

ОТЗЫВ

официального оппонента Новикова Андрея Валерьевича
на диссертацию **Яцких Алексея Анатольевича**

Экспериментальное исследование возбуждения и эволюции волнового пакета
в сверхзвуковых пограничных слоях»,

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Яцких Алексея Анатольевича посвящена экспериментальному изучению пространственно-временного развития контролируемых волновых пакетов на режимах ламинарно-турбулентного перехода в сверхзвуковом пограничном слое на плоской пластине и скользящем крыле.

Актуальность. Диссертация Яцких А.А. посвящена исследованию ламинарно-турбулентного перехода в двумерных и трёхмерных сверхзвуковых пограничных слоях. Актуальность данной тематики обусловлена важностью изучения фундаментальных механизмов перехода, а также необходимостью решения практических задач управления высокоскоростными пристенными течениями. Экспериментальные данные, представленные в данной работе, могут быть использованы для верификации и развития теоретических моделей ламинарно-турбулентного перехода. Поэтому работа Яцких А.А. является актуальной.

Научная новизна работы заключается в получении новых экспериментальных данных по развитию локализованных волновых пакетов в сверхзвуковых пограничных слоях. В работе впервые экспериментальным путём определены нарастающие моды волнового пакета в сверхзвуковом пограничном слое на пластине и скользящем крыле при числе Маха 2. Также изучено влияние характеристик генератора на основе импульсного тлеющего разряда на возбуждаемые локализованные возмущения. Определены скорости распространения волновых пакетов при числах Маха 2, 3 и 4.

Научная и практическая значимость состоит в том, что полученные в работе экспериментальные характеристики волновых пакетов существенно

дополняют до сих пор малый объём известных данных аэродинамических измерений о процессе ламинарно-турбулентного перехода в особенности при сверхзвуковых скоростях. Эта информация развивает фундаментальные представления о физических механизмах эволюции возмущений в сверхзвуковых пограничных слоях на начальной стадии перехода течения в турбулентное. Кроме того, полученные в работе детальные характеристики возмущений могут в явном виде использоваться для верификации расчётных программ. Наконец, с технической точки зрения развитый метод возбуждения контролируемых волновых пакетов и отработанная схема непосредственно генератора может применяться в подобных исследованиях другими экспериментаторами.

Достоверность работы обеспечивается использованием надежных апробированных методик и средств измерений, с помощью которых были получены признанные во всем мире научные результаты. Измеряемые данные подержаны, где это возможно, результатами численного моделирования и анализом по линейной теории устойчивости. В целом, информация, представленная в разделах диссертационной работы, дополняет друг друга и даёт целостную непротиворечивую картину изучаемого явления. Свидетельством достоверности также является представление результатов диссертации на многочисленных российских и международных научных конференциях, а также публикации в рецензируемых журналах.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Объём диссертации составляет 145 страниц.

Введение представляет собой достаточно подробный обзор предшествующих работ (цитируется 112 работ), описание актуальности работы, её научной новизны и практической значимости. Также во введении сформулированы цели работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, дано краткое содержание диссертации, отмечен личный вклад автора.

В первой главе даётся описание экспериментального оборудования, методики проведения экспериментов и обработки экспериментальных данных; описаны модели плоской пластины и скользящего крыла.

Во второй главе приведены описания работы используемых схем зажигания импульсного разряда – генератора искусственных возмущений. Представляются результаты исследований по влиянию параметров импульсного разряда на генерируемые в пограничном слое плоской пластины волновые пакеты при числах Маха потока 2, 3 и 4. Показано, что амплитуда возбуждаемых разрядом возмущений зависит от длительности и силы тока разряда. Проведены оценки скорости распространения локализованных возмущений в сверхзвуковом пограничном слое.

В третьей главе представлены результаты экспериментального исследования развития локализованных возмущений в сверхзвуковом пограничном слое плоской пластины при числе Маха 2. Анализируется пространственная структура волновых пакетов в пограничном слое, сгенерированных импульсным разрядом с различной длительностью и энергией. Демонстрируются, в частности, уникальные измеренные поля пульсаций в плоскостях (x,t) , (y,t) и (z,t) с детальностью обычно доступной только в прямом численном моделировании. Показано, что на боковых фронтах изначального возмущения от разряда формируется пакет возмущений, нарастающих вниз по потоку. Обнаружено расплывание волнового пакета в продольном и трансверсальном направлениях. Проведен частотно-волновой анализ развития локализованных возмущений. Определены волновые числа наиболее нарастающих вниз по потоку возмущений на различных частотах. Обнаружено, что низкочастотная часть волнового пакета развивается в пограничном слое вниз по потоку в измеряемом диапазоне координат согласно представлениям линейной теории аэродинамической неустойчивости, тогда как при более высоких частотах наиболее растущие волны имеют поперечные волновые числа значительно большие, чем предсказывает линейная теория.

В четвертой главе описываются результаты экспериментальных исследований развития волновых пакетов в сверхзвуковом пограничном слое на скользящем крыле при числах Маха набегающего потока $M=2$. Анализируется пространственная структура волнового пакета. Получено, что на боковых фронтах возмущения от генератора формируются структуры, которые значительно увеличивают пространственный масштаб волнового пакета. Определены наиболее растущие вниз по потоку моды волнового пакета, оценены коэффициенты пространственного роста возмущений вниз по потоку. Проведено сравнение экспериментальных данных с расчётами по линейной теории устойчивости. Показано, что волновой пакет в пограничном слое на скользящем крыле в измеряемом диапазоне координат развивается согласно линейной теории.

В заключении формулируются основные выводы работы.

Диссертация Яцких А.А. является законченным научным исследованием, результаты которого имеют фундаментальную значимость. Диссертация содержит обширный обзор литературы и чёткую постановку задачи. Текст диссертации достаточно подробно описывает результаты, использованные методики обеспечивают надежное получение экспериментальных результатов. Части работы логически связаны и создают целостную картину исследуемого явления. Содержание работы позволяет сделать вывод, что Яцких А.А. провел целенаправленную работу по изучению возбуждения и эволюции волновых пакетов в сверхзвуковых пограничных слоях.

Диссертация не лишена некоторых недостатков и в качестве замечаний можно высказать следующее:

1. В диссертации не полностью описаны параметры потока – не указаны температуры торможения.
2. В главах 2 и 3 приводится сравнение с результатами прямого численного моделирования, но нет информации об использованном методе и расчётных сетках.

3. В главе 4 проводится сравнение экспериментальных данных с результатами расчётов по линейной теории устойчивости. При этом показаны только темпы роста возмущений, а сравнивается характеристика наиболее неустойчивой волны. Было бы полезно сравнить экспериментальные и теоретические ширины спектра, а также интегральное усиление пакетов (N-факторы).

4. Не смотря на в целом качественный текст работы, всё же присутствует несколько опечаток и орфографических ошибок.

Указанные недостатки, тем не менее, не умаляют значение представленной работы, несут рекомендательный характер и не снижают положительную оценку.

Диссертация Яцких А.А. на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук является завершённой научно-квалификационной работой, которая является цельным и законченным научным исследованием. Работа имеет чёткую цель, её результаты обладают несомненной новизной и представляют значительный интерес как с фундаментальной, так и практической точек зрения. Тема диссертации полностью соответствует научной специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Работа прошла достаточную апробацию: основные результаты диссертации опубликованы в статьях в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях из перечня ВАК и доложена на многих конференциях.

Автореферат диссертации в полной мере отражает её содержание. Замечаний по оформлению реферата нет.

Считаю, что диссертационная работа Яцких Алексея Анатольевича полностью удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор несомненно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент,

д.ф.-м.н., начальник отдела ФГУП ЦАГИ

А.В. Новиков

Подпись д.ф.-м.н. А.В. Новик

Учёный секретарь Совета I

д.т.н., доцент

С.А. Таковицкий

29.07.20

Телефон: +7 (916) 375-31-62

E-mail: AndrewNovikov@yandex.ru

Наименование организации: Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ»)

Должность: Начальник отдела НИО 8

Адрес: 140180 Россия, г. Жуковский, Московская область, ул. Жуковского, 1

Телефон. +7 (495) 556-43-03

<http://www.tsagi.ru>