



Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН)

Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИВМ СО РАН)

Академгородок, д. 50, стр. 44, Красноярск, 660036
тел.: (391) 243-27-56, факс (391) 290-74-76
e-mail: sek@icm.krasn.ru; <http://icm.krasn.ru>
ОКПО 05239177, ОГРН 1022402133698,
ИНН/КПП 2463002263/246345005

12.02.2021 № 15303 - 21/03-15
на № _____ от _____

Отзыв на автореферат

И.о. учёного секретаря
диссертационного совета
Д 003.035.02
В. И. Корнилову

ул. Институтская, 4/1,
г. Новосибирск, 630090,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Семёнова Александра Николаевича
«Численное моделирование малых возмущений в сверхзвуковом пограничном слое»
на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Развитие технологий, используемых при создании высокоэффективных летательных аппаратов с системами управления пристеночными пограничными слоями, существенно расширило круг задач, изучение которых представляет как фундаментальный научный, так и практический интерес. Одной из главных и наиболее сложных задач является определение характеристик ламинарно-турбулентного перехода, решение которой требует междисциплинарного подхода и привлечения как теоретических, так и экспериментальных методов, развиваемых в теплофизике, аэродинамике, механике сплошной среды. Сложность указанной проблемы обусловлена совокупностью линейных и нелинейных эффектов, связанных с влиянием внешних возмущений на возникновение и развитие неустойчивостей в пограничном слое. Надёжные количественные данные о критических характеристиках устойчивости, о длине зоны перехода в пристеночных пограничных слоях и их зависимости от параметров и условий задачи обеспечивают необходимую основу для получения расчётных характеристик теплообмена, сопротивления трения, термической защиты аппаратов авиационной и космической техники, а также для определения конструктивных способов искусственной ламинаризации потока и/или минимизации аэродинамического нагрева. Несмотря на большое количество исследований в данной области, в настоящее время нет полной теории с исчерпывающей полнотой описывающей ламинарно-турбулентный переход. Поэтому диссертационная работа Семёнова А. Н., посвящённая численному моделированию динамики возмущений в сверхзвуковом пограничном слое имеет как теоретическое, так и практическое значение, а её актуальность не подлежит сомнению.

В диссертации в рамках теории гидродинамической устойчивости на основе уравнений Дана – Лина, Алексеева для линейных возмущений исследовано влияние угла направленного вдува газа через пористую поверхность на устойчивость сверхзвукового пограничного слоя при

числе Маха $M = 2$. Впервые для поиска частот наиболее опасных возмущений в двумерной задаче реализован эволюционный метод. Численно установлено дестабилизирующее влияние вдува по нормали к основному потоку, определён диапазон изменений угла вдува, при которых подача однородного газа через пористую поверхность слабо влияет на характеристики устойчивости основного течения. Изучена задача о взаимодействии сверхзвукового пограничного слоя над пластиной, обтекаемой потоком и находящейся под нулевым углом атаки, и внешнего акустического поля, порождающего периодические возмущения. Для случая $M = 2$ показано, что наличие акустического поля может стимулировать ускорение перехода из ламинарного режима течения в турбулентный в пристеночном сверхзвуковом пограничном слое. Исследовано влияние пространственной ориентации волнового фронта на параметры возмущений и изучена зависимость возникающих колебаний от частоты акустической волны. Показано, что интенсивность колебаний существенным образом зависит от направления облучения пластины акустической волной. Проведено прямое численное моделирование эволюции контролируемых периодических возмущений от одного или двух локализованных источников на плоской пластине в сверхзвуковом пограничном слое при числах Маха $M = 2$ и $M = 2.5$. Рассчитаны амплитудные спектры возмущений, вводимых в пограничный слой за счёт вариаций нормальной компоненты массового расхода. Определена степень нарастания и угол скольжения для наиболее растущей волны, подтверждаемые экспериментальными данными для случая одного источника. Результаты численного моделирования для двух источников, работающих синхронно, демонстрируют эффект интерференции двух волновых цепочек и формирование характерной интерференционной картины в β -спектре с набором из нескольких узлов и пучностей. Количественные расхождения экспериментальных и численных результатов для случая двух источников связаны с нелинейными взаимодействиями возмущений, которые не могут быть описаны в рамках линейной теории устойчивости. Изучена динамика единичных пакетов возмущений различной длительности, вносимых в сверхзвуковой пограничный слой при числе Маха $M = 2$. Установлена существенная зависимость структуры поля возникающих течений и поведения волновых пакетов от длительности генерируемых источником возмущений. Определены частоты наиболее опасных возмущений и характерные особенности поведения возмущений для разных диапазонов частот.

В работе никак не отражается момент, касающийся корректного замыкания задачи устойчивости в случае скользящих акустических волн с волновым вектором, параллельным поверхности пластины, возникающий в рамках классической теории устойчивости. Правильно ли я понимаю, что подобная конфигурация в работе не рассматривалась? А если рассматривалась, то каким образом удалось преодолеть возникающую сложность?

Имеется несколько несущественных замечаний технического характера по оформлению автореферата: в тексте встречаются опечатки (на стр. 12 «вводилось возмущения») и пунктуационные ошибки. Замечания не влияют на качество полученных результатов и не снижают научной и прикладной значимости работы. К несомненным достоинствам следует отнести исследования локализованных возмущений и двумерных акустических возмущений с произвольной ориентацией, поскольку для сверхзвуковых течений подобных работ известно немного, что объясняется высокой сложностью возникающих задач.

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением корректных физически обоснованных математических подходов к описанию изучаемых явлений, использованием надёжных вычислительных методик и подтверждается удовлетворительным совпадением результатов численного моделирования с экспериментальными данными и с данными вычислений, полученных для предельных случаев в рамках классических подходов.

На основании ознакомления с авторефератом и диссертацией можно заключить, что представленная диссертационная работа по качеству и научному уровню удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации, Семёнов Александр Николаевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Заведующий отделом дифференциальных уравнений механики, д.ф.-м.н.

В.Б. Бекежанова

1. Фамилия, имя, отчество – Бекежанова Виктория Бахытовна
2. Наименование организации – Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМ СО РАН) – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
3. Должность, учёная степень – заведующий отделом, доктор физико-математических наук
4. Почтовый адрес – 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/44
5. Телефон, e-mail – 8(391)290-51-42; vbek@icm.krasn.ru

Подпись Бекежановой Виктории Бахыт
Учёный секретарь ИВМ СО РАН
к.ф.-м.н.

А.В. Вяткин

Я, Бекежанова Виктория Бахыт
данных в документы, связанные с
обработку.

своих персональных
а, и их дальнейшую