

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 31.1.006.01 (Д 403.004.01),  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО  
ПРЕДПРИЯТИЯ «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИМЕНИ ПРОФЕССОРА Н.Е. ЖУКОВСКОГО»  
МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ (ДЕПАРТАМЕНТ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ),  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 13 января 2022 г. № 1

О присуждении Молеву Сергею Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** «Численное исследование эффекта повышения скорости самоподдерживающейся детонации при распространении по каналу с пограничными слоями» по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы (ранее 01.02.05 — «Механика жидкости, газа и плазмы») в виде рукописи **принята к защите** 09 ноября 2021 года (протокол № 21) диссертационным советом 31.1.006.01 (Д 403.004.01), созданным на базе Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ») Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Департамент авиационной промышленности). Адрес организации: 140180, Московская область, г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1. Приказом Минобрнауки России от 15.02.2013 № 75/нк диссертационному совету 31.1.006.01 (Д 403.004.01) предоставлено право приема к защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание степени доктора наук.

**Соискатель** Молев Сергей Сергеевич, 02 июня 1990 года рождения.

В **2014** году соискатель окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (в настоящее время национальный исследовательский университет). В **2019** году соискатель окончил аспирантуру ФГУП «ЦАГИ» по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика» (специальность 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»).

Соискатель работает младшим научным сотрудником научно-исследовательского отделения «Аэродинамика силовых установок» ФГУП «ЦАГИ» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Департамент авиационной промышленности).

**Диссертация выполнена** в научно-исследовательском отделении «Аэродинамика силовых установок» ФГУП «ЦАГИ» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Департамент авиационной промышленности).

**Научный руководитель:** доктор физико-математических наук, доцент Власенко Владимир Викторович, заместитель начальника лаборатории физического и численного моделирования течений с горением в двигателях перспективных летательных аппаратов.

**Официальные оппоненты:**

**Голуб Виктор Владимирович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией физической газовой динамики Объединённого Института Высоких Температур Российской Академии Наук (ОИВТ РАН);

**Семенов Илья Витальевич**, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела вычислительной математики Федерального Научного Центра Научно-Исследовательского Института Системных Исследований Российской Академии Наук (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН)

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева» Сибирского отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН) — в своём **положительном** отзыве, подписанном Васильевым Анатолием Александровичем, доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником лаборатории газовой детонации ИГиЛ СО РАН и утверждённом Ерманюком Евгением Валерьевичем, доктором физико-математических наук, Директором ИГиЛ СО РАН, **указала**, что диссертация представляет собой законченное научное исследование, вносящее важный вклад в развитие теории газовой детонации, содержит интересные и важные данные для теоретического и практического использования. Диссертация удовлетворяет требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы. Диссертация и отзыв были обсуждены и одобрены на межинститутском объединенном научном видеосеминаре ИТПМ СО РАН + ЦАГИ + ИМех МГУ + СПбПУ 23 ноября 2021 г.

**Соискатель имеет** 7 опубликованных работ по теме диссертации, все из них опубликованы в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень ВАК российских цитируемых научных журналов, или в изданиях для опубликования основных научных результатов диссертаций, входящих в базу данных Scopus.

#### **Список работ:**

1. Молев С.С. Повышение качества моделирования нестационарных процессов при использовании явной схемы с дробным шагом по времени // Учёные записки ЦАГИ, том XLVI, № 8, 2015, с. 53-70.

Работа посвящена исследованию явной численной схемы для решения нестационарных уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу с при использовании метода дробного шага по времени. Приведен анализ причин потенциально возможного невыполнения схемой законов сохранения массы, импульса и энергии. Дан способ преодолеть эту проблему. Также в работе показано, что схема при использовании метода дробного шага по времени может не выполнять принцип Куранта-Фридрихса-Леви, что потенциально может приводить к неустойчивости решения. Дан способ выявления таких ситуации и предотвращения потери устойчивости схемой. Личный вклад автора состоит в проведении численного исследования метода дробного шага по времени.

2. Molev S., Podaruev V., Troshin A. Fractional time stepping for unsteady engineering calculations on parallel computer systems // AIP Conference Proceedings. Proceedings of ICCMSE 2017, 2017, p. 050003.

В работе изложены результаты улучшения масштабируемости параллельных расчетов при использовании явной схемы с методом дробного шага по времени. Авторский вклад – 60% и состоит в работе над оптимизацией распределения вычислительной нагрузки по вычислительным ядрам.

3. Vlasenko V.V., Matyash E.S., Molev S.S., Sabelnikov V.A., Talyzin V.A. Simulation of flow development in high-speed combustor in 2D and 3D formulations // AIP Conference Proceedings, 2018, p. 030076.

Представлена модель высокоскоростной камеры сгорания на газообразном углеводородном топливе, подготовленная для экспериментов в аэродинамической трубе ЦАГИ с целью создания экспериментальной базы данных для проверки расчетов и физических моделей турбулентности и горения. Основной темой являются

предварительные расчеты этой камеры сгорания. Авторский вклад – 40%. Автором проведены предварительные расчёты режимов течения по нестационарным уравнениям Рейнольдса в двумерной и трехмерной постановках.

4. Босняков С., Власенко В., Енгулатова М., Матяш С., Михайлов С., Молев С. Об эффективности двух подходов к расчету обтекания крыла с выпущенной механизацией при наличии отрывных зон //ЖВМ и МФ, т.59, № 1, 2019, с. 87 101.

В статье на примере модельных уравнений рассмотрено два способа организации маршевой процедуры по времени – дробный шаг в случае явной схемы и дуальный шаг в случае неявной схемы. Показано, что метод дробного шага эффективен только на сетках с разбросом размеров ячеек 100–1000. Для численного решения задач с условием прилипания на твердых стенках (разброс размеров ячеек  $10^4$ – $10^5$ ) рассмотрены два подхода – неявная схема с дуальным шагом во всех ячейках и зональный подход, при котором дуальный шаг используется в тонкой пристеночной области (около 3% от толщины развитого турбулентного пограничного слоя), а в остальной области применяется дробный шаг. Авторский вклад – 50% и состоит в проведении анализа эффективности метода дробного шага по времени и выявлении условий его эффективного применения.

5. Vlasenko V.V., Sabelnikov V.A., Molev S.S., Voloshchenko O.V., Ivankin M.A., Frolov S.M. Transient combustion phenomena in high-speed flows in ducts // Shock Waves, Vol. 30, No. 3, 2020, p. 245 261.

В работе исследуется задача стабилизации горения в канале со сверхзвуковым потоком на входе методом численного моделирования с привлечением экспериментальных данных. Показано влияние переходного процесса развития горения на конечную структуру течения. Рассмотрены и проанализированы четыре примера, включая случаи со стационарным конечным состоянием, с периодическими колебаниями и со срывом пламени. Показано влияние кинетического механизма, пристеночного теплообмена и симметрии течения. Найдены ситуации с несколькими стационарными решениями. Авторский вклад – 30% и состоит в том, что автором проведены численные исследования режимов горения в камере.

6. Сабельников В.А., Власенко В.В., Молев С.С. Анализ взаимодействия движущейся детонации с турбулентными пограничными слоями в канале на основе численного моделирования //Уч. записки ЦАГИ, т. LI, № 6, 2020, с. 14 27.

В работе приведено численное исследование эксперимента Белле и Деэ 1970г. В расчетах на основе нестационарных уравнений Рейнольдса воспроизведен эффект увеличения скорости детонационной волны в канале с пограничными слоями. Авторский вклад – 70%. Автором были выполнены все представленные расчеты, представлена схема газодинамической структуры течения, а объясняющая рост скорости волны квазиодномерная теория.

7. Сабельников В.А., Власенко В.В., Молев С.С., Трошин А.И., Бахнэ С. Объяснение роста скорости самоподдерживающейся детонации при ее распространении вверх по потоку в канале с пограничными слоями //Горение и взрыв, т.13, № 4, 2020.

При помощи численного моделирования исследована газодинамическая структура детонационной волны, распространяющейся против сверхзвукового потока в канале с пограничными слоями. Дан анализ газодинамической структуры детонационной волны, выявлен и объяснен механизм увеличения скорости детонации. Совместное воздействие зоны отрыва пограничного слоя и вторичной детонационной волны приводит к образованию газодинамического сопла Лавалья с запирающим потоком за детонационным диском Маха. Показано, что рассматриваемое течение можно отнести к классу двухслойных самоподдерживающихся детонаций. Рассмотрено влияние тепловых потоков, трехмерных (3D) эффектов и турбулентности на скорость волны. Авторский

вклад – 60%, заключается в проведении численного исследования, постановке ключевого вычислительного эксперимента, который показал ключевую роль вторичной детонации и существенную двуслойность рассматриваемого течения.

Основные результаты, описанные в публикациях, докладывались на 5 российских и международных конференциях.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы официальных оппонентов и ведущей организации.**

**Отзыв официального оппонента В.В. Голуба – положительный, имеются следующие замечания:**

1. Несмотря на то, что одномерные расчеты автора демонстрируют, что разрешение структуры фронта детонационной волны не влияет на ее макроскопические характеристики, обобщение этого факта на двумерный и трехмерный случай не вполне правомерно, т.к. реальный фронт имеет так называемую «ячеистую структуру». Образующие его нестационарные волны сжатия, взаимодействуя со вторичной детонацией, вполне могут придавать исследуемой структуре неустойчивость, что не исследовано в данной работе.

2. На рисунке 3.10 в двумерном расчете высота отрыва явно меньше, чем на шлирен-фотографии. В трехмерном расчете автора (рис. 3.37) высота отрыва еще меньше. Непонятно, почему именно в этом случае достигнуто наилучшее согласование по скорости волны с экспериментом.

3. Термин “самоподдерживающаяся детонация” является не очень удачным применительно к данному явлению, поскольку оно, безусловно, не может существовать при отсутствии пограничных слоев на стенках канала и, следовательно, может сохраняться лишь на конечной длине. К сожалению, в диссертации отсутствуют данные по зависимости структуры волны и ее скорости от толщины пограничного слоя перед волной.

**Отзыв официального оппонента И.В. Семенова – положительный, имеются следующие замечания:**

1. В разделе 2.6 представлено сопоставление различных методов расчета нестационарных течений, включая адаптивно-неявную схему. Данная схема используется в вычислительных экспериментах из разделов 3.3 и 3.4. Однако, в работе сама адаптивно-неявная схема описана очень кратко (нет сведений об алгоритме перехода с неявной схемы на явную). Также нет информации об использованных подходах к распараллеливанию данной схемы.

2. В описании к схеме (2.23) на странице 56 приведено некорректное утверждение о том, что правая часть системы может быть вычислена по параметрам с  $n+1$  слоя без линеаризации.

3. В работе не содержится данных о распределениях концентраций компонентов, полученных в ходе вычислительных экспериментов.

4. В разделе 2.5 представлено описание набора базовых тестов для верификации программы zFlare, но результаты тестов в работе не приведены.

5. В разделе 2.6 при сопоставлении эффективности методов расчета нестационарных течений для адаптивно-неявной схемы не указана глубина сходимости. Для схемы с дуальным шагом по времени не приводится обоснование выбора шага по псевдовремени и количество итераций на одном физическом шаге по времени.

6. В разделе 3.3.10 диссертационной работы представлены данные результатов расчетов, полученные с использованием метода SST-IDDES. В работе не указано положение и ширина зоны перехода с SST модели на LES, нет данных о соответствии размера расчетной сетки критериям для проведения численного моделирования с

применением LES подхода, а также не приведены данные об изменении скорости детонационной волны вдоль канала. В диссертации не выделена роль соискателя в проведении численных исследований с использованием LES подхода (в тексте указано, что расчеты подготовлены и выполнены А.И. Трошиным).

7. В работе обращено внимание на погрешность, вносимую использованием полиномов 2-ой степени для аппроксимации зависимостей энтальпий компонентов смеси от температуры. Желательно было провести несколько расчетов с использованием более точной аппроксимации энтальпий в высокотемпературном диапазоне ( $>3500$  K) для оценки влияния этой погрешности.

8. В работе присутствует использование нестрогих обозначений. Например, вместо «интегрирования по времени» используется «способ движения по времени» (Таблица 2.1).

**Отзыв ведущей организации положительный, высказаны следующие замечания:**

1. Основным в предлагаемом объяснении структуры фронта детонации является предположение о детонационном режиме сгорания смеси в зоне отрыва, когда повышенное давление продуктов детонации поддерживает косую ударную волну в пограничном слое и Маховскую волну в центральной части канала. Однако наряду с рассмотренным режимом существует другая альтернатива – сгорание смеси в зоне отрыва в режиме дозвуковой дефлаграции, когда в зоне отрыва в продуктах дефлаграции давление не повышается. Тогда и поддержки косой и Маховской волне уже не будет, что приведет к распаду первоначальной конфигурации и ее трансформации. Рекомендую после защиты рассчитать подобный вариант и убедиться в этом. Хочу заметить, что представленный в диссертации вариант с детонационным сгоранием смеси в зоне отрыва все равно нужен.

2. Утверждение о подобии расчетного варианта конфигурации ДВ при распространении вверх по потоку с конфигурацией фронта волны двухслойной детонации (описание в книге Митрофанов В.В. Детонация гомогенных и гетерогенных систем //Изд-во СО РАН, Новосибирск, 2003) является дискуссионным, поскольку в газовой смеси турбулентного слоя при детонации никогда не будет килобарных давлений, присущих продуктам детонации твердого ВВ, нанесенного на стенки канала. Именно такие несвойственные газам давления гонят косую ударную волну к оси канала, а столкновение этих волн на оси порождает кумулятивную струю, головная часть которой обгоняет фронт детонации в слое ВВ и в дальнейшем такая скоростная осевая часть фронта порождает свои косые ударные волны, которые уже сами являются инициаторами для детонации в слое ВВ.

3. В данной задаче есть несколько параметров с размерностью длины – размеры канала, толщина погранслоя, размер области отрыва погранслоя, характерный размер зоны реакции. Было бы весьма полезно приводить соотношение между ними с целью выявления базового критерия процесса и его граничной величины.

**На автореферат поступило 5 отзывов из организаций, перечисленных ниже.**

1) Государственный научный центр, федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» (г. Москва). Отзыв составил начальник отдела, действительный член Российской Академии естественных наук, доктор физико-математических наук Крайко Александр Николаевич. Отзыв положительный, содержит замечание:

1 К его недостаткам ... отнесу некоторые неточности (в модели ЗНД за ударной

волной следует не фронт горения, а зона реакции, пик давления при  $M = 1.7$  не выше, как в тексте, а ниже, чем при  $M = 3.5$ ) и не всегда удачную терминологию: всюду "скорость детонации" вместо "скорости ДВ" и "вторичная детонация".

**2) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск).** Отзыв составили главный научный сотрудник ИТПМ СО РАН, доктор технических наук Звегинцев Валерий Иванович и заведующий лабораторией ИТПМ СО РАН кандидат технических наук Наливайченко Денис Геннадиевич. Отзыв положительный, содержит два замечания:

1. В экспериментальной работе [Васильев А.А., Звегинцев В. И., Наливайченко Д.Г. Детонационные волны в сверхзвуковом потоке реагирующей смеси // Физика горения и взрыва. – 2006. – Т.42. – №. 5. – С. 85-100.] было получено увеличение скорости детонационной волны при распространении детонации против набегающего потока (что совпадает со случаем, рассмотренным в диссертации), а также уменьшение скорости детонационной волны при распространении детонации по направлению движения потока. Хотелось бы предложить автору, с учетом накопленного опыта и инструментария, дать объяснение эффекту уменьшения скорости детонационной волны при ее движении вниз по потоку.

2. В указанной выше работе, а также в ряде работ сотрудников С.М. Фролова [Фролов С.М., Шамшин И.О., Аксёнов В.С. и др. Ранжирование газовых топливно-воздушных смесей по их детонационной способности с помощью эталонной импульсно-детонационной трубы // Горение и взрыв, 2019. Т. 12. № 3. С. 78-90. <https://doi.org/10.30826/CE19120309>] показано, что формирование детонационной волны после инициирования происходит с задержкой по времени, в результате чего скорость волны достигает стационарного значения на расстоянии порядка 1 м от источника воспламенения. В расчетах автора, которые сравниваются с экспериментами 1970 г., рассматривается стационарная детонационная волна на расстоянии в несколько десятков миллиметров от источника зажигания. Чем обусловлена указанная разница времен и расстояний формирования детонационной волны?

**3) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» (г. Санкт-Петербург).** Отзыв составил заведующий научно-исследовательской лабораторией «Беспилотные авиационные и космические транспортные системы», профессор кафедры «Плазмогазодинамика и теплотехника» (А9) ФГБОУ ВО «ВОЕНМЕХ», доктор технических наук, кандидат физико-механических наук, доцент Михаил Викторович Чернышов. Отзыв положительный, содержит одно замечание:

1. В частности, судя по автореферату, автором не был проведен анализ возникающих разветвленных структур ударных и детонационных волн на плоскости ударных полях, что позволило бы провести подробное параметрическое исследование и выявить основные закономерности обнаруженного физического эффекта. Вероятно, такая работа является предметом будущих исследований автора.

**4) Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение Науки Федеральный Исследовательский Центр Химической Физики им. Н.Н. Семенова Российской Академии Наук (г. Москва).** Отзыв составил доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Иванов Владислав Сергеевич. Отзыв положительный, содержит два замечания:

1. В работе отсутствует исследование влияния химической кинетики на получаемую

в расчете картину течения и на скорость детонационной волны. Все расчеты выполнены с использованием сильно урезанного механизма Яхимовского (7 реакций без участия пероксидов). Уточнение кинетического механизма могло бы изменить пропорции получаемой волновой структуры.

2. Известно, что современные модели турбулентности, основанные на гипотезе Буссинеска, неправильно предсказывают размер отрывных зон. Необходимо объяснить, за счет чего автору удалось получить хорошее согласие с экспериментом в трехмерном расчете.

**5) Научно-исследовательский институт механики МГУ имени М.В. Ломоносова (г. Москва).** Отзыв составил заведующий лабораторией газодинамики взрыва и реагирующих систем НИИ Мех. МГУ академик РАН, доктор физико-математических наук Левин Владимир Алексеевич. Отзыв положительный, без замечаний.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их широкой известностью своими достижениями, компетентностью, наличием публикаций в данной сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

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

**сопоставлена** эффективность различных методов моделирования нестационарных течений;

**проанализирована** газодинамическая структура, возникающая в результате взаимодействия детонации с пограничными слоями;

**продемонстрирована** ключевая роль вторичной детонации в формировании этой структуры и повышении скорости волны;

**предложены квазиодномерная модель** самоподдерживающейся детонации в сужающемся канале с запирающим потоком и **классификация** отрывного течения с самоподдерживающейся детонацией в канале с точки зрения квазиодномерной теории;

**исследовано** влияние различных факторов на газодинамическую структуру отрывного течения с самоподдерживающейся детонацией и на скорость ее распространения по каналу.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**выполнен анализ** точности, устойчивости и эффективности распараллеливания метода дробного шага по времени. Даны обоснованные рекомендации по выбору численного метода расчета нестационарных течений с горением в каналах;

**установлен характер влияния** различных факторов на газодинамическую структуру течения при взаимодействии детонации с пограничными слоями и **найденны физические механизмы**, ускоряющие детонацию, движущуюся против потока в канале с пограничными слоями.

**Научная новизна работы заключается в том, что впервые**

**Впервые детально описана** газодинамическая структура течения при распространении детонации против потока в канале с пограничными слоями.

Дано **новое объяснение** повышения скорости распространения самоподдерживающейся детонации в таком течении и доказано, что выявленный физический механизм является основной причиной данного эффекта.

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

**численные методы реализованы** в программных модулях и применяются для численного моделирования камер сгорания;

**получено Свидетельство** о государственной регистрации разработанной программы №2019610822 от 18 января 2019 г.;

на работу даны положительные отзывы авторитетных организаций, в том числе от Научно-исследовательского института механики МГУ имени М.В. Ломоносова, Объединенного института высоких температур РАН, Центрального института авиационного моторостроения имени П.И. Баранова, Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича, Балтийского государственного технического университета ВОЕНМЕХ им. Д.Ф. Устинова.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**сопоставление** полученных расчётных результатов с экспериментальными данными, опубликованными независимыми авторами;

**использование** компьютерной программы, ориентированной на корректное моделирование нестационарных процессов, и протестированной на большом наборе задач;

**сравнение** результатов нульмерных и одномерных расчетов;

**сопоставление** предсказаний квазиодномерной теории с результатами расчетов;

**сопоставление** расчетов с пристенными функциями на равномерной сетке и с условием прилипания потока на неравномерной сетке;

**сравнение** расчетов на базе подходов URANS и LES;

**демонстрацию** сходимости численного решения по сетке.

**Личный вклад соискателя состоит:**

в **анализе** метода дробного шага по времени;

в **реализации** различных методов моделирования нестационарных течений с горением в программном продукте zFlare и их **сопоставлении**;

в **проведении** всех расчетов распространения детонации на базе уравнений Рейнольдса;

в **постановке** некоторых численных экспериментов, **анализе** их результатов;

в **разработке** квазиодномерной модели самоподдерживающейся детонации в сужающемся канале с запирающим потоком;

в **написании** статей по теме диссертации;

в **подготовке и выступлении** с докладами на российских и международных конференциях.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний. Соискатель Молев С.С. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, удовлетворившую авторов вопросов.

**Соответствие паспорту специальности.** Диссертационное исследование по своему содержанию соответствует заявленной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы, в частности, следующим пунктам паспорта специальности: п.3 (Ламинарные и турбулентные течения), п.4 (Течения сжимаемых сред и ударные волны), п.8 (Физико-химическая гидромеханика (течения с химическими реакциями, горением, детонацией, фазовыми переходами, при наличии излучения и др.)), п.11 (Пограничные слои, слои смещения, течения в следе), п.18 (Аналитические, асимптотические и численные методы исследования уравнений кинетических и континуальных моделей однородных и многофазных сред (конечно-разностные, спектральные, методы конечного объема, методы прямого моделирования и др.)).

На заседании 13 января 2022 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции Постановления Правительства РФ от 11.09.2021 г. № 1539). Диссертационный совет заключил за решение научной задачи, имеющей значение для развития механики жидкости и газа, присудить Молеву Сергею Сергеевичу ученую степень кандидата



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

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве \_\_\_ человек,

из них:

- по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»
  - 9 докторов физико-математических наук,
  - 0 докторов технических наук,
- по специальности 05.07.01 – «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов»
  - 3 доктора физико-математических наук,
  - 5 докторов технических наук,
- по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»
  - 0 докторов физико-математических наук,
  - 3 доктора технических наук,

участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени — 20, против присуждения учёной степени — 0, недействительных бюллетеней — 0.

Заместитель председателя  
диссертационного совета  
31.1.006.01 (Д 403.004.01),  
д.ф.-м.н., с.н.с.

Сергей Владимирович Ляпунов

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
31.1.006.01 (Д 403.004.01),  
д.ф.-м.н., доцент

Мурад Абрамович Брутян

13 января 2022 года

