

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский физико-технический
институт (национальный
технический университет)»

Баган Виталий
Анатольевич

_____ мая _____ 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации 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

Диссертационная работа В.С. Каприлевской представляется весьма актуальной, так как задачи изучения механизмов генерации и развития вихревых возмущений в трехмерном пограничном слое за элементами неровности поверхности, которые являются одним из основных источников ламинарно-турбулентного перехода, а также возможности управления течением с помощью распределенного отсоса, относятся к фундаментальным проблемам современной аэромеханики. Их понимание позволяет разработать методы расчета и управления ламинарно-турбулентным переходом на реальных летательных аппаратах.

Диссертационная работа содержит 112 страниц и состоит из введения, четырех частей, заключения, списка цитируемой литературы и списка публикаций автора.

Во введении сформулированы цели и исследуемые задачи, отмечены их актуальность, научная новизна и практическая значимость, обоснована достоверность полученных результатов.

В главе 1 представлен обзор опубликованной литературы по теме диссертации. Проведен анализ известных результатов и отмечены области и темы, которые недостаточно исследованы.

В главе 2 подробно описаны используемые в работе методы экспериментальных исследований развития возмущений за неровностями поверхности в трехмерном пограничном слое на скользящем и трапециевидном крыльях в малотурбулентной аэродинамической трубе закрытого типа Т - 324 ИТПМ имени С. А. Христиановича СО РАН. Это визуализация с помощью жидкокристаллической термографии, которая позволяет наглядно оценить развитие трехмерных течений, включая их панорамные картины. Количественные характеристики поля скорости изучены с помощью измерений термоанемометром постоянного сопротивления с одноточечным датчиком. Для генерации возмущений использовались трехмерная неровность в виде цилиндра и двухмерная неровность в виде ступеньки. Комплексный подход с применением обоих методов позволил получить достаточно полную картину развития возмущения и ламинарно-турбулентного перехода.

Глава 3 посвящена подробному исследованию развития возмущений за неровностью на скользящем и трапециевидном крыльях. В первой части изучено влияние двумерной неровности поверхности на течение за цилиндрической неровностью, расположенной вверх по потоку от первой. С помощью визуализации выявлено, что двумерная неровность малой высоты слабо влияет на развитие возмущений, но ее увеличение до величины порядка толщины вытеснения ведет к возникновению набора продольных структур и дальнейшему формированию волнового пакета в результате вторичной неустойчивости; акустическое воздействие ускоряет эти процессы.

Во второй части главы представлены результаты исследований развития возмущений за локализованной трехмерной неровностью и процесса ламинарно-турбулентного перехода в пограничном слое на трапециевидном крыле реального БПЛА. С помощью визуализации изучено влияние высоты неровности и ее расположения на восприимчивость пограничного слоя к вносимым возмущениям. В области максимальной восприимчивости проведены подробные термоанемометрические измерения с целью получения количественных характеристик поля течения и структуры возникающего стационарного вихря.

В главе 4 изучена возможность управления развитием течения на прямом крыле с помощью распределенного отсоса пограничного слоя за элементом неровности. Показано, что этот метод позволяет реламинизировать течение, а также устранять отрыв 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 возмущений, усиленных звуковым воздействием (то есть, искусственных возмущений), интенсивность снижается на два порядка. Результаты демонстрируют эффективность исследованного метода управления.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна представленных результатов заключается в следующем:

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

– Впервые проведены исследования развития возмущений и изучены приводящие к турбулентности механизмы вторичной неустойчивости за элементами неровности поверхности в зоне благоприятного градиента давления на наветренной стороне модели реального крыла в диапазоне скоростей 7,2–20 м/с и числа Рейнольдса, рассчитанного по хорде крыла $Re_c \approx 250000–650000$, что соответствует условиям полета.

– С помощью метода жидкокристаллической термографии показано, что за трехмерным элементом шероховатости формируется продольная структура, вниз по течению наблюдается изгиб ее траектории и увеличение 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 на пространственное развитие стационарного возмущения от трехмерного элемента неровности 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 представленных результатов обеспечена использованием экспериментальной установки с хорошо известными параметрами и хорошо апробированных экспериментальных методов, разработанных в ИТПМ СО РАН, с помощью которых были получены признанные во всем мире научные результаты. Данные, представленные в разделах диссертации, дополняют друг друга и дают целостную картину изучаемого явления. Результаты работы прошли широкое обсуждение на многих российских и международных научных конференциях, а также опубликованы в 6 статьях в рецензируемых отечественных и зарубежных изданиях из списка ВАК, а также в трудах научных конференций.

Замечания

1. Работа оформлена не очень внимательно, имеются опечатки и ошибки. В частности, при описании характеристик трапецевидного крыла в главе 3 используется термин «стреловидное крыло».

2. В работе не указаны явно значения относительной величины неровности поверхности (отношение высоты к толщине пограничного слоя) и не обоснован выбор ее параметров.

3. Недостаточно внимания уделено сравнению полученных результатов с другими опубликованными данными по тематике ламинарно-турбулентного перехода на скользящих крыльях, в частности, на малоразмерных беспилотных летательных аппаратах.

Приведенные замечания не носят принципиальный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

В целом, представленная диссертация является законченным научно-исследовательской работой по актуальной тематике, а полученные результаты соответствуют поставленным целям и задачам и носят фундаментальный характер. Материалы диссертации могут быть использованы при разработках дозвуковых летательных аппаратов и исследованиях дозвуковых течений в ЦАГИ, ЦИАМ, НИИ механики МГУ, КБ и других организациях, связанных с этим научным направлением.

Автореферат правильно и в полной мере отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа В.С. Каприлевской полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы.

Работа В.С. Каприлевской обсуждена и одобрена на заседании кафедры теоретической и прикладной аэрогидромеханики УНИЦ АЛТ ФАКТ МФТИ 20 мая 2021 г., протокол № 1.

Директор УНИЦ АЛТ ФАКТ МФТИ
к.т.н.

А.А. Погодаев

Заведующий кафедрой, теоретической и прикладной
аэрогидромеханики УНИЦ АЛТ ФАКТ МФТИ
д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН

А.М. Гайфуллин

Профессор кафедры информатики и вычислительной
математики МФТИ и кафедры теоретической и прикладной
аэрогидромеханики УНИЦ АЛТ ФАКТ МФТИ
д.ф.-м.н., доцент

В.И. Шалаев

Погодаев Александр Анатольевич

к.т.н.

Должность: директор учебного и научно-исследовательского центра по аэромеханике и летательной технике физтех-школы аэрокосмических технологий (УНИЦ АЛТ ФАКТ) МФТИ

Телефон: рабочий 8 (495)556–84–21

Адрес электронной почты: pogodaev.aa@mipt.ru

Гайфуллин Александр Марксович

д.ф.-м.н., профессор, член-корреспондент РАН

Должность: заведующий кафедрой, теоретической и прикладной аэрогидромеханики УНИЦ АЛТ ФАКТ МФТИ

Телефон: рабочий 8(495)556-38-28

Адрес электронной почты: amgaif@mail.ru

Шалаев Владимир Иванович

д.ф.-м.н., доцент

Должность: профессор кафедры информатики и вычислительной математики МФТИ и кафедры теоретической и прикладной аэрогидромеханики УНИЦ АЛТ ФАКТ МФТИ

Телефон: рабочий 8(498)482-49-80

Адрес электронной почты: shalaev@falt.ru

Наименование организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ)

Адрес организации: ул. Институтский переулок, д. 9, г. Долгопрудный, Московская область, 141700

Интернет страница МФТИ: <http://mipt.ru>,

Телефон: (495) 408–45–54

Адрес электронной почты: info@mipt.ru

Сведения о ведущей организации по диссертации
Каприлевской Валерии Станиславовны
«Исследование возникновения и развития продольных вихрей и их вторичной неустойчивости на модели летающего крыла»
 по специальности 01.02.05 — Механика жидкости, газа и плазмы
 на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Полное наименование организации в соответствии с уставом:	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	МФТИ
Ведомственная принадлежность организации	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Полное наименование структурного подразделения, составляющего отзыв	Учебный и научно-исследовательский центр по аэромеханике и летательной технике физтех-школы аэрокосмических технологий (УИНЦ АЛТ ФАКТ)
Место нахождения	г.Москва
Почтовый адрес организации	Институтский пер. 9, Московская область, г. Долгопрудный, 141701, Россия
Веб-сайт	http://www.mipt.ru/
Телефон	+7 (495) 408-45-54
Адрес электронной почты	info@mipt.ru

Список основных публикаций работников структурного подразделения МФТИ, составляющего отзыв, в рецензируемых научных изданиях за последние пять лет по теме диссертации (не более 15 публикаций).

№	Авторы	Название	Издательство, журнал, год, №, страницы	Вид, год
1	Шалаев В.И.	Об особенностях уравнений трехмерного пограничного слоя и структуре течения в их окрестности	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая Техника. 2016. № 47.С. 7-35.	Статья, 2016
2	Александров С.В., Ваганов А.В., Шалаев В.И.	Физические механизмы образования продольных вихрей, появления зон высоких тепловых потоков и раннего перехода в гиперзвуковом течении около треугольного крыла с затупленными передними кромками	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая Техника. 2016. № 45. С. 9-31.	Статья, 2016
3	Shalaev V.I.	Singularities of 3D Laminar Boundary Layer Equations and Flow Structure in their Vicinity on Conical Bodies	AIP Conference Proceedings. 2016 1770, pp. 030055-1–030055-14; doi: 10.1063/1.4963997	Статья, 2016

4	S.V. Alexandrov, A.V. Vaganov V.I. Shalaev	Physical Mechanisms of Longitudinal Vortexes Formation, Appearance of Zones with High Heat Fluxes and Early Transition in Hypersonic Flow over Delta Wing with Blunted Leading Edges	AIP Conference Proceedings. 2016. 1770, pp. 020011-1–020011-10; doi:0.1063/1.4963934.	Статья, 2016
5	Chuvakhov P.V., Fedorov A.V.	Spontaneous radiation of sound by instability of a highly cooled hypersonic boundary layer	Journal of Fluid Mechanics. 2016. Vol. 805. P. 188-206	Статья, 2016
6	Novikov A., Egorov I., Fedorov	Direct Numerical Simulation of Wave Packets in Hypersonic Compression-Corner Flow	AIAA Journal. 2016. Vol. 54, No. 7. P. 2034-2050.	Статья, 2016
7	V.I. Shalaev, A.V. Vaganov, D. V. Grachikov, V. M. Kashin, V. D. Nemykin, A. Yu. Noev, V. N. Radchenko, A. S. Skuratov	Laminar-turbulent transition in the vicinity of blunt leading edge of flat delta wing in hypersonic flow	AIP Conference Proceedings. 2017. 1893, 030070 (2017); pp. 030070-1 - 030070-6 doi:10.1063/1.5007528	Статья, 2017
8	Fedorov A., Tumin A.	Receptivity of high-speed boundary layers to kinetic fluctuations	AIAA Journal. 2017. Vol. 55, No. 7. P. 2335-2348.	Статья, 2017
9	Shalaev V.I.	Control of laminar-turbulent transition and its influence on flow structure	AIP Conference Proceedings. 2018. C. 020002	Статья, 2018
10	Динь К.Х., Егоров И.В., Федоров А.В.	Влияние волн Маха на ламинарно-турбулентный переход при сверхзвуковом обтекании плоской пластины	Изв. РАН. МЖГ. 2018. № 5. С. 113-124.	Статья, 2018
11	Chuvakhov P.V., Fedorov A.V., Obraz A.O.	Numerical simulation of turbulent spots generated by unstable wave packets in a hypersonic boundary layer	Computers & Fluids. 2018. Vol. 162. P. 26-38.	Статья, 2018
12	Шалаев В.И.	О сингулярных решениях уравнений нестационарного и трехмерного пограничных слоев	Сборник трудов XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики, 2018, т. 2, с. 460-462	Статья, 2019
13	Chuvakhov P.V., Fedorov A.V., Obraz A.O.	Numerical modelling of supersonic boundary-layer receptivity to solid particulates	Journal of Fluid Mechanics. 2019. Vol. 859. P. 949-971.	Статья, 2019
14	Shalaev V.I., D. V. Hieu.	A slender body motion stability in the uniform freestream	AIP Conference Proceedings. 2020. 2288, pp. 030061-1 - 030061-7. doi.org/10.1063/5.0028472	Статья, 2020

15	Shalaev V.I.	3D Boundary Layer Theory	Chapter in the book: Boundary Layer Flows - Theory, Applications and Numerical Methods. Ed. V. R. Prasad. London, Intechopen 2020. pp. 3- 25. doi:10.5772/intechopen .78474	2020
----	--------------	--------------------------	--	------

«Верно»

Проректор

.-м.н.

Виталий Анатольевич Баган

2021г.