

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертационную работу
Поляковой Натальи Михайловны

«Вращательно-симметричные течения в цилиндрических областях
с податливыми и неровными границами»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
1.1.9 — механика жидкости, газа и плазмы
(физико-математические науки)

Актуальность темы

Рассмотренная в диссертационной работе тематика — исследование вращательно-симметричных течений несжимаемой вязкой жидкости в цилиндрических областях с неровными и податливыми границами, построение и решение задач для главных членов асимптотических разложений является важной, и результаты находят широкое применение при описании различных процессов в физике (течение в каналах и трубах с неровностями), медицине (течение в сосудах), химии (течение в химических реакторах) и др. Сложность построения решений (аналитических, численных) задач для уравнений Навье–Стокса хорошо известна и несмотря на большое количество работ, в которых развиваются аналитические и численные методы решения, проблема далека от завершения. В связи с этим, построение и исследование асимптотических задач, сохраняющих все основные черты и свойства исходных задач, весьма актуально. Результаты таких асимптотических исследований позволяют выделять (и возможно, предсказывать) важные эффекты, присущие течениям жидкости, использовать результаты для улучшения и развития численных и аналитических методов решения.

Вышесказанное указывает на актуальность построения, исследования и разработку методов решения задач для главных членов асимптотических разложений при изучении вращательно-симметричных течениях вязкой несжимаемой жидкости.

Актуальность темы диссертационной работы Н. М. Поляковой обусловлена эффективным использованием результатов исследования асимптотических задач при изучении проблем гидродинамики, важностью для понимания физических процессов.

Общая характеристика работы и анализ ее содержания

Диссертация содержит введение, четыре главы, заключение, список литературы и приложения. Общий объем диссертации 150 страниц, включая 28 рисунков и 4 приложения. Список литературы содержит 148 наименований.

Во **введении** приведен краткий обзор содержания работы, обоснована актуальность темы, изложены цели работы и методы исследования, описана структура диссертации.

В **первой главе** дан краткий обзор литературы по теме диссертации, посвященный литературе по построению и асимптотическому исследованию задач для течений в цилиндрических областях с податливыми границами; исследованию течений в цилиндрических областях с неподвижными шероховатыми иррегулярными границами для жидкости с переменной вязкостью, зависящей от координат в случае квазистационарных турбулентных течений; литературе по методам исследования рассматриваемых задач.

Во **второй главе** приведено построение и исследование уравнений для определения главных членов асимптотических разложений в случае вращательно-симметричного течения жидкости в цилиндрических областях с податливыми границами. Полученная незамкнутая система квазилинейных уравнений замыкается при помощи полуэвристических определяющих соотношений. Указано на преимущество построения уравнений на основе теории мелкой воды по сравнению с часто используемым методом осреднений. Начальная, краевая и начально-краевые задачи для системы квазилинейных уравнений решены при помощи метода годографа. В случае некоторых определяющих соотношений построены точные аналитические решения. Кроме этого, предложена модификация метода годографа, позволяющая упростить процесс построения решения. В диссертационной работе показано, что члены исходных уравнений (Навье–Стокса), соответствующие вязкости, в асимптотических уравнениях отсутствуют, и вязкость может быть учтена лишь за счет динамических краевых условий на границе области. Результаты решения поставленных задач в некоторых случаях проиллюстрированы соответствующими графиками, которые, в частности, подтверждают доказанные утверждения о периодичности решений и других свойствах течений.

В **третьей главе** рассмотрена задача о квазистационарном течении в цилиндрической области несжимаемой жидкости, вязкость которой зависит от радиальной и осевой координат. Боковая поверхность цилиндрической области предполагается шероховатой, что при соответствующем выборе вязкости позволяет избавиться от сингулярности скорости на границе, а также считается, что граница имеет неровности (впадины и выпуклости). На

неровных участках границы задано лишь кинематическое условие, а на прямолинейных участках границы — условия прилипания. Построена задача для определения главных членов асимптотики, решение которой, ввиду линейности асимптотической задачи, удалось получить в аналитическом виде, что, в свою очередь, позволило детально исследовать структуру течения. Для некоторого класса зависимостей вязкости от координат доказано — вблизи частей границы с отрицательной кривизной в стационарном течении возникает вихревая структура. Аналогичное вихревое течение имеется и в случае исходной задачи, что подтверждено численным решением исходной задачи для полных уравнений Навье–Стокса. Полученные результаты проиллюстрированы некоторыми примерами областей с неровными границами.

В четвертой главе диссертации задачи о течении жидкости в цилиндрической области с податливыми границами исследованы численно при помощи метода конечных объемов для тех случаев, когда не удается построить при помощи метода годографа явные численно-аналитические решения, описанные в главе 2. Показано, что для определяющих соотношений со степенной зависимостью поведение результатов расчетов (решений) качественно одинаково и различается лишь количественно. Численно исследовано поведение сильных разрывов (ударных волн), слабых разрывов (волновых фронтов). Кроме этого, численно исследовано влияние азимутального вращения жидкости на поведение решения.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационном исследовании.

Обоснованность и достоверность обоснована корректностью постановки задач, применением обоснованных и надежных методов исследования и решения приведенных задач, сравнением с известными результатами решений для тестовых задач, которые имеются в литературе.

Научные результаты.

Основные научные результаты, полученные в диссертационной работе, состоят в построении и детальном исследовании уравнений для главных членов асимптотических разложений задач о вращательно-симметричных течениях несжимаемой вязкой жидкости в цилиндрических областях в случае податливых границ и в случае квазистационарного течения жидкости с вязкостью, зависящей от координат в области с шероховатыми и неровными границами. Для задачи с податливыми границами показано, что в случае выбора для замыкания уравнений определяющего соотношения, при котором реакция внешней среды пропорциональна некоторой степени радиуса, периодические возмущения скорости течения приводят к образованию на

податливых границах области пилообразных и ступенчатых структур. В некоторых случаях построены аналитические решения. Показано, что несогласованность начальных и краевых условий может приводить к образованию слабых разрывов (волновых фронтов) и сильных разрывов (ударных волн). Для решения гиперболических уравнений, которые описывают главные члены асимптотических разложений, предложена модификация метода годографа на основе закона сохранения. Доказаны утверждения о сохранении периодичности решений. Показано, что в случае азимутального вращения жидкости происходит сглаживание структур на податливых границах.

В случае квазистационарного течения жидкости с переменной вязкостью в области с неровными границами построено и детально исследовано аналитическое решение для главных членов асимптотических разложений. Показано, что для некоторого класса зависимостей вязкости от координат в окрестности частей границы области с отрицательной кривизной возникает стационарная вихревая структура.

В тех случаях, когда отсутствуют аналитические решения, проведены численные расчеты течений, которые, в частности, для задачи с податливыми границами, показывают, что изменение показателя степени в определяющих соотношениях влияет лишь на изменение количественных, но не качественных, характеристик течений. В задаче о течении жидкости с переменной вязкостью приведенные численные расчеты полных (не асимптотических) уравнений подтверждают наличие вихревых структур, аналогичных тем, которые получены для асимптотических задач.

Замечания

1. Хотя работа носит теоретический характер, используются безразмерные параметры и переменные (переход к размерным переменным дан в приложении D), было бы уместно в некоторых случаях при описании результатов, например, в подписях к рисункам указывать и характерные значения размерных величин, число Рейнольдса и другие числа подобия.

2. Мелкие символы на некоторых рисунках пп. 12, 13 затрудняют чтение.

3. Возможно, следовало бы более детально описать результаты прямых численных расчетов для полных уравнений Навье–Стокса, в частности, рис. 11.6, 11.7, подтверждающие выводы асимптотических приближений.

Указанные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы.

Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации.

Основные результаты диссертационного исследования прошли апробацию и опубликованы в достаточном количестве печатных изданий, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science (1), журналах из перечня ЮФУ и ВАК (5), РИНЦ (28); сделаны доклады на международных и всероссийских конференциях.

Заключение

Все выше изложенное позволяет сделать вывод, что представленная к защите диссертационная работа Поляковой Натальи Михайловны на тему «Вращательно-симметричные течения в цилиндрических областях с податливыми и неровными границами» выполнена на высоком научном уровне и отвечает всем основным требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Полякова Наталья Михайловна заслуживает присуждения ей степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 — механика жидкости, газа и плазмы (физико-математические науки).

« 7 » июль 2023 г.

Согласен на обработку персональных данных

Калайдин Евгений Николаевич,

доктор физико-математических наук

(специальность 01.02.05 — механика жидкости, газа и плазмы),

профессор кафедры Прикладной математики

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет».

Адрес: 350040, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149;

тел. +7 (918) 433-35-07;

e-mail: kalaidin@econ.kubsu.ru

Подпись Е.Н. Калайдина заверяю

