

О Т З Ы В

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

Диссертационная работа посвящена численному анализу вихревых течений вязких сжимаемых и несжимаемых сред в условиях взаимодействия со стенкой и акустическими возмущениями. В работе делается акцент на асимптотические решения уравнений Навье-Стокса. Работа согласуется с Перечнем основных направлений технологической модернизации РФ (3. Космические технологии, прежде всего связанные с телекоммуникациями, включая ГЛОНАСС и программу развития наземной инфраструктуры). Проблематика диссертации находится в русле приоритетных направлений развития науки, технологий и техники РФ (7. Транспортные и космические системы) и связана с разработкой критических технологий РФ (24. Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения). Диссертация выполнена в известной научной школе ЦАГИ (Жуковский), руководимой чл.-корр. РАН Гайфуллиным А.М. Исследование выполнено, в том числе, при поддержке РФФИ. Таким образом, представленную диссертацию можно признать актуальной.

Научная новизна работы состоит в следующем.

1. Дан анализ нестационарного ламинарного отрыва пограничного слоя при взаимодействии вихрей с твёрдой поверхностью в диапазоне изменения числа Рейнольдса от 1000 до 8000.
2. Получено асимптотическое решение задачи о генерации цилиндрического вихря вращающимся круговым цилиндром в вязком сжимаемом газе на больших временах.
3. Впервые рассмотрена задача взаимодействия цилиндрического вихря, возникающего при вращении кругового цилиндра в вязкой среде, с плоской акустической волной. Построено асимптотическое решение для случая, когда характерный масштаб области течения велик по сравнению с длиной волны. Два известных решения для случая вихревой нити, а именно: решения Л. П. Питаевского и П. В. Сакова получены в качестве предельных случаев в двух различных асимптотических областях.
4. Представлено решение в дальнем поле задачи взаимодействия плоской акустической волны с двумя вихрями с противоположными циркуляциями вблизи плоской твёрдой поверхности. Рассеянная волна имеет вид уходящей на бесконечность волны, отличной от цилиндрической.

Практическая значимость работы пока не вполне ясна. Работа имеет очевидное фундаментальное научное значение.

Апробация работы весьма приличная. Наиболее заметные выступления: видеосеминар по аэромеханике ЦАГИ — ИТПМ СО РАН — СПбГПУ — НИИМ МГУ (г. Жуковский, ЦАГИ, 14 сентября 2021); семинар по механике сплошных сред под руководством А. Г. Куликовского, В. П. Карликова, О. Э. Мельника, А. Н. Осипцова (г. Москва, НИИ механики МГУ, 12 мая 2021); многочисленные научные конференции в МФТИ и НИО-2 (ЦАГИ).

Из печатных работ следует отметить статью в *Journal of Fluid Mechanics* (2021. Vol. 918. A46), статьи в Прикладной математике и механике и в Прикладной механике и технической физике. Есть еще 5 статей в *Phys.Conf.*

Структура диссертации состоит из введения, трех глав, заключения, перечня литературных источников и приложения. Обзор литературы помещен во введение, которое также повествует об объекте исследования, об его актуальности, о целях и структуре работы. В первой главе на примере задачи о паре точечных вихрей с равными по модулю и противоположными по знаку циркуляциями вблизи бесконечной плоской твердой поверхности исследована диффузия вихрей в вязкой несжимаемой жидкости в присутствии твердых границ. Во второй главе рассмотрена двумерная задача о вихре, возникающем при вращении круга (бесконечно протяженного кругового цилиндра) в вязком теплопроводном сжимаемом совершенном газе с линейной зависимостью коэффициентов динамической вязкости и теплопроводности от температуры. В третьей главе решены две задачи о взаимодействии стационарных вихревых течений невязкого сжимаемого совершенного газа с плоской монокроматической звуковой волной малой амплитуды. В заключении приводится перечень выводов. В списке литературных источников имеется 128 наименований.

Работа типична для диссертаций по специальности «Механика жидкости, газа и плазмы». Акцент в ней делается на анализе асимптотических решений. Автор хорошо владеет методологией. Полученные результаты достоверны, хотя и не достает сравнения с экспериментальными данными. Квалификационная состоятельность диссертации Гаджиева Д.А. не вызывает сомнений. Общее впечатление от нее сугубо положительное.

Сделанные дальнейшие замечания и поставленные вопросы призваны расширить область дискуссии и придать импульс дальнейшим разработкам.

1. В помещенном во введении обзоре следовало обратить внимание на эффект Танеды об устранении вихревой дорожки за цилиндром при высокочастотных вращательных колебаниях [*,].**

[*] Taneda S. // J. Phys. Soc. Jap. 1978. V. 45. № 3. P. 1038–1043.

[**] С. В. Гувернюк, Г. Я. Дынникова, Я. А. Дынников, Т. В. Малахова. О стабилизации следа за круговым цилиндром, совершающим высокочастотные вращательные колебания // Доклады АН. 2010. Т. 432, № 1. С. 45–49.

2. Глава 1 составлена без учета защищенной в 1997г в СПбПолитехническом университете кандидатской диссертации Травина А.К. [***], в пятой главе которой рассмотрено *взаимодействие пары турбулентных вихрей с плоской поверхностью (с использованием модели Спаларта-Алмареса)*.

[***] Травин А.К. Численное исследование стационарных и нестационарных турбулентных отрывных течений // Автореферат дис. ... кандидата физико-математических наук: 01.02.05 / Санкт-Петербургский техн. ун-т. - Санкт-Петербург, 1997. 14 с.

3. Замечания к 1 главе.

3.1. Непонятно, как решаются уравнения НС? Методическая «кухня» не описана.

3.2. Выводы по 1 главе не носят количественного характера. Re упомянуты в диапазоне от 1000 до 8000. А при других числах Рейнольдса что будет, не ясно.

3.3. Как диссипация вихрей при отсутствии твердых границ количественно отличается от случая присутствия границ, не установлено. Темпы изменений циркуляции вихрей при числах Рейнольдса свыше 1000 не показаны. Что будет при различных высотах расположения вихрей также не вполне ясно. И главное. Когда произойдет турбулизация вихрей?

4. Замечания к 2 главе.

4.1. Число Прандтля постоянное. Оно берется для воздуха? Назначение его единицей никак не мотивируется.

4.2. Почему не выполнено сравнение при числе Маха $M=0.01$? В чем заключается физическая причина скачка циркуляции при высоких M ?

4.3. Почему в численных расчетах не рассматривается второй порядок аппроксимации по времени?

4.4. Чем мотивируется выбор определяющих параметров?

4.5. Какова физическая интерпретация больших чисел Маха - $M=7$?

4.6. Фраза в выводах "Распределение циркуляции на масштабе $r \sim \sqrt{\nu_0 t}$ отличается от случая несжимаемой жидкости или сжимаемого газа с постоянной вязкостью на постоянный множитель, причём при одинаковых ν_0 и t и при температуре цилиндра не ниже температуры невозмущенного газа скорость течения в сжимаемом газе с монотонно возрастающей (убывающей) зависимостью вязкости от температуры будет выше (ниже)" неясная!

5. Замечание к 3 главе.

Выводы по 3 главе носят декларативный характер, т.е. рассмотрено то-то, получено то-то. Хотелось бы видеть физические выводы. Ведь в вязкой среде акустическое возмущение должно гаснуть, а в невязкой распространяться без снижения интенсивности. Тогда что получается при прохождении акустической волны сквозь вихрь? Прогрессирующее снижение интенсивности волны? А что происходит с вихрями? С их циркуляцией? Она увеличивается или ослабевает?

Аннотация в целом отражает содержание диссертации.

Таким образом, представленная диссертационная работа является законченным научно-квалификационным исследованием по анализу вихревых течений вязкой и невязкой, сжимаемой и несжимаемой жидкости в условиях взаимодействия со стенкой и акустическими возмущениями. Выполненная работа соответствует паспорту специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы» и удовлетворяет квалификационным требованиям к кандидатским диссертациям, в том числе соответствует п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018). Ее автор Гаджиев Д.А. заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Заведующий лабораторией фундаментальных исследований Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации,
Исаев Сергей Александрович
доктор физико-математических наук по специальности 01.02.05 механика жидкости, газа и плазмы, профессор

01 ноября 2021 года

isaev3612@yandex.ru 196210, СПб, Пилотов, 38, info@spbguga.ru, 7041818

Подпись и сведения Исаева Сергея Александровича заверяю

Проректор по науке и
цифровизации СПбГУ ГА



Костин Г.А.