

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Ашурова Дениса Абдулвагабовича
на тему «Модальный и немодальный рост возмущений в некоторых
гидродинамических течениях»
по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Д. А. Ашурова посвящена исследованию устойчивости и механизмов нарастания возмущений в ряде течений жидкости и газа. Выбор темы исследования обусловлен необходимостью количественного описания влияния податливых покрытий на устойчивость пограничных слоев с градиентом давления и изучения немодальных механизмов развития возмущений в струйных течениях. Значимость работы определяется развитием методов исследования гидродинамической устойчивости, определением новых закономерностей немодального роста малых возмущений в свободных сдвиговых потоках и уточнением физических механизмов взаимодействия малых возмущений течения в пограничном слое с вязкоупругим покрытием стенки при наличии градиента давления. Полученные в работе результаты формируют основу для практических рекомендаций по управлению ламинарно-турбулентным переходом течений. Количественные оценки эффективности податливых покрытий по подавлению неустойчивости в пограничном слое могут быть использованы для снижения гидродинамического сопротивления различных конструкций, а выявленные закономерности немодального нарастания возмущений в струях — при проектировании систем, где требуется контроль процессов смешения и теплопереноса.

Методологическая основа диссертации демонстрирует высокий уровень научной строгости. Исследование опирается на фундаментальные положения линейной теории гидродинамической устойчивости, корректно

сформулированные краевые задачи для линеаризованных уравнений Навье–Стокса и уравнений Ламе, а также на современные численные методы решения спектральных и оптимизационных задач.

Научная обоснованность результатов базируется на последовательном применении известных численных методов, каждый из которых подробно описан в тексте диссертации и верифицирован на основе сравнения с результатами расчетов других авторов. Полученные выводы полностью подтверждаются проведенными расчетами: параметрический анализ устойчивости пограничного слоя выявил зависимость положения перехода от толщины покрытия и параметра Хартри, анализ оптимальных возмущений в струе позволил идентифицировать два механизма немодального нарастания возмущений, резольвентный анализ течения затопленной струи продемонстрировал доминирование резонансов при совпадении частоты внешнего воздействия с частотой собственных значений системы.

Работа представляет собой законченное исследование с последовательной логикой изложения. Достоверность выводов гарантирована верификацией численных алгоритмов, анализом сходимости решений и сравнением теоретических результатов с экспериментальными. Метод определения распространяющихся вниз по потоку мод, основанный на принципе причинности, повышает надёжность результатов пространственного анализа устойчивости затопленной струи.

Научная новизна работы определяется следующими результатами, полученными впервые:

1. Впервые выполнены систематические расчёты влияния монолитных вязкоупругих покрытий на устойчивость течения в пограничном слое с произвольным градиентом давления. Установлен физический механизм затягивания ламинарно-турбулентного перехода, связанный с модификацией инкрементов нарастания возмущений.
2. Развита пространственная теория оптимальных возмущений для круглых затопленных струй. Подтверждена универсальность закона

квадратичного роста энергии оптимальных стационарных возмущений. Определены и физически интерпретированы два механизма немодального усиления возмущений, а также выявлены пространственные осцилляции энергии, связанные с взаимодействием наименее устойчивых нормальных мод.

3. На основе резольвентного анализа доказано качественное отличие струйных течений от пристенных в части механизма отклика на внешние гармоническое воздействие малой амплитуды.

Диссертационное исследование Д.А. Ашурова характеризуется высоким научным уровнем, новизной и практической ценностью. Личный вклад соискателя в решение научной проблемы, описанный во введении к диссертации, подтверждается наличием публикаций в рецензируемых научных журналах и участием в работе научных семинаров и конференций различного уровня.

Диссертационное исследование и автореферат Д.А. Ашурова соответствуют современным направлениям развития механики сплошных сред. Полученные результаты полностью отвечают заявленным целям и задачам, а содержание автореферата адекватно отражает основные положения диссертации. Работа представляет собой целостное исследование. Научные результаты, выносимые на защиту, являются новыми и опубликованы в пяти статьях в рецензируемых изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Материалы работы также докладывались на всероссийских и международных научных конференциях. Структура диссертации включает введение, пять глав, заключение и библиографический список из 60 источников. Общий объем составляет 107 страниц, работа содержит 40 иллюстраций и 8 таблиц, что соответствует требованиям к кандидатским диссертациям. Иллюстративный материал информативен, библиография оформлена корректно и отражает ключевые источники по теме исследования. Стиль изложения отвечает нормам научной этики.

- Глава 1 содержит обзор литературы по исследуемым направлениям.
- Глава 2 посвящена анализу устойчивости течения в пограничном слое над податливыми покрытиями при наличии градиента давления, включая постановку задачи, численный метод и результаты параметрического исследования.
- Главы 3 и 4 представляют развитие теории оптимальных возмущений в осесимметричных струях и сравнение соответствующих результатов с экспериментом.
- Глава 5 содержит анализ малых возмущений в затопленной струе при внешнем гармоническом по времени воздействии малой амплитуды на основе резольвентного подхода.

Диссертационное исследование Д.А. Ашурова представляет собой завершённую научную работу, содержащую оригинальные результаты теоретического и прикладного характера. Материалы диссертации обобщают значительный объём исследований, отражённых в публикациях автора. Исследование основано на детальном анализ модальной и немодальной неустойчивости течений с использованием современных математических подходов и алгоритмов. В работе использованы теоретические выкладки, численное моделирование, экспериментальная валидация и физическая интерпретация явлений.

Ниже сформулирован ряд вопросов по диссертации, требующие уточнения и не влияющие на общую положительную оценку работы:

1. В Главе 2 результаты расчетов устойчивости течений в пограничном слое на стенке с вязкоупругим покрытием приведены для конкретного материала покрытия с фиксированными значениями физических параметров. Стоило бы привести более широкое параметрическое исследование, чтобы расширить область применимости результатов для других материалов покрытия.
2. В конце раздела 2.2, где описан численный алгоритм решения задачи линейной гидродинамической устойчивости течения в пограничном слое

на стенке с вязкоупругим покрытием, указаны названия использованных методов библиотеки SciPy (язык Python), хотя стоило бы указать названия соответствующих математических алгоритмов, например, метод Рунге-Кутты для решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений и QZ алгоритм решения обобщенной задачи на собственные значения матриц.

3. Общий вопрос по постановке задачи на линейную устойчивость в разделах 2-4: рассмотренные течения развиваются в пространстве вдоль направления течения, поэтому нарушается сделанное предположение о плоскопараллельности указанных течений. Требуется обсуждение границы применимости полученных результатов линейной устойчивости; например, необходимо ограничить предельную длину волны рассматриваемых малых возмущений - она должна быть мала по сравнению с длиной характерного изменения скорости вдоль потока. В том числе, для струйного течения, вещественная часть волнового числа нормальных мод одного порядка с частотой ω (в безразмерном виде), поэтому параметры стационарных мод ($\omega = 0$), рассмотренные в диссертации, заведомо будут искажаться из-за развития профиля скорости вдоль потока.

Диссертация Д. А. Ашурова представляет собой законченное исследование, выполненное на актуальную тему и отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание работы соответствует специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Работа оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание

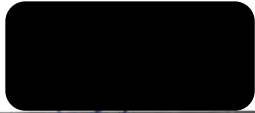
ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Д.А. Ашуров заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.


Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,
старший преподаватель центра науки и
технологий добычи углеводородов,
Автономной некоммерческой
образовательной организации высшего
образования «Сколковский институт науки
и технологий»,

Боронин Сергей Андреевич


«29» мая 2026 г.

Контактные данные:

тел.: , e-mail: s.boronin@skoltech.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.02.05 «Механика Жидкости, газа и плазмы»

Адрес места работы:

121205, г. Москва, Территория инновационного центра «Сколково», Большой
бульвар, д. 30, стр. 1.

Сколковский институт науки и технологий, центра науки и технологий
добычи углеводородов

Тел.: +74952801481; e-mail: s.boroin@skoltech.ru

Подпись сотрудника Автономной некоммерческой образовательной организации высшего
образования «Сколковский институт науки и технологий» Боронина С.А. удостоверяю:

Руководитель отдела кадрового администрирования 

Гук О.С.

