

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Каприлевской Валерии Станиславовны «Исследование возникновения и развития продольных вихрей и их вторичной неустойчивости на модели летающего крыла», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы».

Актуальность работы обусловлена тем, что настоящее время на большое количество летательных аппаратов устанавливаются стреловидные крылья. Данный тип крыльев можно встретить на гражданских, военных и беспилотных летательных аппаратах. Беспилотная авиация широко используется как для военных целей, включающих в себя: разведку, перехват воздушных целей, создание радиопомех и т.д., так и гражданских задач: наблюдение за объектами, доставка, воздушная фотография и т.д. Интенсивное развитие малой и сверхмалой беспилотной авиации приводит к конкурентной борьбе за лётные характеристики летательных аппаратов. Для большинства беспилотных самолетов малые полётные числа Рейнольдса являются одной из особенностей их эксплуатации. Снижение сопротивления с помощью ламинаризации течения над обтекаемыми плоскостями является одним из параметров, с помощью которого можно улучшить характеристики летательного аппарата.

Известно, что при обтекании стреловидных (или скользящих) крыльев возникают некоторые особенности, например, из-за несовпадения направлений градиента давления и скорости набегающего потока линии тока над крылом принимают S-образную форму. В связи с этим формируется трехмерная структура пограничного слоя с точкой перегиба, которую связывают с неустойчивостью

поперечного течения. Таким образом, стреловидность является причиной появления дополнительного механизма неустойчивости. Это, в свою очередь, способствует формированию продольных структур, на которых реализуются соответствующие условия для образования и развития вторичных возмущений. Такой физический механизм приводит к ламинарно-турбулентному переходу на крыле со стреловидной передней кромкой. С другой стороны, в области передней кромки, где происходит зарождение возмущений, как правило, присутствует ускорение потока и данное обстоятельство способствует подавлению высокочастотных возмущений. Поэтому, с позиций появления ламинарно-турбулентного перехода, область ускорения потока до недавнего времени не представляла интереса для исследователей. Работа Каприлевской В.С. направлена на устранение данного пробела и показывает, что существуют режимы течения, при которых неоднородности поверхности вблизи передней кромки способны привести к раннему возникновению ламинарно-турбулентного перехода.

Также в данной работе продемонстрирован один из способов управления развитием возмущений пограничного слоя – распределённый отсос через мелкоперфорированную поверхность. В результате с помощью данного метода удалось уменьшить интенсивность возмущений за элементом шероховатости добиться полной реламинаризации течения.

Целью диссертационной работы Каприлевской В.С. являлось изучение влияния различных элементов шероховатости на течение, формирующееся на скользящих крыльях в области благоприятного градиента давления.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы и списка публикаций. Текст диссертационной работы напечатан на 112 страницах и содержит 64 рисунка.

Во введении представлены цель и задачи исследования, а также раскрыта актуальность темы исследования и приведены: научная новизна; положения, выносимые на защиту; достоверность научных результатов; сведения об апробации работы.

В первой главе диссертации приводится обзор литературы и дается анализ работ по теме ламинарно-турбулентного перехода на плоской пластине, прямом и скользящем крыльях. Также были рассмотрены публикации, в которых проводились исследования за элементами шероховатости, и работы, касающиеся управления течением на крыле.

Вторая глава диссертационной работы посвящена описанию экспериментальных методик, которые использовались при исследовании свойств и эффектов, возникающих в пограничном слое скользящего крыла. Отработка изученных методик проводилась в приложении задачи исследования влияния элементов шероховатости, расположенных на передней кромке крыла на течение в области благоприятного градиента давления. Основной методики визуализации, с помощью которой проводились качественные измерения, являлась жидкокристаллическая термография. Полученные результаты дополнялись количественными данными, снятыми с помощью термоанемометрии, и позволила сделать более полное исследование интересных особенностей течения. Проведенные исследования показали качественное совпадение результатов, полученных с помощью используемых методик.

В третьей главе описано более детальное исследование взаимодействия элементов шероховатости, а именно, влияние двумерного элемента шероховатости на течение, формирующееся за трехмерным элементом. С помощью визуализации потока, выполненной посредством термоанемометрии, удалось увидеть, что при высоте двумерного элемента $h_{2D} = 0.65$ мм и более происходит увеличение размеров структуры и перестроение течения. Также обнаружено, что после прохождения двумерного элемента шероховатости на структуры, формирующиеся за обоими элементами, действует один механизм развития. Выявлено, что наложение акустического поля ведет к усилению выявленных эффектов.

Основная часть данной главы посвящена исследованию процесса ламинарно-турбулентного перехода за локализованным трехмерным элементом

шероховатости, расположенным в области благоприятного градиента давления, на наветренной стороне трапецевидного летающего крыла. Экспериментально показано, что за трехмерным элементом шероховатости высотой $h_{2D} = 0.98$ мм, расположенным на расстоянии 6 мм от передней кромки крыла, происходит формирование стационарного вихря, который увеличивается в размерах вниз по течению. Также отмечено, что траектория данного стационарного возмущения имеет небольшой изгиб. Термоанемометрические измерения показали, что искомый стационарный вихрь состоит из двух возмущений различных размеров, что объясняется наличием поперечного течения на крыле.

В четвертой главе рассматривается возможность управления течением за элементом шероховатости с помощью отсоса пограничного слоя. В результате эксперимента было показано, что при помощи отсоса пограничного слоя удалось реламинизировать течение и избавиться от отрыва на крыле в области неблагоприятного градиента давления. Получено, что при включенном отсосе интенсивность интегральных пульсаций скорости в следе за шероховатостью для «естественных возмущений» малых амплитуд снижается в 5 раз. Для усиленных звуковым воздействием возмущений интенсивность снижается на два порядка.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

– Проведено подробное исследование влияния двумерного элемента шероховатости на течение за трехмерным элементом с помощью методики термоанемометрии.

– Впервые проведены исследования на наветренной стороне модели летающего крыла в диапазоне скоростей 7,2–20 м/с и числа Рейнольдса, рассчитанного по хорде крыла $Re_c \approx 250000–650000$, соответствующих полётным значениям для реальных аппаратов в области благоприятного градиента давления за элементами шероховатости, и изучены механизмы вторичной неустойчивости возмущений, приводящих к турбулентности.

– С помощью методики жидкокристаллической термографии показано, что за трехмерным элементом шероховатости формируется продольная структура, вниз по течению наблюдается изгиб траектории данной структуры и увеличение ее размеров.

– С помощью термоанемометрии изучена внутренняя структура продольного возмущения. Показано наличие двух стационарных возмущений различных размеров, что обусловлено наличием поперечного течения и вторичных возмущений, приводящих к переходу.

– Исследовано и количественно определено влияние распределенного отсоса через мелкоперфорированный вкладыш на пространственное развитие стационарного возмущения от трехмерного элемента шероховатости в пограничном слое прямого крыла. Показано, что отсос способен реламинизировать течение и устранить отрыв пограничного слоя.

– Адаптирована методика определения области максимальной восприимчивости к положению элемента шероховатости на передней кромке модели летающего крыла.

Достоверность диссертационной работы обеспечена тем, что экспериментальные исследования проводились в малотурбулентной аэродинамической трубе Т-324, степень турбулентности набегающего потока которой не превышает 0,04%.

Помимо использования надежных и апробированных методик визуализации и измерений, в работе также использовалось высокоточное измерительное оборудование. Полученные данные, представленные в диссертации согласуются и дополняют друг друга. Также свидетельством достоверности является широкая апробация главных результатов диссертации на различных всероссийских и международных научных конференциях, а также публикация в рецензируемых журналах.

Основные результаты диссертации опубликованы в 6 статьях в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК.

Автореферат корректно отражает содержание диссертации.

По работе имеются следующие замечания:

1. Не указана шероховатость поверхности жидкокристаллической пленки и влияние ее краев на область измерения, так как пленка не бесконечна.
2. Также в работе не сказано о влиянии концов двумерного элемента шероховатости на полученные результаты.
3. В главе 2 не дается обоснование выбора высоты трехмерного элемента шероховатости при работе с наложением акустического поля.

Указанные замечания не умаляют значение представленной работы, несут рекомендательный характер и не снижают положительную оценку работы.

Заключение

Диссертационная работа Каприлевской В.С. «Исследование возникновения и развития продольных вихрей и их вторичной неустойчивости на модели летающего крыла» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу по актуальной тематике. По объему и новизне полученных результатов, достоверности, научной и практической значимости диссертационная работа отвечает всем требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Я, Сухинин Сергей Викторович, согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Каприлевской Валерии Станиславовны и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

д.ф.-м.н.

Сухинин С.В. «15» 06 2021г.

Сухинин Сергей Викторович

доктор физико-математических наук,

специальность ВАК 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

адрес: 630090, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, д. 15

телефон: (383) 330-12-41

e-mail: sukhinin@hydro.nsc.ru

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук

Должность: ведущий научный сотрудник лаборатории газовой детонации

Web-сайт организации: <http://www.hydro.nsc.ru>

Телефон организации: (383) 333-16-12

Подпись д.ф.-м.н. Сухинина Сергея Викторовича удостоверяю

Учёный секретарь ИГиЛ СО РАН

к. ф.-м. н.

Хе

2021 г.

Председателю
диссертационного совета
Д 003035.02
академику В.М. Фомину

ЛИЧНОЕ СОГЛАСИЕ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Я, Сухинин Сергей Викторович, даю свое согласие выступить в качестве официального оппонента по диссертации Каприлевской Валерии Станиславовны на тему: «Исследование возникновения и развития продольных вихрей и их вторичной неустойчивости на модели летающего крыла» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

О себе сообщаю:

Ученая степень, отрасли науки	д.ф.-м.н.
Научные специальности, по которым защищена диссертация	01.02.05- механика жидкости, газа и плазмы
Ученое звание	с.н.с
Академическое звание	
Тел:	+7 (913) 915 46 94
E-mail:	sukhinin@hydro.nsc.ru
Должность	Ведущий научный сотрудник
Подразделение организации	Лаборатория газовой детонации
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук
Ведомственная принадлежность орг.	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Адрес служебный: Почтовый индекс, город, улица, дом	630090, Российская Федерация, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, д. 15
Web-сайт организации.	http://www.hydro.nsc.ru
Телефон организации.	+7 (383) 333-16-12
E-mail организации.	igil@hydro.nsc.ru

По теме рассматриваемой диссертации имею 86 научных работ, в том числе в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 работ):

№	Авторы	Название	Издательство, журнал, год, №, страницы	Вид, год
1	Трилис А.В., Сухинин С.В., Юрковский В.С.	Неустойчивость сферического фронта горения как источник звука с дискретными модами	Тезисы докладов шестой открытой всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по акустике. -2019, С. 211-212.	Тезисы, 2019
2	Константинов А.П., Сухинин С.В.	Волновые свойства двойной одномерно периодической решетки пластин	Сибирский журнал индустриальной математики, 2018, Т. 21, № 1 (73). С. 35-46	Статья, 2018
3	Алексенцев А.А., Саженов А.Н., Сухинин С.В.	Акустические резонансные явления в каналах перепуска воздуха авиационных двухконтурных двигателей	Прикладная механика и техническая физика. – 2016 –Т.57, №6(340), С.12-21	Статья, 2016
4	Konstantinov A.P., Sukhinin S.V.	Wave transmission and reflection at the boundary of phononic crystals	AIP conference proceedings Ser. "international conference of numerical analysis and applied mathematics, ICNAAM 2017. -2018- С.470042	Статья, 2018
5	Sukhinin S.V. , Yurkovskiy V.S., Konstantinov A.P., Trilis A.V.	Wave propagation in channels and cracks with elastic walls	Journal of physics: conference series. – 2017- Т.894, №1, С.012093	Статья, 2017
6	S.L. Gavriljuk, N.I. Makarenko, S.V. Sukhinin.	Waves in Continuous Media// Springer International Publishing AG 2017. Lecture Notes in Geosystems Mathematics and Computing.	Springer International Publishing AG 2017. Lecture Notes in Geosystems Mathematics and Computing.	Монография 2017

Не являюсь членом экспертного совета ВАК

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку.

13.04.2021г.

С. В. Сухинин

Подпись заверяю

зав. канцелярии

Сухинин С.В.