:

- Создан генератор вихревых колец, обладающий достаточной малошумностью и позволяющий создавать вихревые кольца различных размеров и с различными начальными скоростями.
- Теория генерации шума вихревым кольцом подтверждается в широком диапазоне размеров и скоростей кольца.
- Число Струхаля, вычисленное по пиковой частоте в спектре, размеру сопла и скорости движения вихревого кольца является константой и лежит в пределах 4-5.

- Для локализации вихревого кольца может быть использована плоская многоэлементная антенна и метод бимформинга.

Результаты диссертационной работы **могут быть использованы** в научно-исследовательских работах организаций, занимающихся решением задач вихревой динамики и аэроакустики, таких как Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского, АО «Авиадвигатель», Акустический институт им. Н.Н. Андреева, Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева, Институт теоретической и прикладной механики имени С.А. Христиановича, Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова.

Тема диссертации соответствует специальности 01.04.06 – Акустика. **Автореферат** полностью отражает содержание диссертации. Результаты диссертации опубликованы в пяти научных статьях.

По диссертационной работе имеются следующие **замечания**:

1. Из Таблицы 1 следует, что для сопел различного диаметра процент успешных запусков различается весьма сильно. Так, для сопел диаметром 30 и 50 мм он различается на порядок (8 и 98 процентов). Стоило обсудить в работе причину такого поведения генератора вихревых колец, а также, возможно, провести эксперименты с соплами большего диаметра.

2. Алгоритмы выделения квадрупольных составляющих и бимформинга описаны в Главе 5 недостаточно четко.

3. Значения числа Струхала на Рис. 25 и Рис. 39 различны. Это различие в работе не обсуждается.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической ценности полученных диссертантом результатов.

Заключение

Диссертационная работа Храмцова И.В. «Исследование средних характеристик турбулентных вихревых колец различных диаметров и особенности их акустического излучения» удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 (ред. от 21.04.2016 г.), а соискатель Храмцов И.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.06 — Акустика.

Доклад по диссертационной работе Храмцова И.В. заслушан и одобрен на семинаре кафедры акустики физического факультета МГУ 27 марта 2019 года. Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 3 апреля 2019 г. (протокол № 4, результаты голосования: «за» -15, «против» - нет, «воздержался» -нет).

Заведующий кафедрой акустики
физического факультета МГУ,
профессор, академик РАН

О. В. Руденко

Отзыв составил

доцент кафедры акустики
физического факультета МГУ,
д.ф.-м.н.

А. В. Шанин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Почтовый адрес: 119991, г. Москва, Ленинские горы, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, д. 1, стр.2.

Адрес электронной почты: info@physics.msu.ru

Телефон: (495) 939-30-81