



**МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
(МГУ)**

Ленинские горы, д.1, Москва, ГСП-1, 119991,
Тел.: (495)939-10-00, факс: (495)939-01-26

В. Н. 2021 № *108-21/03-03*

на № _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор

МГУ имени М.В. Ломоносова,
д.ф.-м.н., профессор РАН



А.А. Федянин
А.А. Федянин

19 ноября 2021

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Гаджиева Дмитрия Александровича «Взаимодействие вихревых течений с твёрдыми поверхностями и акустическими возмущениями», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 — Механика жидкости, газа и плазмы.

В диссертации исследуются три задачи, связанные с динамикой вихрей в вязкой несжимаемой жидкости и сжимаемом газе. Первая задача — взаимодействие пары противозакрученных вихрей с твёрдой поверхностью — описывает поведение концевых вихрей, сходящих с крыла самолёта, движущегося на малой высоте. Практическая важность её изучения связана с выбором необходимого интервала между последовательно движущимися самолётами, чтобы исключить попадание следующего самолёта в след предшествующего. Вторая задача моделирует нестационарное движение в вязком сжимаемом газе вокруг вращающегося цилиндра и описывает вихревое движение, которое может возникать в натурных условиях и эксперименте. Третья задача — взаимодействие падающего акустического поля с локализованной вихревой зоной; её решение устраняет имевшееся ранее противоречие между двумя подходами к решению задачи рассеяния акустической волны на вихре, что вызвано некорректностью “классической” постановки этой задачи. В рассматриваемой постановке устранена некорректность и получено многомасштабное решение, описывающее рассеяние на физически реализуемом вихревом течении; оно может использоваться для интерпретации расчётных и экспериментальных данных и при разработке новых средств измерений. Поэтому диссертационная работа Д.А. Гаджиева, сочетающая асимптотические и численные методы при построении новых решений, представляется безусловно актуальной и значимой для гидроаэромеханики и акустики.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и приложения. Во введении сформулированы цель работы, теоретическая и практическая

значимость, даны сведения об апробации работы. Приводится достаточно подробный обзор литературы по рассматриваемой тематике и обосновывается научная новизна полученных результатов

В первой главе изучается плоская задача о движении двух противозакрученных вихрей в вязкой несжимаемой жидкости в присутствии плоской твёрдой поверхности. В начальный момент поле скорости индуцируется двумя точечными вихрями. Поскольку начальное распределение скорости имеет сингулярность в центрах вихрей (бесконечная скорость) и на поверхности (разрыв между начальным и граничным условием), то сначала проводится асимптотический анализ поведения решения при малых временах и на больших расстояниях от области взаимодействия. Полученное поле скорости, сглаженное благодаря диффузии вихрей в вязкой жидкости и образованию пограничного слоя на твёрдой поверхности, используется в качестве начального условия для численного решения, а поведение пограничного слоя вдали от области взаимодействия – в качестве граничного условия на внешней границе расчётной области. Дальнейшая эволюция поля скорости анализируется численно. Проанализирован эффект отскока вихрей от поверхности с образованием отрывной зоны и противоположно направленного вихря, а также их дальнейшее движение. Обнаружена неизвестная ранее вторичная точка отрыва пограничного слоя и эффект немонотонного движения вихря при больших числах Рейнольдса.

Во второй главе диссертации впервые решена задача плоского нестационарного движения вязкого сжимаемого газа, покоящегося в начальный момент, вызванного вращающимся с постоянной скоростью цилиндром. Решение построено асимптотическими методами при больших значениях времени. Плоскость разбивается на три области: ближнее поле цилиндра, дальнее вязкое поле и внешнее невязкое (акустическое) поле, в каждой области получены асимптотические уравнения движения. Подробно рассмотрены первые две области, где методом сращиваемых асимптотических разложений получены решения в виде явных формул. Обнаружен новый эффект “скачка циркуляции” — изменения циркуляции скорости от одного значения на цилиндре к другому в пределах внутренней, не расширяющейся со временем, зоны. Продемонстрировано соответствие асимптотического решения численному решению полных уравнений Навье-Стокса.

Третья глава посвящена задаче о взаимодействии падающего акустического поля с локализованным вихревым движением в идеальном сжимаемом газе. В анализе литературы отмечено, что постановка, в которой вихревое движение рассматривается в виде потенциального вихря, некорректна, т.к. скорость убывает на бесконечности недостаточно быстро; данное обстоятельство приводит к двум несовместимым друг с другом решениям, получаемым в рамках различных подходов. В главе рассматривается два случая: одиночный вихрь с затуханием скорости как $\exp(-r^2)$, и два противозакрученных потенциальных вихря в присутствии твёрдой стенки (соответствующих задачам первой и второй глав), в которых обеспечена корректность

постановки. Построены асимптотические решения данных задач. В первой задаче доказано, что решения в ближнем и дальнем поле соответствуют двум известным ранее различным решениям некорректной задачи о рассеянии на потенциальном вихре.

Отметим следующие наиболее важные новые научные результаты диссертационной работы:

1. Обнаружено появление вторичной точки отрыва пограничного слоя, возникающей в процессе отскока вихря от твёрдой стенки.
2. Построено новое асимптотическое (при больших временах) решение задачи о движении вязкого сжимаемого газа вокруг вращающегося цилиндра, который в начальный момент времени покоится.
3. Дана постановка корректной задачи о рассеянии акустической волны на локализованном вихревом движении, и асимптотическими методами решены две конкретные задачи, в которых вихревое движение получено в первых двух главах и физически реализуемо.

Автореферат соответствует содержанию диссертации. Выводы по диссертации правильно отражают основные результаты, полученные соискателем.

По содержанию диссертации имеется ряд замечаний критического характера.

1. Построение асимптотических решений описано в тексте чрезмерно сжато, без предварительного изложения логики решения, что сильно затрудняет их понимание и анализ, а в некоторых случаях делает это невозможным. Например:
 - Цель построения решений на малых и больших временах в п. 1.2 и 1.3 не приводится, а как они используются в численном решении п. 1.4 — не объясняется.
 - Асимптотические масштабы областей в п. 2.1 приведены как данность, а не как результат анализа уравнений (2.1).
 - В п. 3.1 на стр. 63 и далее сначала приведены абстрактные оценки и разложения, и лишь на стр. 65 приводятся физические предположения, после которых становится ясен смысл этих разложений. Аналогично, в п. 3.3.1 сначала, без какого-либо обоснования, описывается структура решения, и лишь после этого вводятся предположения, при которых такая структура имеет место.
2. В тексте диссертации повсеместно используется термин “в главном приближении”, однако нигде явно не уточняется, по какому параметру рассматривается приближение. В разных разделах эти параметры разные, а в некоторых содержится одновременно более одного малого параметра.
3. Методы численного решения задач, в том числе составляющей основное содержание главы 1, в диссертации отсутствуют. Оценка сеточной сходимости решений не приведена. Метод определения “центра вихря” в гладком вихревом поле не описан.

Сделанные замечания не влияют, однако, на общую положительную оценку работы. Автор продемонстрировал высокий уровень владения асимптотическими методами при построении новых решений. Диссертация прошла необходимую апробацию на научных конференциях и семинарах. Результаты изложены в 9 публикациях из списка ВАК, включая 3 статьи в ведущих научных журналах.

Результаты работы могут быть полезными для организаций, занимающихся аэродинамикой самолётов, вихревыми течениями, вопросами акустики.

По объёму выполненных исследований, научной новизне и практической значимости диссертация Гаджиева Д.А. является законченным научным трудом, полностью соответствует паспорту специальности 01.02.05 — «механика жидкости, газа и плазмы» и отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. Её автор, Гаджиев Дмитрий Александрович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 — «механика жидкости, газа и плазмы».

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на заседании секции Учёного Совета по гидродинамике НИИ механики МГУ, протокол № 6 от «16» ноября 2021 г.

Отзыв составил:

Заведующий лабораторией
экспериментальной гидродинамики
НИИ механики МГУ,
доктор физико-математических наук
e-mail: vasily.vedeneev@mail.ru
контактный телефон: (495) 939-52-83



Веденев Василий Владимирович



Подпись В. В. Веденева заверяю:



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Научно-исследовательский институт механики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова), адрес: 119192, Москва, Мичуринский пр-т, д.1. Тел.: (495) 939-31-21, e-mail: common@imec.msu.ru