

**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**

Диссертация Дениса Абдулвагабовича посвящена исследованию устойчивости пограничных слоев над податливыми покрытиями и изучению развития немодальных возмущений в струйных течениях. Вопросы конвективной устойчивости, рассматриваемые в диссертации, напрямую связаны с переходом к турбулентной форме движения, приводящим к существенному изменению характеристик потока. Эти вопросы крайне важны для создания новых объектов техники, характеристики которых могут быть улучшены за счет управления переходом в пристеночных и свободных течениях. Все это свидетельствует о несомненной актуальности темы представленной диссертации. Отдельно хочу отметить актуальность исследований влияния податливых покрытий на устойчивость пограничного слоя и ламинарно-турбулентный переход в нем. Эта задача имеет не только большую теоретическую значимость, но и важна для решения таких практических задач, как снижение сопротивления судов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

Особенность данной диссертации состоит в том, что в ней рассмотрены две фактически не связанные между собой задачи, поэтому обзор литературы, приведенный в главе 1, также состоит из двух частей. Первая часть посвящена исследованиям влияния податливых покрытий на характеристики устойчивости пограничных слоёв, нарастающих на таких поверхностях, а вторая — исследованиям немодального роста возмущений в круглых струях.

Глава 2 посвящена исследованию линейной устойчивости пограничных слоев с градиентом давления на вязкоупругой податливой поверхности и оценке влияния такого покрытия на положение ламинарно-турбулентного перехода. В качестве базового решения были выбраны автомоделные профили Фолкнера-Скэн. Важной особенностью исследования является использование модели монолитного слоя вязкоупругого материала, что позволило учесть продольные перемещения в покрытии и поведение возмущений внутри него. Задача решалась методом коллокаций, положение перехода определялось с помощью метода e^N . Используемый подход хорошо валидирован путем сравнения с известными из литературы результатами. Исследовано влияние характеристик покрытия (жесткости, толщины) на положение ламинарно-турбулентного перехода. Выявлен основной механизм влияния покрытия на волны Толлмина-Шлихтинга, который заключается в замедлении скорости роста этих волн без изменения границы устойчивости.

Остальные главы диссертации посвящены развитию немодальных возмущений в струйных течениях. В главах 3 и 4 рассмотрено естественное развитие таких возмущений.

В главе 3 проведен детальный анализ пространственных оптимальных возмущений в круглых затопленных струях с профилями Михалке. В каждом сечении оптимальными считались возмущения, обеспечивающие максимальный прирост кинетической энергии. Их поиск осуществлялся на основе решения вариационной задачи, хочу отметить сложность и разнообразность применяемых при решении этой задачи методов. Были найдены различные закономерности развития немодальных возмущений, приводящих к образованию периодической по азимутальному углу картины.

В главе 4 также рассматриваются немодальные возмущения в струе, для которой имеются экспериментальные данные. Для этой струи проведен анализ немодальной устойчивости и выявлены оптимальные возмущения. Показано, что характеристики этих возмущений качественно и количественно (по

порядку величины) согласуются с результатами экспериментальных исследований.

Глава 5 посвящена исследованию отклика ламинарной затопленной струи на внешнее гармоническое воздействие. Сформулирована постановка задачи и описан численный алгоритм ее решения. Исследование было сфокусировано на поиске оптимального отклика, имеющего нерезонансную природу (псевдорезонанс) и характерного для пристеночных течений. Установлены зависимости отклика от параметров воздействия. Показано, что с уменьшением продольного волнового числа α резонансные пики усиливаются, а спектр отклика становится более узкополосным, при этом во всех случаях доминирующими оказываются истинные резонансы.

На защиту вынесены 4 положения, соответствующие основным результатам глав 2-5 диссертации, поэтому они являются полностью обоснованными. Научные выводы и рекомендации, сделанные в диссертации, базируются на комплексном подходе к исследованию гидродинамической устойчивости, сочетающем классические аналитические методы и современные численные алгоритмы. Этот подход был тщательно верифицирован автором на различных задачах, что обеспечило достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Разработанный автором комплексный подход является новым. Это обеспечило научную новизну полученных с его помощью результатов, касающихся влияния податливых покрытий на ламинарно-турбулентный переход, развития немодальных возмущений в струях и отклика затопленной струи на гармоническое воздействие.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

По диссертации возникли следующие вопросы и замечания

1. Формулировка задачи об устойчивости пограничного слоя над податливым покрытием приведена в смешанной размерно-безразмерной постановке без объяснения причин этого. Кажется уместным либо все привести в безразмерной постановке, либо полностью описать физическую проблему, послужившую прототипом рассматриваемой задачи. В дальнейшем это приводит к трудности восприятия текста. Например, не так просто разобраться в утверждении на странице 40 «в пределах расчетной области неустойчивая мода затухает с глубиной уже в покрытии толщиной 3мм. Это происходит из-за того, что рост возмущений в таких течениях происходит при числах Рейнольдса меньших, чем для пограничных слоёв с благоприятным градиентом давления, что приводит к росту безразмерной толщины покрытия.».

2. Не показано, как вычисляется «критическое число Рейнольдса», приведенное на рисунке 2.5.

3. На странице 45-46 приведены параметрические профили Михалке и указано, что толщина потери импульса линейно возрастает с координатой. Это верно для решения Ландау для развитой струи, но верно ли это для развивающейся струи?

4. На странице 64 приведена фраза «Именно это соотношение (3.25) показывает возможность «накачки энергии» в случае комбинации алгебраического роста с модальным ростом. Начальный алгебраический рост, как бы, накачивает энергию в растущую моду, которая сохраняет эту накачку вниз по течению». Во-первых, непонятно значение термина «накачка энергии». Во-вторых, непонятно, как возможность «накачки энергии» следует из выражения (3.25).

5. Для модальной неустойчивости струй автор акцентирует различие между случаями $m = 1$ и $m > 1$. Топологически это различие кажется довольно условным, в обоих случаях в азимутальном направлении можно выделить

области размером π/m , в которых радиальная компонента возмущения скорости сохраняет знак (попеременно положительный и отрицательный).

6. В главах 3 и 4 рассматривается немодальный рост возмущений в круглых струях, при этом сравнение с экспериментом делается только в главе 4. Если рассматривать это сравнение как валидацию метода, то было бы естественно поменять главы 3 и 4 местами, чтобы сначала показать валидацию, потом применение.

7. В заключении на странице 99 упоминается байпасный сценарий перехода для струй. Этот сценарий хорошо известен для пограничных слоев, встречается ли он на практике в струях?

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. 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 Ашуров Денис Абдулвагабович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
профессор высшей школы прикладной математики и вычислительной физики
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого»

Гарбарук Андрей Викторович



подпись

19.05.26 Дата подписания

Контактные данные:

тел.: [REDACTED], e-mail: agarbaruk@spbstu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.02.05 «Механика Жидкости, газа и плазмы»



Адрес места работы:

195220, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29

СПбГПУ, высшая школа прикладной математики и вычислительной физики,

Тел.: +7-821-552-6621; e-mail: aero@spbstu.ru

Подпись сотрудника

ОРГАНИЗАЦИИ И.О. Фамилия удостоверяю:

руководитель/кадровый работник

дата

И.О. Фамилия