

теоретиче
им. С
доктор
чл.-корр. РАН

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

Диссертация «Численное моделирование малых возмущений в сверхзвуковом пограничном слое» выполнена в лаборатории №14 «Волновых процессов в сверхзвуковых течениях» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

В период подготовки диссертации соискатель Семенов Александр Николаевич работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, в лаборатории №14 «Волновых процессов в сверхзвуковых течениях» в должности лаборанта, старшего лаборанта с высшим профессиональным образованием и младшего научного сотрудника.

В 2014 г. окончил механико-математический факультет Новосибирского Государственного Университета по направлению «механика». В 2018 г. окончил аспирантуру Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук по направлению 01.06.01 – Математика и механика.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов №778 от 23 сентября 2019 г. выдана Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтотом теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель: Гапонов Сергей Александрович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории №14 «Волновых процессов в сверхзвуковых течениях» Федерального государственного

бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

1. Диссертация посвящена численному исследованию развития малых возмущений по времени и пространству в сверхзвуковых пограничных слоях.

2. Актуальность темы.

Ламинарно-турбулентный переход течений является одной из фундаментальных проблем в механике жидкости и газа. Практически значимой является задача предсказания положения ламинарно-турбулентного перехода пограничного слоя, образующегося на поверхности летательных аппаратов. Исследования процесса перехода ламинарного течения в пограничном слое в турбулентное состояние проводятся более 70 лет. Несмотря на значительный прогресс в вычислительных и экспериментальных технологиях в последние десятилетия, до сих пор нет полного описания физических процессов, приводящих к турбулентности в течениях.

Ламинарно-турбулентный переход в пограничных слоях является сложным комплексным явлением для теоретического описания и экспериментального изучения. Турбулизация течения в пограничных слоях происходит благодаря возникновению и развитию малых возмущений и их взаимодействию друг с другом. В последние десять лет для исследования пространственно-временного развития возмущений стало широко использоваться численное моделирование. Оно позволяет дополнять экспериментальные данные и получать более полную информацию о возмущенном течении.

Поэтому данная работа посвящена численному исследованию восприимчивости и развития возмущений в двумерной и трехмерной постановках для пограничных слоев на плоской пластине при сверхзвуковых скоростях потока.

3. Научная новизна работы.

В работе путем численного моделирования впервые:

- применен эволюционный метод, основанный на развитии возмущений во времени для решения задачи об устойчивости пограничного слоя;
- исследовано взаимодействие произвольно ориентированной в пространстве медленной акустической волны и сверхзвукового пограничного слоя;
- получены данные о развитии малых возмущений от одного или двух источников периодических возмущений вниз по потоку внутри пограничного слоя;

– исследовано линейное развитие локализованного в пространстве и времени единичного возмущения в сверхзвуковом пограничном слое при $M=2$.

4. Достоверность результатов обеспечена согласованием с данными, полученными с помощью других расчетных методов, расчетными данными других авторов и экспериментальными данными.

5. Научная и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в том, что полученные численными методами результаты о распространении малых возмущений в сверхзвуковом пограничном слое уточняют и дополняют данные классической теории устойчивости и могут быть использованы в построении теории ламинарно-турбулентного перехода.

Практическая значимость работы заключается в том, что использованные в работе подходы могут применяться для широкого класса течений. В частности, эволюционный метод позволяет устанавливать параметры наиболее быстро растущих волн даже в тех случаях, когда отсутствуют предварительные данные о собственных значениях этих возмущений. Данные прямого численного моделирования могут использоваться как дополнительная информация к экспериментальным результатам, которая не может быть получена экспериментально.

6. Личный вклад автора.

Все основные результаты работы получены при участии автора. Диссертант самостоятельно создал программу по эволюционному методу и провел расчеты по устойчивости пограничного слоя с направленным вдувом. Непосредственно им получены результаты с помощью прямого численного моделирования развития малых возмущений в сверхзвуковом пограничном слое.

При выполнении работ по теме диссертации, опубликованных совместно с научным руководителем и другими соавторами, диссертант активно участвовал в постановке задач, анализе результатов и в подготовке публикаций.

7. Автором представляется к защите:

– эволюционный метод решения задачи об устойчивости пограничного слоя и результаты численного моделирования влияния направленного вдува на наиболее растущие возмущения;

– результаты прямого численного моделирования взаимодействия произвольно ориентированной в пространстве акустической волны со сверхзвуковым пограничным слоем при числе Маха 2;

– результаты численного исследования развития периодических возмущений от одного или двух точечных источников в сверхзвуковом пограничном слое на плоской пластине с числом Маха 2.5, полученные в рамках сравнительного анализа расчетных и экспериментальных данных;

– результаты численного моделирования развития локализованного во времени и пространстве возмущения от точечного источника при числе $M=2$.

8. Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы докладывались на семинаре «Механика вязкой жидкости и турбулентность» ИТПМ СО РАН, а также на многочисленных российских и международных научных конференциях:

- международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (Новосибирск, 2013, 2015 гг.);
- «X всероссийской конференции молодых ученых» (Новосибирск, 2014);
- международной конференции «The 13th Asian symposium on visualization» (Новосибирск, 2015);
- «XI всероссийском съезде по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики» (Казань, 2015 г.);
- международной конференции «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2015» (Новосибирск, 2015);
- международной конференции по методам аэрофизических исследований ICMAR 2016 и ICMAR 2018 (Новосибирск, 2016, 2018 гг.);
- XXII международной конференции «Нелинейные задачи теории гидродинамической устойчивости и турбулентность» (Москва, 2016);
- XI Всероссийской конференции молодых ученых «Проблемы механики : теория, эксперимент и новые технологии» (Новосибирск-Шерегеш, 2017, 2018 гг.);
- международной конференции «7th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS 2017)» (Милан, 2017);
- международной конференции «XXV Conference on High-Energy Processes in Condensed Matter (HEPCM 2017)» (Новосибирск, 2017);
- «Пятой открытой Всероссийской (XVII научно-технической) конференции по аэроакустике» (Москва, 2017);
- 13-ой международной конференции по прикладной и теоретической механике (Mechanics '17) (Венеция, 2017);
- 12-ой международной конференции по механике сплошных сред (CM '18) (Рим, 2018).

9. Публикации

По теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 8 в научных изданиях, рекомендованных ВАК.

1. Гапонов С.А., Семенов А.Н. Влияние направления вдува газа через пористую поверхность на устойчивость сверхзвукового пограничного слоя // Вестник НГУ. Сер. Физика. – 2015. -Т.10, No.2. -С. 18-26.
2. Гапонов С.А., Семенов А.Н. Численное моделирование взаимодействия сверхзвукового пограничного слоя с акустической волной // Известия РАН. Механика жидкости и газа. – 2018. – No.6. -С. 76-86. DOI: 10.31857/S056852810002303-4.
3. Gaponov S.A., Semenov A.N. Numerical simulation of the disturbances development in a supersonic boundary layer // International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences. – 2016. -Vol.10. -P. 220-228. Scopus ID=2-s2.0-84975270340
4. Gaponov S.A., Semenov A.N., Yatskikh A.A. Numerical simulation of the localized disturbance development in a supersonic boundary layer // WSEAS Transactions on Fluid Mechanics, vol. 13, 2018, pp. 71-76. Scopus ID=2-s2.0-85050934680
5. Yatskikh A.A., Ermolaev Y.G., Kosinov A.D., Semionov N.V., Semenov A.N. Evolution of localized artificial disturbance in 2D and 3D supersonic boundary layers // Journal of Aerospace Engineering: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. – 2020. – Vol. 234(1), pp. 115-123. DOI: 10.1177/0954410018787120.
6. Semenov A.N., Gaponov S.A. Numerical simulation of the disturbances excitation in a supersonic boundary layer by the longitudinal sound // 18th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR2016) (Russia, Perm, 27 Jun.-3 Jul., 2016): AIP Conference Proceedings. -Vol.1770. -S.l., 2016. -030036 p. DOI: 10.1063/1.4963978
7. Semenov A.N., Gaponov S.A. Numerical simulation of the supersonic boundary layer interaction with arbitrary oriented acoustic waves // Proceedings of the XXV Conference on High-Energy Processes in Condensed Matter (HEPCM 2017): Dedicated to the 60th anniversary of the Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS (Russia, Novosibirsk, 5–9 Jun., 2017) : AIP Conference Proceedings. -Vol.1893, No.1. -S.l.: AIP Publishing, 2017. -030083 p. DOI: 10.1063/1.5007541
8. Semenov A.N., Gaponov S.A., Yatskih A.A. Numerical investigation of the development of perturbation in a supersonic boundary layer at Mach 2 // AIP Conference Proceedings: XIX International Conference on the Methods of

Aerophysical Research (ICMAR 2018) (Novosibirsk, Russia, 13–19 Aug., 2018).
-Vol. 2027, No.1. - S.l.: AIP Publishing, 2018. - 040072(5) p. DOI:
10.1063/1.5065346.

Учитывая вышеизложенное, постановили:

Диссертация Семенова Александра Николаевича «Численное моделирование малых возмущений в сверхзвуковом пограничном слое» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Диссертация является законченной научной работой, содержащей новые результаты по актуальной теме. Опубликованные по теме диссертации научные работы отражают ее содержание.

Диссертация Семенова Александра Николаевича «Численное моделирование малых возмущений в сверхзвуковом пограничном слое» рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Заключение принято на заседании семинара «Математическое моделирование в механике» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

На заседании присутствовали: академик РАН Фомин В.М., к.ф.-м.н. Бондарь Е.А., д.ф.-м.н. Гапонов С.А., д.ф.-м.н. Маслов А.А., д.ф.-м.н. Косинов А.Д., д.ф.-м.н. Миронов С.Г., д.т.н. Лебига В.А., д.ф.-м.н. Козлов В.В., д.ф.-м.н. Федорова Н.Н., д.ф.-м.н. Семенов Н.В., к.ф.-м.н. Сидоренко А.А., к.ф.-м.н. Александров А.Л., к.ф.-м.н. Павленко А.М., к.ф.-м.н. Шершнёв А.А. и другие. Всего присутствовало 14 сотрудников с учёной степенью.

Результаты голосования: «за» – 14 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 3 от 13 февраля 2020 г.

Председатель семинара,
академик РАН, профессор

В.М. Фомин

Сопредседатель семинара,
к.ф.-м.н.

Е.А. Бондарь

И.о. секретаря семинара
к.ф.-м.н.

А.А. Шершнёв