

ОТЗЫВ

официального оппонента Никулина Виктора Васильевича на
диссертационную работу Храмцова 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

Актуальность темы исследования

Исследованиям вихревых колец посвящено значительное количество работ, поскольку данное явление представляет интерес с прикладной и научной точек зрения. Практический интерес связан с тем, что подобные вихри нередко образуются в различных техногенных или природных процессах, например, при истечении импульсных струй, тушении пожаров на газонефтяных скважинах с помощью подрыва кольцевых зарядов, всплытии термиков и т.д. Их научная значимость обусловлена тем, что на примере вихревых колец удобно изучать динамику завихренности и связанные с ней эффекты, являющиеся фундаментальными проблемами гидродинамики.

К настоящему времени известно, что в сдвиговых течениях, при больших числах Рейнольдса, крупные вихревые структуры играют важную роль в процессах аэrodинамического шумообразования. В то же время, основные физические закономерности должны проявляться в наиболее простых вихревых течениях, таких как вихревые кольца. В связи с этим задача исследования аэроакустических свойств отдельного вихревого кольца является одним из эффективных способов понимания аэроакустики сдвиговых потоков. Такие задачи сложны для аналитических и численных исследований, что придает особую значимость и актуальность эксперименту.

Данная работа посвящена экспериментальным исследованиям аэроакустических свойств вихревых колец. Полученные в работе результаты

по излучению шума вихревыми кольцами разных размеров и скоростей помогут углубить понимание сложного физического процесса излучения шума турбулентными потоками.

Таким образом, тема диссертационной работы является весьма актуальной.

Содержание работы и основные результаты.

Объем диссертационной работы составляет 112 страниц и состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы из 117 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 содержится обзор литературы, посвященной исследованию вихревых колец теоретическими, экспериментальными и численными методами. Особое внимание уделено способам создания вихревых колец, подходящих для аэроакустических исследований.

Во второй главе представлена конструкция поршневого генератора вихревых колец с ударным приводом, позволяющего создавать вихревые кольца с различными начальными размерами и скоростями, приведены результаты исследований движения получаемых вихревых колец.

В качестве важных результатов данной главы следует отметить разработку, создание специального генератора вихревых колец и системы регистрации их движения. Отличительными особенностями генератора является возможность использования сменных сопел, что дает возможность создавать вихревые кольца в широком диапазоне начальных параметров, и интеграция данного генератора в стену заглушенной камеры, что, совместно с другими методами снижения шума запуска, позволяет увеличить подходящий для анализа шума участок траектории движения вихревого кольца.

Для исследования движения вихревых колец использовалась многомикрофонная система, установленная вдоль траектории на малом расстоянии от оси движения кольца, и экран с шелковинками для визуализации отклонения движения кольца от траектории. Данная система совместно с методикой отбраковки временных реализаций акустических характеристик вихревых колец позволила накопить базу траекторий движения различных вихревых колец. В частности, для сопловых насадков 30; 40 и 50 мм было выявлено, что с уменьшением размера сопла стабильность создания и свойств вихрей существенно падает.

В третьей главе представлены результаты экспериментального исследования излучения шума различными вихревыми кольцами.

Для исследования шума вихревых колец использовалась многоканальная система измерений на основе микрофонов, расположенных в дальнем поле, микрофонов вблизи траектории и экрана с шелковинками для контроля движения вихрей. Получены осредненные по ансамблю реализаций спектры для различных вихревых колец. В результате установлено, что для всех вихревых колец шум сосредоточен в узкой полосе частот, причем при движении кольца основной пик смещается в низкочастотную область, а амплитуда убывает. Кроме того, обнаружено, что число Струхала, вычисленное по основной частоте, размеру сопла и начальной скорости, для всех вихревых колец находится в области числа Струхала 4-5.

В четвертой главе приводится сравнение частоты излучения звука вихревым кольцом с автомодельной теорией излучения шума данным вихрем.

Размеры кольца на начальном участке движения определялись с помощью численного моделирования. Проверка правильности расчетов осуществлялась путем сравнения зависимостей от времени расчетного и измеренного перемещения вихревого кольца при его перемещении на расстояние в несколько диаметров сопла. На данном расстоянии вихрь уже

сформирован, его скорость примерно постоянна и определяется параметрами, возникшими после формирования.

Через формулы автомодельной теории были получены средние геометрические и динамические характеристики вихревых колец на всей траектории, включая расстояния, расположенные на большом удалении от среза сопла. Поскольку параметры вихря изменяются медленно по сравнению с характерной частотой излучения, то впервые удалось сравнить теоретические и экспериментальные значения частоты пика в спектре акустического излучения вихревых колец не только на начальном, но и на значительном участке их траектории.

В пятой главе рассматривается использование многомикрофонных решеток для исследования шума вихревых колец. В первой части главы представлены измерения круговой решеткой и обработка результатов измерений шума вихревого кольца с помощью метода азимутальной декомпозиции. Показано, что шум вихревого кольца представляет собой суперпозицию 5 квадруполей.

Во второй части главы представлены акустические измерения плоской микрофонной решеткой и обработка их результатов по методике локализации источников шума летящего вихревого кольца с помощью многомикрофонных антенн (бимформинга). В результате получено смещение источника на карте локализации с течением времени хорошо соответствующее траекторным измерениям. Таким образом, данный метод можно использовать для бесконтактной регистрации положения вихревого кольца. Это открывает возможность находить законы движения не только лабораторных вихревых колец, но и крупномасштабных вихрей в натурных условиях.

В заключении диссертации представлены основные результаты работы, среди которых можно выделить следующие.

Создан новый генератор вихревых колец со сменными соплами, позволяющий создавать вихревые кольца различных размеров и скоростей.

Увеличенные размеры заглушенной камеры позволяют проводить измерения в более широком временном интервале, что существенно для апробации моделей генерации шума. Вихревые кольца, полученные с помощью данной установки, излучают звук. Для всех вихревых колец шум сосредоточен в узкой полосе частот, основной пик в спектре излучения смещается по мере движения в низкочастотную область.

Накоплена база траекторных и акустических измерений вихревых колец с различными начальными размерами и скоростями. Для всех вихревых колец число Струхаля, полученное по основной частоте в спектре, размеру сопла и скорости движения, сосредоточено в области значений 4-5.

С помощью численного моделирования получены начальные размеры вихревых колец, которые затем использовались для оценки параметров вихрей не только на начальном, но и на автомодельном участке траекторий. В результате проведена оценка собственной частоты излучения шума свободно летящим турбулентным вихревым кольцом. Полученные значения собственной частоты излучения хорошо совпадают с результатами экспериментов для вихревых колец разных размеров.

Предложена адаптация метода многомикрофонных антенн (плоский бимформинг) для исследования шума вихревых колец. Данная методика позволяет определять положение вихревого кольца бесконтактным акустическим способом, что открывает возможность находить законы движения не только лабораторных вихревых колец, но и крупномасштабных вихрей в натурных условиях.

Практическая значимость работы

Создан новый генератор вихревых колец, который позволяет создавать вихревые кольца для акустического анализа в широком диапазоне начальных размеров и скоростей. Накоплена база траекторных и акустических измерений, позволяющая делать оценки параметров шума, генерируемых вихревым кольцом.

Обоснованность и достоверность научных положений, сформулированных в диссертации, подтверждается путем сравнения полученных результатов разными методами друг с другом, а также с результатами других авторов. Численные модели верифицированы путем сравнения с результатами экспериментов.

Замечания

1. В разделе 2.1 написано, что поршень приводился в движение ударом тяжелого молота по штоку. Не указано, как молот приводился в движение, как контролировалась сила удара, и какой был разброс по скоростям движения поршня.

2. В разделе 2.1 указано, что поршень выдвигается на фиксированное расстояние 6 см. Однако в разделе 4.1, судя по рисунку 27, перемещение поршня составляет 3 см. В работе нет объяснения, почему уменьшено расстояние выдвижения поршня.

3. В экспериментах ход поршня был одинаков для сопловых насадков разных диаметров. Это приводило к тому, что длина струи для сопел малых диаметров могла оказаться слишком большой, чтобы приводить к возникновению неустойчивости при формировании вихря, что было отмечено в экспериментах. Было бы полезно выполнить эксперименты с уменьшением хода поршня при уменьшении диаметра сопла.

4. Помимо верификации расчетной модели в разделе 4.3 по значениям начальной скорости вихревого кольца, было бы желательно выполнить его визуализацию и провести сравнение расчетов непосредственно с наблюдаемыми размерами.

Заключение

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой проведен большой объем экспериментальных исследований и разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать, как решение важной научной задачи, позволяющей уточнить представления об излучении шума отдельными вихрями.

По теме диссертации опубликованы 5 научных статей в изданиях, определённых в перечне ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК, из них 4 работы опубликованы в изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science. Также в материалах конференций по теме диссертации опубликовано 2 работы в журналах, входящих в базу данных Scopus.

Диссертационная работа Храмцова Игоря Валерьевича отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением № 842 Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. (в редакции Постановления Правительства РФ от 21.04.2016 г. №335), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Храмцов И.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.06 – Акустика.

Никулин Виктор Васильевич
Доктор физико-математических наук
Заведующий лабораторией вихревых движений жидкости и газа
ФГБУН «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского
отделения РАН»,
630090, г. Новосибирск, пр-т ак.Лаврентьева, 15
e-mail: nikulin@hydro.nsc.ru
р.т.: 3833332589

Я, Никулин Виктор Васильевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой докторской диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

14 мая 2019 г.

Подпись Никулина В.В. заверяю

Ученый секретарь ИГИЛ СО РАН

И.В. Любашевская

