

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.125.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И
ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ ИМ. С.А. ХРИСТИАНОВИЧА СИБИРСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 02.06.2023 № 12

О присуждении Трубицыной Лукерье Петровне, гражданке РФ, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Механизм формирования и газодинамические параметры высоконапорного слоя в области присоединения сверхзвукового отрывного течения» по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 10 февраля 2023 г. (протокол № 7) диссертационным советом 24.1.125.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИТПМ СО РАН), 630090, Новосибирск, ул. Институтская, 4/1, утвержденным приказом Рособнадзора от 16.11.2007 №2249-1603 и продлением срока полномочий приказом Минобрнауки России от 10.09.2009 (№1925-1734), 08.06.2016 (№ 661/нк), от 3.08.2018 (№59/нк), от 03.06.2021 (№561/нк) и от 12.09.2022 (№ 1215/нк).

Соискатель Трубицына Лукерья Петровна, 29.08.1994 года рождения, в 2017 г. окончила магистратуру физического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Новосибирского национального исследовательского государственного университета по направлению подготовки 03.04.02 «Физика». В 2021 г. окончила аспирантуру ФГБУН ИТПМ СО РАН по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика», работает в ФГБУН ИТПМ СО РАН в должности младшего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в лаборатории «Экспериментальной аэрогазодинамики» ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Запрыгаев Валерий Иванович, главный научный сотрудник лаборатории «Экспериментальной аэрогазодинамики» ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Официальные оппоненты:

Терехов Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории термогазодинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

Колесников Анатолий Фёдорович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией взаимодействия плазмы и излучения с материалами Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное автономное учреждение "Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского"(ФАУ «ЦАГИ»), г. Жуковский,

в своем положительном отзыве, подписанном Босняковым Сергеем Михайловичем, доктором технических наук, главным научным сотрудником, указала, что диссертация Трубицыной Л.П. является самостоятельной законченной научно-исследовательской работой, обоснованность и достоверность выводов основных научных положений и практических рекомендаций которой не вызывает сомнений, и полностью соответствует всем требованиям п. 9 Положения ВАК РФ «О порядке присуждения ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., №842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Трубицына

Л.П. заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Соискатель имеет 30 опубликованных работ, в том числе **по теме диссертации опубликовано 14 работ**, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Запрыгаев В.И., Кавун И.Н., Трубицына Л.П. Особенности присоединения ламинарного отрывного течения при гиперзвуковой скорости потока // Прикладная механика и техническая физика. –2020. –Т. 61 No. 5. –С. 32-39. Исследован механизм формирования высоконапорного слоя.
2. Запрыгаев В.И., Кавун И.Н., Трубицына Л.П. Влияние зонда на результаты измерения полного давления в зоне присоединения сверхзвукового ламинарного отрывного течения // Теплофизика и аэромеханика. 2021. т. 28, № 6. –С. 855-864
Рассмотрено влияние зонда полного давления на результаты измерения пристенного потока в зоне присоединения высокоскоростного сверхзвукового отрывного течения в угле сжатия.
3. Trubitsyna L.P., Zapryagaev V.I., Kavun I.N. Effect of side walls on the supersonic ramp flow structure // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1404, № 1.
Установлено, что высоконапорный слой присутствует в течении без бокового стекания.
4. Zapryagaev V.I., Kavun I.N., Trubitsyna L.P. Effect of Mach and Reynolds numbers on the parameters of the high-pressure layer in the supersonic separated flow near a ramp // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1404, № 1. P. 012103.

Представлены данные о структуре сверхзвукового отрывного течения в угле сжатия при значениях числа Маха набегающего потока $M = 3 - 8$.

Представленные результаты получены соискателем лично, либо при его непосредственном участии. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

На диссертацию поступили отзывы:

Официального оппонента д.т.н., профессора Терехова Виктора Ивановича

Отмечается, что представленная диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, решает актуальные задачи аэрогазодинамики и является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей специальности 1.1.9 — «Механика жидкости, газа и плазмы». Автором в значительной мере расширены представление о механизме образования высоконапорного слоя в отрывном сверхзвуковом потоке в широком диапазоне изменения параметров течения. Выполненная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук в соответствии с «Положением о присуждении учёных степеней», а её автор Трубицына Лукерья Петровна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 — «Механика жидкости, газа и плазмы».

Замечания: 1. Известно, что в дозвуковых отрывных потоках линия повторного присоединения является, как правило, криволинейной и нестационарной. Такие же эффекты, по-видимому, следует ожидать и при сверхзвуковых скоростях течения и это может сказаться на особенностях образования высоконапорного слоя. Однако эти вопросы не получили должного отражения в работе.

2. Автору следовало бы обратить более пристальное внимание на возможные последствия воздействия напорного слоя на процессы пристенного переноса энергии и импульса. В работе есть только общие фразы о высокой интенсивности влияния на динамические и тепловые характеристики. Понятно, что экспериментально это сделать сложно, но в расчетной части такой анализ

мог бы дать много полезной информации, в том числе и для практических приложений.

3. В работе получен интересный результат о слабом влиянии числа Рейнольдса на параметры высоконапорного слоя. По мнению рецензента, сущность данного явления раскрыта не полностью. Из числа возможных факторов, воздействующих на формирование слоя, почему-то удалена толщина пограничного слоя или толщина вытеснения. В дозвуковых отрывных потоках этот параметр является одним из определяющих.

4. В работе следовало бы уделить больше внимания изучению процесса взаимодействия высоконапорного слоя с образующимися на поверхности вихрями Тэйлора-Гёртлера.

5. Полученные результаты систематических исследований могли бы послужить основой для создания режимных карт течения, в которых можно было бы отразить как пределы существования напорного слоя, так и его интенсивность. Это замечание можно рассматривать как пожелание на развитие работ данного направления.

6. Больших претензий по стилю и ясности изложения нет. Однако имеются досадные огрехи в оформлении графического материала. На ряде рисунков опытные точки различных режимов трудно различимы, например, рис. 40, рис. 45. На рис. 6 автореферата нет обозначений линий 1 и 2.

Официального оппонента д.ф.-м.н. Колесникова Анатолия Фёдоровича
Отмечается, что диссертация «Механизм формирования и газодинамические параметры высоконапорного слоя в области присоединения сверхзвукового отрывного течения» вносит существенный вклад в решение современных задач аэротермодинамики сверхзвуковых отрывных течений вязких газов. Данное экспериментально-теоретическое исследование, выполненное на высоком научном уровне, является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей специальности 1.1.9 — «Механика жидкости, газа и плазмы», а её автор Трубицына Л.П. заслуживает присвоения учёной степени кандидата

физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Замечания: 1. Нет выводов о толщине и протяженности высоконапорных слоев, которые обобщили бы полученный автором большой объем экспериментальных данных с использованием уникального набора экспериментальных моделей различной геометрии,

2. Мало внимания уделено взаимодействию высоконапорного слоя с гёртлеровскими вихрями, в заключении вообще не сформулированы результаты, касающиеся этого интересного вопроса.

3. Нет анализа разброса и воспроизводимости результатов измерений полного давления в тонких высоконапорных слоях, хотя для этого имеется достаточно большой объем экспериментальных данных.

4. Не обсуждается возможность практического использования представленных результатов для аэродинамики поверхностей, в состав которых входят углы сжатия. В связи с этим остается вопрос: может ли высоконапорный слой создавать дополнительную силовую или тепловую нагрузку на аэродинамическую поверхность?

Ведущей организации ФАУ ЦАГИ. Отмечается, что по объему полученных данных, новизне поставленных и решенных задач, научному и практическому значению полученных результатов диссертационная работа Трубицыной Лукерьи Петровны соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» (утв. Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 №842 (ред. от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020)), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор Трубицына Лукерья Петровна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Замечания: 1. В диссертации речь идет о «высоконапорном слое», который определяется как «область с повышенным полным давлением» (стр. 32). С другой стороны, во всех экспериментах исследовано давление Пито, которое

существенно зависит от числа M перед зондом Пито. Следует отметить, что напор (скоростной напор) в аэродинамическом эксперименте определяется как разность между полным и статическим давлениями (с учетом поправки на сжимаемость) в измерительной точке. Исходя из логики термина «высоконапорный слой», исследовать надо именно скоростной напор, а не давление Пито.

2. Соискатель пишет (стр. 84) «потери полного давления в пересекающихся характеристиках веера волн сжатия CF ». Если речь идет о характеристиках, то потери полного давления равны нулю и говорить о потерях в данном контексте неуместно.

3. В заключении соискатель пишет (стр. 96) «высоконапорный слой возникает вследствие совместного влияния вязкости в пограничном слое и изоэнтропического сжатия». Это неточная формулировка. Можно рассмотреть воздухозаборник с изоэнтропическим конусом, где реализуется «совместное влияние вязкости в пограничном слое и изоэнтропическое сжатие», но высоконапорный слой не возникает.

4. В разделе «Научная новизна» соискатель пишет «Впервые представлены формулы для расчёта параметров течения в высоконапорном слое». Действительно, в разделе 3.5 диссертации представлены формулы достаточно простого газодинамического расчета, которые играют определенную роль в структуре диссертации, но претендовать на научную новизну не могут.

5. В разделе 2.2 описана методология численного расчета и представлены некоторые результаты. Раздел подготовлен формально. По имеющейся информации трудно восстановить методику расчета. Отсутствуют блоки и структура сетки. Из результатов, наряду с несколькими графиками приведена только одна визуализация (рис. 36) течения с трубкой Пито. Но на следующем рисунке (рис. 37) расчетная кривая приведена уже без учета зонда и не моделирует исследуемое явление «локального пика» (при этом надписи на рис.

37 перепутаны. Надо понимать, что красная линия— это расчет, а черная — эксперимент).

Отзывы на автореферат:

К.ф.-м.н. **Чувахова Павла Владимировича**, начальника сектора №5 отдела №2 Научно-исследовательского отделения №8 Федерального автономного учреждения «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского. Отзыв положительный. Замечания связаны с формированием высоконапорного слоя на веере волн сжатия около точки отрыва, с взаимодействием высоконапорного и энтропийного слоёв и точностью приведённых данных.

К.ф.-м.н. **Коробейщикова Николая Геннадьевича**, ведущего научного сотрудника Отдела прикладной физики ФФ ФГБОУ НГУ и к.ф.-м.н. **Зарвина Александра Евгеньевича**, заведующего Отделом прикладной физики ФФ ФГБОУ НГУ. Отзыв положительный. Замечания связаны с нечёткостью изложения некоторых из полученных в работе данных.

К.ф.-м.н. **Иванова Александра Игоревича**, заместителя начальника НИО- 16 («Исследования и разработка проектов аэродинамических труб и испытательных стендов экспериментальной базы») ФАУ «ЦАГИ». Отзыв положительный. Замечания связаны с отсутствием единой картины условий существования высоконапорного слоя и опечатками в тексте.

К.ф.-м.н. **Иванова Игоря Эдуардовича**, старшего научного сотрудника, доцента кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова. Отзыв положительный. Замечания: 1. Было бы желательно привести в автореферате сравнение численных и экспериментальных результатов по локальным параметрам, например: по распределению давления Пито в течении поперек потока за линией присоединения. 2. Не прокомментировано в автореферате некоторое расхождение на рис. 14 размеров структурных элементов (отрывной

зоны) при $M=5$ в визуализации численных расчетов и шпирен-фотографиях течения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются признанными высокопрофессиональными специалистами в области аэрофизики, а ведущая организация известна достижениями в экспериментальных и численных исследованиях высокоскоростных сверхзвуковых течений.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **уточнён** механизм формирования высоконапорного слоя в угле сжатия. **Показано**, что высоконапорный слой формируется в области присоединения сверхзвукового отрывного течения в виде локального газового потока, который проходит без потерь полного давления через веер волн сжатия, образующих скачок присоединения. **Впервые представлен** алгоритм расчёта полного давления в высоконапорном слое;
- **впервые установлено** существование высоконапорного слоя в осесимметричном течении. Показано, что высоконапорный слой образуется как в двумерных, так и в трёхмерных отрывных течениях;
- **показано**, что определяющими параметрами для возникновения высоконапорного слоя являются угол наклона поверхности сжатия φ и число Маха набегающего потока M_∞ . **Представлены** данные о величине измеренного полного давления в высоконапорном слое в зависимости от геометрии угла сжатия. **Установлено**, что высоконапорный слой формируется в угле сжатия при $M_\infty > 5$. **Показано**, что для $M_\infty = 6$ в диапазоне $Re_L = (0,6 - 2,7) \cdot 10^6$ структура отрывного течения и характеристики высоконапорного слоя меняются незначительно;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– новые знания о структуре высоконапорного слоя и механизме его формирования могут быть использованы для уточнения теоретических моделей сверхзвуковых отрывных течений.

Значение полученных соискателем результатов исследования **для практики** подтверждается тем, что:

– представлен механизм формирования высоконапорного слоя, позволяющий предсказать величину повышенного полного давления в нём.

– показана возможность объяснения причин появления локальных неоднородностей с повышенными силовыми и тепловыми нагрузками на поверхность летательного аппарата в зоне присоединения сверхзвукового отрывного течения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

достоверность результатов работы обеспечивается использованием независимых методов эксперимента и проведением комплексных экспериментальных и численных исследований.

Личный вклад соискателя состоит в подготовке проведении экспериментальных исследований и участии в проведении численного расчёта, постановке задач и обсуждении результатов, а также в публикации основных результатов в рецензируемых журналах. Результаты совместных работ представлены в диссертации с согласия соавторов.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

На заседании 2 июня 2023 г. диссертационный совет принял решение за исследования механизма и условий существования высоконапорного слоя, результаты которых расширяют знания о структуре сверхзвукового отрывного течения в механике сплошных сред, присудить Трубицыной Л. П. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 11 докторов наук по профилю рассматриваемой

диссертации, участвующих в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 1, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета

Василий Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета

ов Сергей Александрович

2 июня 2023 г.

