

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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.

Диссертация Гаджиева Д.А. посвящена исследованию вихревых течений сжимаемой жидкости или газа вблизи твёрдых тел, а также взаимодействию вихрей с акустическими возмущениями.

Актуальность темы диссертации определяется широким распространением вихревых течений в природе (в океанах и атмосфере) и технике (аэрогидродинамика летательных аппаратов и судов). В теоретическом плане следует отметить актуальность задачи о вихревых трубках над твёрдой поверхностью и нестационарном отрыве пограничного слоя из-за перемещения вихрей.

В первой главе автор численно решает двумерную задачу о паре вихрей с противоположными циркуляциями $\pm\Gamma_0$, расположенными на расстоянии l друг от друга и на высоте $h \sim l$ над горизонтальной твёрдой поверхностью при больших числах Рейнольдса $Re = \Gamma_0 / \nu$. Цель – анализ структуры нестационарного отрыва пограничного слоя. Решение в пограничном слое ($y / \sqrt{\nu t} = O(1)$, уравнения Прандтля) сращивается с решением уравнений Эйлера при $y / \sqrt{\nu t} \rightarrow \infty$. В окрестности центров вихрей при малых t решение аналогично решению задачи диффузии одиночного вихря над плоскостью. После отрыва, при $t > t_s$, решаются полные уравнения Навье-Стокса в конечном прямоугольнике в переменных ψ, Ω . Используется неявная схема метода переменных направлений для вихря Ω и быстрое преобразование Фурье для функции тока ψ . На основе полученного численного решения автор дает описание картины нестационарного отрыва пограничного слоя и эволюции сходящихся с твёрдой поверхности вихревых структур, указывает на отличия от диффузии пары вихрей в идеальной жидкости.

В главе 2 получено асимптотическое (на больших временах, когда $\varepsilon = r / \sqrt{\nu t} \ll 1$) решение задачи о цилиндрическом вихре, образующемся при вращении бесконечно протяжённого кругового цилиндра в сжимаемом газе с линейной зависимостью динамической

вязкости и теплопроводности от температуры. Здесь автор демонстрирует владение методом асимптотических разложений по малому параметру ε , сращивает внешнее и внутреннее разложение и получает равномерно пригодное решение для температуры и циркуляции с точностью $O(1/\ln^2 \varepsilon)$; проведен анализ решения при больших и малых числах Маха. Приближенные асимптотические решения сопоставляются с численными решениями задачи в полной постановке.

В главе 3 рассмотрены две задачи взаимодействия плоской акустической волны с осесимметричным вихрем при экспоненциально убывающем поле скорости и с парой вихрей противоположной циркуляции вблизи экрана. Математическая модель содержит уравнения Эйлера сжимаемого газа и формулу монохроматической падающей волны малой амплитуды при числах Маха $M \ll 1$. Предложена асимптотическая структура решения для поля рассеянной волны при $\lambda/L \ll 1$ (λ - длина волны, L - масштаб вихря). Рассмотрены вопросы существования, единственности решения, корректности задачи. Для цилиндрического вихря, порождённого равномерным вращением кругового цилиндра, получено асимптотическое решение для дальнего поля, когда $r \gg L^2/\lambda$, $L = 2\sqrt{\nu t}$. Проведено детальное сравнение полученных результатов с известными решениями других авторов.

Все упомянутые научные результаты имеют признаки **новизны**, проводятся тщательные сопоставления с результатами предшественников. **Достоверность** полученных результатов обеспечивается грамотным использованием моделей гидродинамики, широким применением асимптотических методов решения с оценкой погрешности. Все численные решения были получены с помощью апробированных расчетных схем, согласованы с аналитическими результатами.

Теоретическая значимость результатов Гаджиева Д.А. высока и состоит в ряде новых аналитических и численных решений уравнений, описывающих взаимодействие вихревых течений с твёрдыми поверхностями и акустическими возмущениями. **Практическая значимость** не столь очевидна и сводится к возможности использования полученных оценок параметров диффузии и генерации вихрей в присутствии твёрдых границ и взаимодействия вихрей с акустическими возмущениями при постановке будущих лабораторных экспериментов, либо при разработке универсальных численных методов.

Замечания.

1. На рис. 7 нет пунктирной кривой, как указано в подписи к рисунку.
2. Хотелось бы узнать, как определялись границы x_m , y_m , чему равны их значения, как оценивалось затухание Ω , насколько оправдано граничное условие $\Omega = 0$ для задачи (6), (7).
3. При описании численных методов не упоминается о сетке, о сходимости решения по сетке.
4. Глава 3, на мой взгляд, не помещается в автореферат, хотя занимает половину его объема; её трудно читать. Возможно, не следовало включать в диссертацию всё, что автор сделал в науке на момент оформления.

Высказанные замечания не снижают высокой оценки научного уровня диссертационной работы, который соответствует современному уровню исследований в области математического моделирования сложных вихревых течений, асимптотического анализа и вычислительной гидродинамики.

Диссертационная работа прошла **апробацию** на многочисленных российских и международных научных семинарах и конференциях. Основные результаты по теме диссертации **опубликованы** в 9 печатных работах, в том числе 3 – в научных журналах из перечня ВАК и 6 – в трудах международных конференций, включенных в базы данных и системы цитирования «Web of Science» и «Scopus».

Считаю, что диссертация «Взаимодействие вихревых течений с твёрдыми поверхностями и акустическими возмущениями» удовлетворяет всем требованиям к кандидатским диссертациям, а ее автор, Гаджиев Дмитрий Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы.

Профессор кафедры аэрогидромеханики
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный
университет»,
доктор физико-математических наук, профессор

Мазо Александр Бенцианович

02.11.2021

420008, Казань, Кремлевская, 18, КФУ, каф. аэрогидромеханики. abmazo1956@gmail.com

