

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

1. Оценка актуальности избранной темы

Исследования механизмов ламинарно-турбулентного перехода обладают высокой научно-практической значимостью при решении различных перспективных задач аэрогидродинамики, гемодинамики и турбомашиностроения. **Актуальность** рассматриваемой диссертационной работы обусловлена потребностью в количественных оценках эффективности податливых вязкоупругих покрытий для пассивного управления переходом в пограничных слоях с градиентом давления и недостаточной изученностью немодальных (алгебраических) механизмов роста возмущений в свободных сдвиговых течениях, в частности в круглых затопленных струях. **Теоретическая значимость** заключается в развитии методов анализа гидродинамической устойчивости, расширении представлений о немодальных механизмах перехода в свободных сдвиговых потоках и уточнении роли вязкоупругих покрытий в течениях с градиентом давления. Результаты вносят существенный вклад в теорию линейной устойчивости и анализа свойств соответствующих спектральных операторов.

Практическая значимость определяется возможностью применения разработанных алгоритмов и полученных закономерностей для прогнозирования перехода к турбулентности, оптимизации параметров податливых покрытий в различных приложениях, а также для управления процессами перемешивания, эжекции и теплообмена в различных струйных аппаратах.

2. Степень обоснованности научных положений и выводов

Диссертация демонстрирует высокий уровень теоретической и вычислительной обоснованности. В методическом плане все основные положения опираются на строгую линейную теорию гидродинамической устойчивости, корректно линеаризованные уравнения Навье–Стокса и линейную теорию упругости, а также на известные методы линейной алгебры. **Обоснованность научных результатов** обеспечивается использованием известных численных методов (метод коллокаций на полиномах Чебышева, алгоритмы поиска собственных значений и оптимизации), которые подробно описаны и **верифицированы** на тестовых задачах. Выводы логически вытекают из проведенных расчетов: например, показана нелинейная зависимость координаты перехода от градиента давления и толщины покрытия, выявлены два физически различных механизма немодального роста («shift-up» и «lift-up»), доказано доминирование истинных резонансов над псевдорезонансами в струйных течениях. **Рекомендации** по управлению течениями сформулированы корректно и опираются на полученные количественные закономерности.

3. Достоверность и новизна полученных результатов

Диссертационная работа Д.А. Ашурова представляет собой законченное исследование, все разделы которой последовательно раскрывают поставленные задачи, а выводы вытекают из проведенного анализа. **Достоверность** результатов обеспечивается комплексной валидацией: сравнением с работами ведущих исследователей, анализом сходимости, а также сопоставлением теоретических прогнозов с экспериментальными данными (глава 4). Методика отбора физически реализуемых мод на основе принципа причинности и анализа траекторий собственных значений в комплексной плоскости применена корректно и повышает надежность пространственного анализа.

Выносимые на защиту результаты диссертации — новые. **Новизна работы** соответствует уровню кандидатской диссертации. В рамках работы впервые получены следующие результаты.

1. Выполнены количественные оценки эффективности монолитных вязкоупругих покрытий в пограничных слоях Фокнера–Скэн с благоприятным градиентом давления; показано, что основной эффект затягивания перехода (до 32–41% по продольной координате) обусловлен не изменением критического числа Рейнольдса, а модификацией инкрементов нарастания возмущений.
2. В пространственной постановке рассчитаны стационарные оптимальные возмущения в круглой затопленной струе, подтвержден закон масштабирования, известный для пристенных течений, выявлены и физически интерпретированы два механизма немодального роста, а также обнаружены и объяснены пространственные осцилляции энергии оптимальных возмущений при их развитии вниз по потоку.
3. Экспериментально идентифицирован и теоретически описан немодальный сценарий роста возмущений в ламинарной струе, качественно совпадающий с механизмом опрокидывания в пристенных течениях.
4. Проведен резольвентный анализ отклика струи на гармоническое воздействие, доказавший, что в отличие от пристенных течений, в струях доминируют истинные резонансы с собственными модами, а псевдорезонансы не превышают их по амплитуде.

4. Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы

В целом диссертационное исследование Д.А. Ашурова демонстрирует высокий уровень научной обоснованности, новизны и практической значимости. Во введении к диссертации автор приводит информацию о своем ключевом личном вкладе в разработку рассматриваемой им научной проблемы. Личный вклад диссертанта подтверждается прямым авторством в научных публикациях и выступлениями на многочисленных конференциях.

5. Оценка структуры и содержания работы, ее завершенности

Представленная диссертация и автореферат Д.А. Ашурова отвечают современным тенденциям развития механики сплошных сред, а полученные результаты соответствуют поставленной цели и задачам. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Диссертация Д.А. Ашурова содержит совокупность новых научных результатов и положений в соответствии с заявленными задачами и имеет внутреннее единство. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 5 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях из перечней баз данных Web of Science и Scopus в течение 2022-2024 годов, а также представлены в материалах многочисленных всероссийских и международных конференций и симпозиумов по специальности диссертанта за тот же период.

Диссертация логично структурирована и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы (60 наименований). Объем работы составляет 107 страниц, включает 40 рисунков и 8 таблиц, что соответствует стандартам кандидатских диссертаций. Рисунки информативны, список литературы корректен и достаточно полон, изложение материала соответствует требованиям научной этики и стиля. Глава 1 содержит систематический обзор литературы по направлениям исследования. Глава 2 посвящена устойчивости пограничных слоев над податливыми покрытиями с градиентом давления, включает постановку задачи, численный метод, валидацию и детальный параметрический анализ. Главы 3 и 4 раскрывают теорию оптимальных возмущений в струях и их экспериментальную валидацию. Глава 5 завершает исследование анализом вынужденных колебаний через резольвентный подход.

6. Отмеченные достоинства и недостатки

Диссертация Д.А. Ашурова является самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены новые научные результаты, имеющие теоретическое

и практическое значение. Содержание диссертации отражает и систематизирует значительный объем проделанных диссертантом исследований, изложенных в его публикациях по разрабатываемой теме. Эти комплексные исследования включают в себя глубокую проработку вопросов модального и немодального роста возмущений в ряде гидродинамических течений, включая теоретическую и вычислительную работу, выполненную на высоком научном уровне с применением широкого арсенала современных математических методов. В диссертации успешно сочетаются теоретический анализ, разработка оригинальных численных алгоритмов, экспериментальная валидация и четкая физическая интерпретация полученных результатов.

В представленной работе я не нахожу принципиальных недостатков. Тем не менее, присутствуют определенные недочеты, не снижающие общей научной ценности диссертации, на которых следует остановиться:

1. Во введении не разграничены четко цели и задачи работы. Складывается впечатление, что по стилю изложения сформулированы цели (разработка..., проведение... и п.), но, по сути, представляется, что даны задачи.
2. Там же (во введении): разработка «...критериев выделения физически реализуемых мод, распространяющихся вниз по потоку.» А бывают физически нереализуемые моды? Что имеется ввиду?
3. Пространственную теорию оптимальных возмущений на основе линеаризованных уравнений Навье–Стокса развили Andersson et al (1999) и Luchini (2000), а не Тумин и Решотко (2001), как утверждает диссертант. Более того ни один из этих авторов не использовал *полные* линеаризованные уравнения Навье-Стокса.
4. В главе 1 не определено, как уровень турбулентности внешнего потока Tu связан со скоростями. В Главе 2 Tu дается в процентах. В главе 1 Tu в формулах тоже в процентах?
5. Выражение в главе 2 «В силу того, что пограничный слой – течение локальное...» нужно пояснить, что имеется ввиду?
6. В главе 3 утверждается, что так как основное течение струи предполагается ламинарным, то ее расширением при анализе устойчивости

можно пренебречь. Следует пояснить, как из одного вытекает другое. Справедливо ли такое упрощение для любых возмущений?

Имеются также замечания технического плана.

1. В тексте встречаются отдельные технические погрешности оформления (например, единичные орфографические типа точек в конце названий разделов, десятичные точки, а не запятые, отсутствие согласования падежей, а также использование научного жаргона типа «неустойчивая мода»), не влияющие на научное содержание.
2. В главе 1 при описании модели пластины на упругом основании, следовало бы упомянуть, что, по сути, используется классическая теория тонких оболочек типа Кирхгофа–Лява.
3. Обычно принято транскрибировать, а не транслитерировать: уравнения Фокнера-Скэн (Falkner), а не Фолкнера-Скэн (было бы в оригинале Faulkner).
4. В работе часто упоминается «lift-up» эффект, вместе с тем, в русскоязычной литературе имеется устоявшееся выражение для него как «эффект опрокидывания». Следовало бы также предложить соответствующий вариант для «shift-up» эффекта.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования Ашурова Дениса Абдулвагабовича «Модальный и немодальный рост возмущений в некоторых гидродинамических течениях». Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации 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, а также 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:

член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией аэрофизических исследований дозвуковых течений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН)

Бойко Андрей Владиславович


«30» мая 2026 г.

Контактные данные:

Телефон (383) 330-42-68, E-mail: boiko@itam.nsc.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
01.02.05 — механика жидкости, газа и плазмы

Адрес места работы:

630090, Институтская 4/1, Новосибирск,
ИТПМ СО РАН, лаборатория аэрофизических исследований дозвуковых течений
Тел.: +7 (383) 330-42-68; e-mail: boiko@itam.nsc.ru

Подпись Бойко Андрея Владиславовича удостоверяю:

Ученый секретарь ИТПМ СО РАН
к.ф.м.-н.



 Кратова Ю.В.