

**Протокол № 34.06-30-1-11**

заседания диссертационного совета Д 212.232.30

от 20.04.2017

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 24 человек. Присутствовали на заседании 19 человек (из них 7 докторов наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы).

**Председатель:** д. физ.-мат.наук, профессор Товстик Петр Евгеньевич.

**Присутствовали:** д. физ.-мат. наук Товстик Петр Евгеньевич, д. физ.-мат. наук Морозов Никита Федорович, д. физ.-мат. наук Кустова Елена Владимировна, д. физ.-мат. наук Алдошин Геннадий Тихонович, д. физ.-мат. наук Бауэр Светлана Михайловна, д. физ.-мат. наук Волков Александр Евгеньевич, д. физ.-мат. наук Греков Михаил Александрович, д. физ.-мат. наук Иванова Елена Александровна, д. физ.-мат. наук Кривцов Антон Мирославович, д. физ.-мат. наук Леонов Геннадий Алексеевич, д. физ.-мат. наук Лестев Александр Михайлович, д. физ.-мат. наук Матвеев Сергей Константинович, д. физ.-мат. наук Мирошин Роман Николаевич, д. физ.-мат. наук Нагнибеда Екатерина Алексеевна, д. физ.-мат. наук Павловский Валерий Алексеевич, д. физ.-мат. наук Рыдалевская Мария Александровна, д. физ.-мат. наук Филиппов Сергей Борисович, д. физ.-мат. наук Холшевников Константин Владиславович, д. физ.-мат. наук Юшков Михаил Петрович.

Повестка дня.

Защита диссертации Облапенко Георгия Павловича на тему: «Скорость физико-химической релаксации в вязких неравновесных течениях газов» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, специальность 01.02.05 — механика жидкости, газа и плазмы.

**Слушали:** Защиту диссертации Облапенко Георгия Павловича на тему: «Скорость физико-химической релаксации в вязких неравновесных течениях газов» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, специальность 01.02.05 — механика жидкости, газа и плазмы.

**Официальные оппоненты по диссертации:** доктор физико-математических наук профессор Уваров Александр Викторович, доктор физико-математических наук профессор Кузнецов Михаил Михайлович.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук», г. Новосибирск.

**Постановили:** Диссертация Облапенко Георгия Павловича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение новой актуальной научной задачи исследования скорости неравновесных процессов в вязких многотемпературных течениях газов. Диссертация вносит существенный вклад в развитие неравновесной физико-химической аэродинамики и полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», в том числе п. 9 (абзац 2).

На основании результатов тайного голосования членов диссертационного совета (за – 19, против – 0, недействительных бюллетеней – 0) диссертационный совет принял решение присудить Облапенко Георгию Павловичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 — механика жидкости, газа и плазмы.

Председатель  
диссертационного совета



Товстик Петр Евгеньевич

Ученый секретарь совета



Бауэр Светлана Михайловна

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.232.30  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-  
ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», ПРАВИТЕЛЬСТВО РФ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 20.04.2017 г. №34.06-30-1-11

О присуждении Облапенко Георгию Павловичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Скорость физико-химической релаксации в вязких неравновесных течениях газов» по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы принята к защите «14» февраля 2017 года, протокол № 34.06-30-1-3 диссертационным советом Д 212.232.30 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Правительство РФ, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д.7-9, приказ Минобрнауки РФ № 75/нк от 15.02.2013 г.

Соискатель Облапенко Георгий Павлович, 1992 года рождения, в 2015 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет», обучается в аспирантуре в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», работает в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» инженером-исследователем на кафедре гидроаэромеханики.

Диссертация выполнена на кафедре гидроаэромеханики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Правительство РФ.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук доцент Кустова Елена Владимировна, профессор, заведующая кафедрой гидроаэромеханики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

Официальные оппоненты:

1. Уваров Александр Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, профессор

кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества физического факультета;

2. Кузнецов Михаил Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, Московский государственный областной университет, профессор кафедры теоретической физики

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук», г. Новосибирск – в своем положительном заключении, подписанном доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории Физических проблем управления газодинамическими течениями Поплавской Т.В., кандидатом физико-математических наук, научным сотрудником лаборатории Вычислительной аэродинамики Шевыриным А.А., утвержденном директором ИТПМ СО РАН, доктором физико-математических наук Шиплюком А.Н., указала, что диссертация отвечает всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Г.П. Облапенко, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, все – по теме диссертации, в том числе 8 работ опубликованы в научных изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, из них 7 работ – в изданиях, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science.

В опубликованных работах соискателя общим объемом 115 страниц, из которых 108 страниц посвящены исследованию скорости физико-химической релаксации в вязких неравновесных течениях газов, личный вклад соискателя состоит в разработке алгоритмов, проведении расчетов скорости физико-химических процессов и анализе результатов, обобщении формулы Ландау–Теллера и разработке метода расчета времен VT релаксации, разработке и исследовании применимости упрощенных моделей колебательной релаксации, проведении расчетов сечений переходов колебательной энергии по существующим моделям, расчете времен колебательной релаксации по различным моделям. В совместных работах научному руководителю принадлежит идея исследования, постановка задач, и обобщение метода Энскога—Чепмена.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Kustova E.V., Oblapenko G.P. Reaction and internal energy relaxation rates in viscous thermo-chemically non-equilibrium gas flows // Phys. Fluids, 2015. Vol. 27. P. 1.4906317. DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4906317>.
2. Kustova E.V., Oblapenko G.P. Mutual effect of vibrational relaxation and chemical reactions in viscous multitemperature flows // Phys. Rev. E, 2016. Vol. 93. No. 033127. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.93.033127>.
3. Kustova E.V., Oblapenko G.P. Vibration-dissociation Coupling in Multi-Temperature Viscous Gas Flows // AIP Conference Proceedings, 2016. V. 1786. P. 150004 (1-8) DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4967645>.

На автореферат диссертации поступило пять положительных отзывов из:

1. Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени Н.Е. Жуковского». Отзыв подписан доктором технических наук, профессором, главным научным сотрудником Стасенко А.Л. В качестве замечаний указано: «К сожалению, для случая плоского обтекания цилиндра бинарной смесью азота и кислорода в атмосфере (стр. 16) приведены только распределения температуры вдоль линии торможения. Желательно было бы проиллюстрировать также влияние различных моделей VT–переходов на другие параметры потока и их пространственное распределение».
2. Федерального государственного учреждения Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук. Отзыв подписан кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником Титаревым В.А., замечаний не содержит.
3. Научно-исследовательского института механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова». Отзыв подписан доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории физико-химической газодинамики Брыкиной И.Г. В качестве замечаний указано «Следует отметить, что полезно было бы прояснить, на каких участках траектории спуска летательного аппарата (или при каких параметрах обтекания) существенны выявленные неравновесные эффекты, и насколько сильно они влияют на характеристики течения около поверхности аппарата, в частности, на тепловой поток».
4. Университета Пурдью (США) (Purdue University, USA). Отзыв подписан профессором факультета аэронавтики и астронавтики А. Алексеенко. В качестве замечаний указано «В гл. 3 диссертации приведены результаты расчетов ударных волн

в смесях O<sub>2</sub>/O при числах Маха 9.3 и 13.4. Насколько я понимаю, выбор таких условий мотивирован наличием экспериментальных данных. Желательно сравнение результатов данной работы, показанных на рис. 3.14, с экспериментальными измерениями, а также опубликованными результатами расчетов методом ПСМ».

5. Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича» Сибирского отделения Российской академии наук. Отзыв подписан доктором физико-математических наук, старшим научным сотрудником лаборатории вычислительной аэродинамики Кудрявцевым А.Н. и кандидатом физико-математических наук, научным сотрудником лаборатории вычислительной аэродинамики Шершнёвым А.А. В качестве замечаний указано «К недостаткам автореферата мы бы отнесли недостаточно подробное в некоторых случаях обсуждение приведенных на графиках результатов расчетов. Так, на рис. 1 очевидно заметное несовпадение при высоких температурах времен колебательной релаксации, предсказываемых всеми моделями, с данными эксперимента. Несмотря на то, что автор пишет, что полученная им формула дает «дает качественное согласие с результатами экспериментов», в действительности ее расхождение с экспериментом сравнимо с тем, что дает формула Милликена-Уайта с поправкой Парка, только имеет обратный знак. Здесь уместен был бы краткий комментарий о возможных причинах такого расхождения. Также, на рис. 3 (справа) представляется загадочным резкое падение, в противоположность всем другим моделям, величины релаксационного члена, рассчитанного по первому приближению метода Чепмена-Энскога, при температурах выше 10 000 К.»

Ответы на замечания в отзывах на автореферат даны в ходе защиты.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича» Сибирского отделения Российской академии наук является одним из ведущих научных центров, осуществляет научно-исследовательские работы в направлениях неравновесной гиперзвуковой аэродинамики, проектные работы в области экспериментального и численного исследования сильнонеравновесных течений газов. Научно-исследовательские работы в области механики жидкости, газа и плазмы проводятся сотрудниками лабораторий вычислительной аэродинамики, физических проблем управления газодинамическими течениями на современном уровне с применением современных вычислительных средств и программного обеспечения. Выбор оппонента Уварова Александра Викторовича обосновывается тем, что он является ведущим специалистом в области исследования релаксационных



процессов и течений с колебательной неравновесностью, является руководителем семинара «Физико-химическая кинетика в газовой динамике», проводимого в НИИ Механики МГУ, является автором более 50 научных публикаций и учебно-методических работ по теме диссертации. Выбор оппонента Кузнецова Михаила Михайловича обосновывается тем, что он является признанным специалистом в области кинетической теории неравновесных процессов. Прекрасно знаком с проблематикой исследуемого вопроса. Является автором более 30 научных публикаций.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** теоретическая модель скорости физико-химической релаксации в рамках многотемпературного описания течений вязких смесей газов;

**предложено** обобщение широко используемой в прикладных расчетах формулы Ландау-Теллера на случай произвольных отклонений от колебательного равновесия;

**доказано**, что вязкие поправки к скорости физико-химической релаксации могут играть существенную роль в течениях за сильными ударными волнами;

**введено** определение времени колебательной релаксации, позволяющее теоретически предсказать его немонотонное поведение, обнаруженное экспериментально при высоких температурах, и проводить расчет для любых квазистационарных распределений по колебательным энергиям.

**Теоретическая значимость проведённых исследований** обоснована тем, что: построена замкнутая самосогласованная модель скорости физико-химических процессов в смесях вязких газов в многотемпературном приближении; обнаружены перекрестные эффекты между скоростями различных процессов и диагональными элементами тензора напряжений; доказаны соотношения Онзагера-Казимира для кинетических коэффициентов при скалярных термодинамических силах; исследована скорость физико-химической релаксации при различных неравновесных условиях; методом прямого статистического моделирования изучено влияние многоквантовых колебательных переходов на обтекание двумерных тел.

**применительно к проблематике диссертации эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов, использован** обобщенный метод Энскога-Чепмена для построения алгоритма расчета скорости физико-химических процессов в вязких газах;

**выявлены** закономерности изменения скорости физико-химической релаксации для различных неравновесных течений;

**исследовано** влияние VT-переходов колебательной энергии и реакций диссоциации-рекомбинации на скорость колебательной и химической релаксации в сильнонеравновесных течениях газов;

**проведена модернизация** метода прямого статистического моделирования (ПСМ) с учетом поуровневых сечений обменов колебательной энергией.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработаны и реализованы** алгоритмы расчета скорости физико-химической релаксации в вязких газах в многотемпературном приближении; **реализованы** поуровневые модели колебательной релаксации в методе ПСМ; **определены** пределы применимости упрощенных моделей времени колебательной релаксации и скорости диссоциации;

**представлены** рекомендации по выбору моделей физико-химической релаксации в различных неравновесных условиях.

Результаты рекомендуются к использованию в таких организациях, как Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича, НИИ Механики МГУ, Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им С.П. Королева, Центральный научно-исследовательский институт машиностроения.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**теория** построена на основе строгих методов кинетической теории газа;

**идея базируется** на применении хорошо зарекомендовавшего себя модифицированного метода Энскога-Чепмена, а также метода ПСМ, который является одним из наиболее надежных инструментов численного моделирования течений разреженных газов;

**установлено** качественное и количественное совпадение результатов, полученных автором, с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

**использованы** современные хорошо апробированные модели межмолекулярного взаимодействия для расчета интегралов столкновений, вероятностей переходов и коэффициентов скорости физико-химических процессов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах процесса исследования: при постановке задачи, теоретическом построении моделей скорости физико-химической релаксации в вязких неравновесных течениях газов, выполнении численных расчётов. Программная реализация алгоритмов, расчеты, обработка и анализ результатов, представленных в диссертации, выполнены лично автором.



Соискатель участвовал в апробации результатов исследования и подготовке публикаций по теме работы.

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение новой актуальной научной задачи исследования скорости неравновесных процессов в вязких многотемпературных течениях газов. Диссертация вносит существенный вклад в развитие неравновесной физико-химической аэродинамики и полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», в том числе п. 9 (абзац 2).

На заседании 20 апреля 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Облапенко Георгию Павловичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета Д 212.232.30

д. ф.-м.н., профессор

Товстик Петр Евгеньевич

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.232.30

д. ф.-м.н., профессор

Бауэр Светлана Михайловна

20.04.2017 г.

