

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Бердникова В.С. на диссертацию Каприлевской Валерии Станиславовны “Исследование процессов возникновения и развития продольных возмущений при наличии элементов шероховатости в области благоприятного градиента давления на модели летающего крыла”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

В диссертационной работе Каприлевской Валерии Станиславовны систематизированы результаты экспериментальных исследований эффектов, которые возникают и развиваются при наличии различных элементов шероховатости в области благоприятного градиента давления на модели скользящего крыла, на модели трапециевидного летающего крыла и на модели прямого крыла, с установленной в него перфорированной вставкой, через которую реализовывался отсос. В последнем случае проведено исследование по управлению течением с помощью отсоса пограничного слоя. Исследования проведены в режимах развития естественных возмущений в следах за шероховатостью и при их усилении внешним акустическим полем.

Актуальность темы работы определяется в первую очередь наличием большого разнообразия беспилотных летательных аппаратов, которые широко применяются для решения военных и гражданских задач. Интенсивное развитие беспилотной авиации приводит к необходимости фундаментальных исследований для создания теоретических основ - базиса для совершенствования конструкций летательных аппаратов, расширения диапазонов их функциональных возможностей. Новые данные о ламинарно-турбулентных переходах и развитии турбулентности практически необходимы для повышения эффективности создания и эксплуатации летательных аппаратов. Полученные результаты вносят существенный вклад в базовые знания об устойчивости низкоскоростных воздушных потоков, о развитии и взаимодействиях возмущений различных частот и длин волн в пограничных слоях на обтекаемых телах различных форм. Эти знания являются фундаментом для разработки способов управления режимами обтекания различных тел.

Новизна результатов работы обусловлена в первую очередь тем, что впервые выполнены систематические экспериментальные исследования локальной структуры течения в пограничных слоях на моделях скользящего крыла и трапециевидного летающего крыла при наличии различных комбинаций трехмерных шероховатостей и двумерных ступенек.

Установлено, что двумерная шероховатость локально дестабилизирует вторичные возмущения, зарождающиеся в набегающем стационарном возмущении. Показано, что наложение акустического поля с частотой 500 Гц приводит к интенсификации процессов перестроения масштаба продольных структур и к увеличению области с турбулентным режимом течения.

Впервые выполнены исследования обтекания наветренной стороны модели трапециевидного скользящего крыла с установленными на поверхности элементами шероховатости. При всех режимах обтекания обнаружено отклонение от нормали и искривление формы продольной структуры. Экспериментально исследовано обтекание модели малоразмерного беспилотного летательных аппаратов в аэродинамической трубе при натурном размере и в диапазоне натуральных чисел Рейнольдса. Впервые изучено влияние отдельных и группы шероховатостей на особенности режимов обтекания. Исследовано влияние распределенного отсоса через перфорированный вкладыш на пространственное развитие стационарного возмущения от трехмерного элемента шероховатости в пограничном слое прямого крыла. Впервые экспериментально показано, что с помощью отсоса пограничного слоя можно убрать отрыв на крыле в области неблагоприятного градиента давления, а также снизить интенсивность стационарных возмущений, порождаемых элементами шероховатости на два порядка при включенном отсосе.

Достоверность результатов и обоснованность научных положений и выводов представленных в диссертации обеспечивается тем, что экспериментальные исследования проведены на уникальной аэродинамической трубе Т-324 с низкой степенью турбулентности набегающего потока. Экспериментальные результаты во всех случаях получены с использованием разработанных и постоянно совершенствующихся в ИТПМ автоматизированных измерительных комплексов пространственно–временной термоанемометрической визуализации полей скорости. Отработаны и применены для исследований ламинарно-турбулентных переходов методики жидкокристаллической термографии, используемые одновременно с термоанемометрией, что позволило получить принципиально новые результаты. Полученные результаты, там где возможно, сопоставлены с известными результатами экспериментальных работ других авторов.

Научная и практическая значимость работы заключается в получении новых научных данных о процессах происходящих на поверхности летающего крыла, представляющего собой модель современного беспилотного летательного аппарата. Экс-

периментально исследовано обтекание модели малоразмерного беспилотного летательных аппаратов в аэродинамической трубе при натурном размере и в диапазоне натуральных чисел Рейнольдса. Исследования на наветренной стороне модели летающего крыла позволили получить данные необходимые для развития теории аэродинамических процессов и методов управления режимами обтекания беспилотного летательного аппарата, оснащенного системами наблюдения или вооружения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка публикаций по теме диссертации и списка цитируемой литературы, включающего 47 наименований. Работа содержит 64 рисунка. Общий объем диссертации составляет 112 страниц.

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цели работы, перечислены положения, выносимые на защиту, научная новизна, кратко описаны методологии и методы исследований, приведены сведения об апробации результатов и информация о структуре работы.

В первой главе представлен исторический обзор по теме диссертации. Представлен краткий анализ литературы по тематике ламинарно-турбулентного перехода на плоской пластине, прямом и скользящем крыльях. Перечислены ключевые работы, в которых проводились исследования за элементами шероховатости. Приведен краткий обзор результатов исследований по управлению течением.

Вторая глава посвящена описанию экспериментальных методик, использованных в проведенных исследованиях особенностей пограничных слоев на модели скользящего крыла. Как основная методика визуализации выбрана жидкокристаллическая термография. Этот способ исследования пристенных течений позволяет наглядно видеть интересующие области и особенности поверхности крыльев, получать панорамные картины течений без траты большого количества времени. При совместном использовании с термоанемометрическими измерениями, данная методика позволила сделать более полное исследование интересных особенностей течения. Проведенные исследования показали качественное совпадение результатов, полученных с помощью методики жидкокристаллической термографии и термоанемометрии.

В третьей главе выполнено более детальное исследование влияния двумерного элемента шероховатости на течение, формирующееся за трехмерным элементом. С помощью термоанемометрии выполнена визуализация потока, показано влияние высоты двумерного элемента на стационарную структуру. Выяснено, что после высоты $h_{2D} =$

0.65 мм структура увеличивается в размерах и течение в целом перестраивается. Было обнаружено, что после прохождения двумерного элемента шероховатости на структуры, формирующиеся за обоими элементами, действует один механизм развития. Наложение акустического поля ведет к усилению выявленных эффектов. Основная часть главы посвящена исследованию процесса ламинарно- турбулентного перехода за локализованным трехмерным элементом шероховатости, расположенным в области благоприятного градиента давления, на наветренной поверхности трапециевидного летящего крыла. Для данной конфигурации была найдена область максимальной восприимчивости пограничного слоя к возмущениям, которая находилась в 6 мм от передней кромки крыла. С помощью жидкокристаллической термографии получены картины визуализации течения за трехмерным элементом шероховатости высотой 0.98 мм, сравнимой в данном месте с толщиной пограничного слоя, расположенным в области максимальной восприимчивости. Вниз по течению наблюдается изгиб траектории продольной структуры и увеличение ее размеров. С помощью термоанемометрии было установлено, что продольная структура состоит из двух стационарных возмущений, которые имеют разный размер. Такое различие обусловлено наличием поперечного течения на крыле. При движении вниз по течению размеры возмущений увеличиваются, и происходит незначительная деформация их формы. Частотный состав пульсаций возмущений при этом смещается в область низких частот.

В четвертой главе изучены возможности управления течением за трехмерным элементом шероховатости с помощью отсоса пограничного слоя. Эксперименты проводились на модели прямого крыла, с установленной в него мелкоперфорированной вставкой, через которую реализовывался отсос. Исследовано влияние распределенного отсоса через перфорированный вкладыш на пространственное развитие стационарного возмущения и пульсационных характеристик вторичных возмущений от трехмерного элемента шероховатости в пограничном слое прямого крыла. С помощью метода термоанемометрии были получены количественные данные о структуре потока за шероховатостью ниже по течению при включенном и выключенном отсосе пограничного слоя. Отсос пограничного слоя позволяет реламинизировать течение и убрать отрыв на крыле в области неблагоприятного градиента давления.

Показано, что при включенном отсосе в 5 раз снижается интенсивность интегральных пульсаций скорости в следе за шероховатостью для «естественных возмущений» ма-

лых амплитуд. Для возмущений, усиленных звуковым воздействием (искусственных возмущений), интенсивность снижается на два порядка.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы

Замечания по содержанию и оформлению диссертации.

1. Замечания по главе 2: При описании условий экспериментов указана температура воздуха 295К, но как она контролировалась и как поддерживалась, какие отклонения допустимы при использовании жидкокристаллической термографии, тем более что рабочий диапазон метода достаточно узок: от 303К до 305К.

Модель скользящего крыла устанавливалась для создания благоприятного градиента давления над верхней плоскостью под отрицательным углом атаки $\alpha = -12,3$ градуса (стр. 24), а на стр.40 для тех же целей указан угол $\alpha = -11,1 \pm 0,2$ градуса. Это изменение насколько критично?

Методика контроля режима и точность подогрева ЖК пленки не обсуждается (стр. 28), а методика жидкокристаллической термографии – основной инструмент исследований (стр. 29 – влияние перегрева, но только на режимы течения).

Описание работы термоанемометра в этой главе поверхностное, в частности не понятно как ориентирована нить относительно кромки модели скользящего крыла и вектора скорости набегающего потока. И как это связано с использованием косугольной сетки (стр. 31)

2. Замечания по главе 3: Как продолжение замечаний к главе 2: при изменениях углов наклонов моделей какие значения и распределения градиентов давления устанавливались и почему они благоприятные? Это нигде не объясняется и не обсуждается.

Для контроля воздействия акустики и измерений уровня звука на верхней плоскости крыла устанавливался шумомер 231SL. Его параметры и точность измерений на обсуждалась. И возникает естественный вопрос, почему он не использован для калибровки источника звука, а на рис. 27 (стр. 48) параметры акустического сигнала представлены как функции амплитуды напряжения, подаваемого на динамик громкоговорителя в вольтах, а не в dB? И почему в целом не контролировалась акустическая обстановка в режимах продувки?

Замечательные количественные данные, представленные в виде изолиний на рис. 25 (стр. 45), на рис.28 (стр. 49), рис. 25 (стр. 50), из-за использованного масштаба превращены в качественные. Это ничем не оправданная экономия места или страниц.

Сделанные выше замечания по главам вовсе не исключают общую положительную оценку работы в целом. В целом диссертация Каприлевской Валерии Станиславовны - завершённый этап научных исследований, выполненных на высоком современном методическом уровне. Работа хорошо оформлена с использованием современных средств, основная часть работы написана на хорошем профессиональном уровне.

Список публикаций по теме диссертации состоит из 35 печатных работ, в том числе 6 в научных изданиях, рекомендованных ВАК. В них достаточно полно отражены основные результаты диссертации. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, диссертация Каприлевской Валерии Станиславовны является оригинальной, завершённой научно-квалификационной работой. Считаю, что диссертация Каприлевской Валерии Станиславовны по своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и их научно-практической значимости соответствует требованиям п.9 “Положения о порядке присуждения ученых степеней”, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года №842, а сама Каприлевская Валерия Станиславовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН»; 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева д.1
тел. +7 (383) 316-53-32, e-mail: berdnikov@itp.ncs.ru

Бердников Владимир Степанович/

10 июня 2021 г.

С. Макаров удостоверяю:

ИТ СО РАН, к.ф.-м.н.

С. Макаров/

Председателю
диссертационного совета
Д 003035.02
академику В.М. Фомину

ЛИЧНОЕ СОГЛАСИЕ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Я, **Бердников Владимир Степанович**, 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) 947 97 52
E-mail:	berdnikov@itp.nsc.ru
Должность	Главный научный сотрудник
Подразделение организации	Лаборатория 6.6 интенсификации процессов теплообмена
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе 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, проспект Академика Лаврентьева, д. 1.
Web-сайт организации.	http://www.itp.nsc.ru
Телефон организации.	+7 (383) 330-90-40
E-mail организации.	director@itp.nsc.ru

По теме рассматриваемой диссертации имею 185 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	В.С. Бердников, С.А. Кислицын	Численные исследования нестационарного сопряженного конвективного теплообмена в вертикальных слоях жидкости и газа, разделенных тонкой металлической перегородкой	Теплофизика и аэромеханика, 2021, Т. 28, № 1. С. 107 - 119	Статья, 2021
2	С. А. Кислицын, К. А. Митин, В. С. Бердников	Моделирование процессов теплообмена при росте монокристаллов методом Бриджмена – Стокбаргера в неподвижных и вращающихся тиглях	Вычислительные технологии, 2021, Т. 26, № 1. С. 21–32.	Статья, 2021
3	Бердников В.С., Гришков В.А., Шумилов Н.А.	Развитие нестационарной конвекции в прямоугольной полости при внезапном нагреве вертикальной стенки	Теплофизика и аэромеханика. 2020, Т. 27, № 4. С. 555-563	Статья, 2020
4	V S Berdnikov and K A Mitin	Influence of thermal conductivity of the partition wall on non-stationary conjugate natural convective heat exchange and temperature fields in the walls of a rectangular fuel tank	Journal of Physics: Conference Series 1677 (2020) 012180 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1677/1/012180	Статья, 2020
5	V S Berdnikov, V A Grishkov and A V Mikhajlov	Experimental studies of the evolution of non-stationary natural convective boundary layers at different heat flux densities on a vertical wall	Journal of Physics: Conference Series 1677 (2020) 012181 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1677/1/012181	Статья, 2020
6	V S Berdnikov and V V Vinokurov	The influence of crucible and crystal rotation on the hydrodynamics of a melt with a Prandtl number 16 and on heat transfer in the Czochralski method	Journal of Physics: Conference Series 1677 (2020) 012182 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1677/1/012182	Статья, 2020
7	K A Mitin, A V Mitina, V S Berdnikov	Unsteady conjugate convective heat transfer in a vertical channel at a sudden heating of the bottom	Journal of Physics: Conference Series 1677 (2020) 012189 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1677/1/012189	Статья, 2020
8	K A Mitin, A V Mitina and V S Berdnikov	Effect of thermal conductivity of thin walls limiting the inclined liquid layer on non-stationary conjugate natural convective heat exchange and temperature fields in thin walls	Journal of Physics: Conference Series 1677 (2020) 012191 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1677/1/012191	Статья, 2020

9	K A Mitin, A V Mitina and V S Berdnikov	Evolution of non-stationary boundary layers in a vertical liquid layer in the regime of conjugated natural convective heat exchange	Journal of Physics: Conference Series 1677 (2020) 012192 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1677/1/012192	Статья, 2020
10	К.А. Митин, В.С. Бердников, С.А. Кислицын	Зависимость формы фронта кристаллизации от режима теплообмена в методе Бриджмена–Стокбаргера	Вычислительная механика сплошных сред. 2019. Т. 12, № 1. С. 106-116.	Статья, 2019
11	V S Berdnikov, V A Vinokurov, V V Vinokurov, V A Grishkov and K A Mitin	Laminar-turbulent transitions at natural convection in flat and annular vertical fluid layers	IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1105 (2018) 012009 doi :10.1088/1742-6596/1105/1/012009)	Статья, 2018
12	Бердников В. С., Митин К.А., Григорьева А.М., Клещенок М.С.	Зависимость полей температуры в кристаллах от их теплофизических параметров и свойств окружающей среды в методе Чохральского при различных режимах теплообмена	Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2017. – Т. 81. – №. 9. – С. 1198-1204.	Статья, 2017
13	Бердников В. С., Кислицын С. А., Митин К. А.	Численное моделирование процессов роста кристаллов методом горизонтальной направленной кристаллизации из расплавов с различными числами Прандтля	Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2017. – Т. 81. – №. 10. – С. 1389-1394.	Статья, 2017
14	Бердников В. С., Винокуров В. А., Винокуров В. В.	Влияние нестационарных режимов свободной и смешанной конвекции расплавов на теплообмен и формы фронтов кристаллизации в методе Чохральского	Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2017. – Т. 81. – №. 10. – С. 1395-1402.	Статья, 2017
15	Бердников В. С., Митин К.А., Григорьева А.М., Клещенок М.С.	Зависимость полей температуры в кристаллах от их теплофизических параметров и свойств окружающей среды в методе Чохральского при различных режимах теплообмена	Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2017. – Т. 81. – №. 9. – С. 1198-1204.	Статья, 2017

Не являюсь членом экспертного совета ВАК

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

Официальный оппон
13.04.2021г.

ердников

Подпись Бердникова

Ученый секретарь И.

Макаров