

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Генерального директора
ФГУП «ЦАГИ»



С.В. Ляпунов

2017 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЦАГИ по диссертационной работе старшего научного сотрудника сектора 52, НИО–8, кандидата физико-математических наук Владимира Борисовича Заметаева «Около критические решения в теории отрыва и взаимодействия пограничного слоя с внешним потоком», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

Данное заключение составлено по результатам обсуждения диссертационной работы В.Б. Заметаева на НТС ЦАГИ по аэродинамике и динамике полета, протокол № 13 от 07.11.2017 г.

а) Диссертационная работа В.Б. Заметаева **посвящена** теоретическому исследованию механизмов перестройки и разрушения ламинарных трехмерных отрывных течений в пограничных слоях, вблизи точек бифуркации решения по параметру, при больших числах Рейнольдса.

б) Диссертационная работа представлена впервые. Тема диссертации утверждена на НТС ЦАГИ. Работа выполнялась в рамках научно-исследовательских работ ЦАГИ, а также по инициативным научным проектам.

в) **Актуальность** диссертационной работы обусловлена тем, что явление внезапной перестройки картины глобального обтекания тел и, как следствие, резкого изменения сил и моментов, действующих на конструкции, не редко встречается в современной аэродинамике летательных аппаратов. Критические двухмерные режимы обтекания тел потоком вязкой жидкости или газа хорошо изучены, чего нельзя сказать о трехмерных пограничных слоях.

г) **Основные результаты** диссертационной работы:

- 1) Определена структура пространственного пограничного слоя вблизи точки зарождения развитого отрывного течения при обтекании гладких тел;

- 2) Исследовано критическое влияние слабой и тонкой вихревой нити на предотрывный плоский пограничный слой;
- 3) Описание сложного отрывного обтекания тонкого осесимметричного тела, с периодически возмущенной поверхностью;
- 4) Получено решение классической задачи о смешении двух потоков с различными константами Бернулли вблизи задней кромки плоской пластины;
- 5) Исследована восприимчивость к звуку локально непараллельного взаимодействующего пограничного слоя вблизи точки излома поверхности;
- 6) Разработан численный метод решения задач со взаимодействием;
- 7) Исследована неединственность формы ударной волны и течений газа в тонком ударном слое при обтекании почти плоского торца круглого цилиндра.

Главный результат диссертационной работы состоит в создании методологии использования асимптотических методов для анализа около критических ламинарных отрывных течений в пограничных слоях при больших числах Рейнольдса.

д) **Автор** диссертации В.Б. Заметаев является одним из ведущих специалистов в асимптотической теории вязких отрывных течений и пограничного слоя в несжимаемой жидкости. Ему принадлежат новые идеи и многочисленные результаты исследований, которые опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных научных изданиях. Изложенные в диссертации результаты получены либо лично автором, либо с его определяющим участием в постановке задач и их методов решения.

е) **Новым** в полученных результатах является следующее:

- Впервые получено решение, описывающее течение вблизи точки зарождения отрыва при обтекании гладких трехмерных тел.
- Впервые детально изучено влияние вихревой нити на предотрывный плоский пограничный слой.
- Подробное исследование топологии предельных линий тока на поверхности тонкого тела во взаимодействующем пограничном слое.
- Разработка эффективного численного метода решения задач с вязко-невязким взаимодействием.
- Учет в решении классической задачи о смешении двух потоков вблизи задней кромки плоской пластины, как различных констант Бернулли, так и разных коэффициентов напряжения трения.
- Обнаружение резонанса при возбуждении звуком собственных колебаний в локально непараллельном пограничном слое вблизи точки бифуркации решения по параметру;

- Построение многопалубной структуры решения вблизи особой звуковой точки в рамках теории тонкого ударного слоя.

ж) **Достоверность** результатов работы обусловлена применением хорошо зарекомендовавших себя асимптотических методов (метод сращиваемых асимптотических разложений) при больших числах Рейнольдса; удовлетворительным сравнением с известными результатами расчетов сложных трехмерных пограничных слоев и известными экспериментальными данными об особенностях разрушения присоединенных течений и глобальной перестройке всей картины обтекания тел.

Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научных семинарах и конференциях:

- Separated Flows and Jets. IUTAM Symposium Novosibirsk/USSR 1990.
- Intern. Workshop on Advances in Analytical Methods in Aerodynamics, July 12-14 1993, Miedzyzdroje, Poland.
- EUROMECH 384 Colloquium on Steady and Unsteady Separated Flows, Manchester, UK, July 6-9, 1998.
- 20th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics ICTAM2000, 27 Aug.-2 Sep., 2000, Chicago, USA.
- New Developments and Applications in Rapid Fluid Flows, LMS Workshop, 14-18 July 2003, Durham, UK.
- ICTAM04 - 21 International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, August 15-21, 2004, Warsaw, Poland.
- ICIAM 07 – International Congress of Industrial and Applied Mathematics, 2007, Zurich, Switzerland.
- EUROMECH Fluid Mechanics Conference 7, 14-18 September 2008, Manchester, UK.
- Серия научных семинаров в University of Manchester, University College of London, TU Wien, 1998-2008.
- ICMAR 2016 Perm, Russia.
- Научно-техническая конференция по аэродинамике. ЦАГИ, в пос. Володарского Моск. Обл., 20-21 апреля 2017.

- Видеосеминар по аэромеханике ЦАГИ – ИТПМ СО РАН – СПбГПУ – НИИМ МГУ, 13.06.2017

з) **Значимость** работы состоит в следующем:

- Полученные результаты и методы анализа могут использоваться при оценке корректности расчетов пограничных слоев промышленными пакетами программ.
- Работа показывает, что асимптотические методы изучения сложных течений вязкой жидкости и газа в предотрывном и отрывном состоянии эффективны в фундаментальных поисковых исследованиях.
- Значительное продвижение в объяснении физических механизмов перестройки пространственных решений вблизи бифуркационных режимов обтекания тел.
- В использовании полученных теоретических результатов при постановке и анализе экспериментов в аэродинамических трубах при отрывных режимах обтекания моделей.

и) **Основные результаты** содержатся в 15 работах, в том числе 10 статей опубликованы в журналах из списка ВАК. 8 статей в отечественных журналах и 2 статьи в иностранных журналах, входящих в первый квартиль рейтинга научных изданий.

1. *Заметаев В.Б.* Особое решение уравнений пограничного слоя на тонком конусе // Изв. АН СССР. МЖГ. 1987. №2. С. 65–72.
2. *Заметаев В.Б.* Локальный отрыв на тонком конусе, предшествующий появлению вихревой пелены // Изв. АН СССР. МЖГ. 1987. №6. С. 21–28.
3. *Заметаев В.Б.* Формирование особенностей в пространственном пограничном слое // Изв. АН СССР. МЖГ. 1989. №2. С. 58–64.
4. *Заметаев В.Б., Сычев Вик. В.* О трехмерном отрыве около неровности на поверхности тела вращения // Изв. РАН. МЖГ. 1995. №3. С. 67–79.
5. *Zametaev V.B.* Marginal separation in three-dimensional flows // Theoret. Comput. Fluid Dynamics. 1996. V. 8. №3. P. 183–200.

6. Заметаев В.Б., Кравцова М.А. Влияние тонкого невязкого продольного вихря на двумерный предотрывный пограничный слой // Изв. РАН, МЖГ, 2003, №2, с. 98-113.
7. Zametaev V.B., Kravtsova M.A. & Ruban A.I. An effective numerical method for solving viscous-inviscid interaction problems. // Phil. Trans. Roy. Soc. London, 2005, v. 363, No.1830, p.1157-1167.
8. Заметаев В.Б., Кравцова М.А. Численное решение задачи о смешении пограничных слоев, стекающих с задней кромки крыла // Изв. РАН, МЖГ, 2006, №5, с. 160-173.
9. Заметаев В.Б., Кравцова М.А. Невязкое взаимодействие в тонком ударном слое при больших числах Маха.// Изв. РАН, МЖГ, 2007, №3, с. 180-192.
10. Заметаев В.Б., Кравцова М.А. Восприимчивость пограничного слоя к внешним звуковым волнам.// Изв. РАН, МЖГ, 2010, №2, с. 35-47.
11. Zametaev V.B. Hypersonic Thin Shock Layer Theory with Interaction. Marginal regime // Intern. Workshop on Advances in Analytical Methods in Aerodynamics, Proceedings, July 12-14 1993, Miedzyzdroje, Poland.
12. Zametaev V.B. & Kravtsova M.A. 3D interacting flow theory and lateral edge stall. // 20 th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics ICTAM2000, 27 Aug.-2 Sep., Chicago 2000, Technical Report No. 950, Dept of Theoretical and Applied Mechanics, University of Illinois at Urbana-Champaign, (ISSN 0073-5264).
13. Zametaev V.B., Kravtsova M.A. & Ruban A.I. Effective numerical method for solving the interacting flows. // New Developments and Applications in Rapid Fluid Flows, LMS Workshop, Proceedings, 14-18 July 2003, Durham, UK.
14. Zametaev V.B., Kravtsova M.A. New Numerical Method for Complex Interacting Flows // ICTAM04 Proceedings of 21 International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, August 15-21, 2004, Warsaw, Poland, IPPT PAN.
15. Zametaev V.B., Kravtsova M.A. Receptivity of the boundary layer with separation bubble to external sound waves. // ICIAM 07, 2007, Zurich, Switzerland. Proc. Appl. Math. Mech., 7: 3010007–3010008. doi:10.1002/pamm.200701044/.

к) В диссертации В.Б. Заметаева разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное научное достижение.

Диссертационная работа В.Б. Заметаева «Около критические решения в теории отрыва и взаимодействия пограничного слоя с внешним потоком» соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, выполнена на высоком научном уровне и может быть представлена к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Начальник отделения №8, д.ф.-м.н.



С.М. Дроздов

Ученый секретарь НТС, к.т.н.



А.В. Климин