

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 9 ноября 2021 г. № 20

О присуждении Абрамовой Ксении Александровне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Управление обтеканием профиля крыла с помощью выдува тангенциальной струи при колебаниях скачка уплотнения» 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** 24 августа 2021 года (протокол № 12) 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 Абрамова Ксения Александровна, 3 августа 1992 года рождения.

В 2015 году соискатель окончила магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (в настоящее время национальный исследовательский университет). В 2020 году соискатель окончила 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 самолетов и ракет» ФГУП «ЦАГИ» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Департамент авиационной промышленности).

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

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, доцент Судаков Виталий Георгиевич, заместитель начальника отделения по теоретическим и физическим исследованиям – начальник отдела ФГУП «ЦАГИ».

Официальные оппоненты:

Азарова Ольга Алексеевна, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела математического моделирования систем проектирования Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН);

Дубень Алексей Петрович, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник сектора вычислительной аэродинамики и аэроакустики Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт

прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)

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 (ИТПМ СО РАН) — в своём **положительном** отзыве, подписанном Поплавской Татьяной Владимировной, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории физических проблем управления газодинамическими течениями ИТПМ СО РАН и Косиновым Александром Дмитриевичем, доктором физико-математических наук, заведующим лабораторией, главным научным сотрудником лаборатории волновых процессов в сверхзвуковых течениях ИТПМ СО РАН и утверждённом Шиплюком Александром Николаевичем, членом-корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук, Директором ИТПМ СО РАН, указала, что диссертация представляет собой законченное научное исследование, вносящее важный вклад в развитие механики жидкости и газа, 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 научном семинаре «АЭРОГАЗОДИНАМИКА» ИТПМ СО РАН 23.09.2021.

Соискатель имеет 24 опубликованные работы по теме диссертации, из них 6 работ опубликовано в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень ВАК российских рецензируемых научных журналов, или в изданиях для опубликования основных научных результатов диссертаций, входящих в базу данных Scopus.

Наиболее значимые работы:

1. Абрамова К. А., Рыжов А. А., Судаков В. Г., Хайруллин К. Г. Численное моделирование трансзвукового бафтинга и управления им с помощью выдува тангенциальной струи // Изв. РАН. МЖГ. – 2017. №2. – С.173–180.

Работа посвящена численному исследованию колебаний скачка уплотнения на трансзвуковом профиле крыла. Приведен анализ течения у профиля на отрывных режимах, определена граница начала трансзвукового бафтинга. Проведено сравнение аэродинамических характеристик с выдувом струи и без. Личный вклад автора оценивается в 40% и состоит в проведении численного моделирования управления колебаниями скачка уплотнения с помощью выдува тангенциальной струи при различных интенсивностях выдува. Показано, что выдув струи затягивает начало трансзвукового бафтинга.

2. Абрамова К. А., Судаков В. Г. Оптимизация управления течением с помощью тангенциального выдува на трансзвуковом профиле крыла // Труды МАИ. – 2019. №105. – 21 с.

В статье представлены результаты оптимизации выдува тангенциальной струи на верхнюю поверхность трансзвукового профиля. Показано, что с помощью выдува можно улучшить такие аэродинамические характеристики как аэродинамическое качество и сопротивление. Авторский вклад – 70% и состоит в том, что автором на основе численного моделирования проведена оптимизация аэродинамических характеристик профиля крыла. В рамках рассмотренных задач получены оптимальные положения сопла и интенсивности струи.

3. Абрамова К. А., Петров А. В., Потапчик А. В., Судаков В. Г. Экспериментальные

исследования управления трансзвуковым бафтингом на профиле крыла с помощью тангенциального выдува струи // Изв. РАН. МЖГ. – 2020. №4. – С.117-125.

Представлены результаты экспериментальных исследований подавления отрыва потока, вызванного скачком уплотнения, и устранения трансзвукового бафтинга с помощью тангенциального выдува струи на верхнюю поверхность сверхкритического профиля крыла, проведенных в аэродинамической трубе Т-112 ЦАГИ. Результаты исследования показали, что тангенциальный выдув струй подавляет отрыв потока, вызванный скачком уплотнения, увеличивает подъемную силу и задерживает начало возникновения колебаний. Авторский вклад составляет – 60%. Автором проведен анализ и обработка экспериментальных данных – проведены сравнение и анализ результатов, полученных для базовой конфигурации (без выдува) и конфигурации с выдувом тангенциальной струи.

4. Abramova K. A., Khairullin K. G., Ryzhov A. A., Soudakov V. G. Numerical simulation of transonic buffet and its control using tangential jet blowing // ECCOMAS Congress 2016 – Proceedings of the 7th European Congress on Computational methods in Applied Sciences and Engineering. 5-10 June, 2016, Crete Island, Greece. – P. 1455-1463.

С помощью решения уравнений Рейнольдса в нестационарной постановке с различными моделями турбулентности рассматриваются колебания скачка уплотнения на профиле крыла. Авторский вклад – 25%. Автором проведены расчеты обтекания базовой конфигурации с различными моделями турбулентности и сравнение конфигураций гладкого профиля и профиля с соплом, но без выдува, а также параметрические численные исследования по подавлению колебаний на профиле крыла с помощью выдува тангенциальной струи в области скачка уплотнения. Получено, что выдув значительно улучшает аэродинамические характеристики профиля и позволяет подавить колебания.

5. Abramova K. A., Soudakov V. G., Petrov A. V., Potapchik A. V. Investigations of Transonic Buffet Control on Civil Aircraft Wing with the Use of Tangential Jet Blowing // AIP Conference Proceedings 1770, 020017. – 2016. – 7 p.

В работе представлены два механизма подавления колебаний. Экспериментально и численно показано, что тангенциальный выдув струи малой интенсивности эффективно устраняет отрыв потока, вызванный взаимодействием скачка уплотнения с пограничным слоем. Авторский вклад – 60% и состоит в том, что автором проведены численные исследования по выдуву тангенциальной струи. Проанализированы результаты экспериментальных исследований.

6. Abramova K. A., Soudakov V. G. Numerical optimization of flow control by tangential jet blowing on transonic airfoil // ICAS Paper 2018-0704. – 2018. – P. 1-8.

В работе рассматривается оптимизация управления течением с помощью тангенциального выдува струи. Авторский вклад – 70%. Автором были выполнены процедуры оптимизации, представленные в работе. Показано, что выдув с найденными параметрами эффективно влияет на течение.

Основные результаты, описанные в публикациях, докладывались автором на 20 российских и международных конференциях.

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

Отзыв официального оппонента О.А. Азаровой – положительный, имеются следующие замечания:

1. В п.1.6 (стр. 48) описывается серия предварительных исследований по сравнению расчетов, выполненных по различным схемам. Проводится сравнительный анализ схемы 2 порядка точности с использованием дуального шага по времени и линеаризованной неявной схемы 1 порядка точности при варьировании глубины сходимости итераций по

псевдовремени, а также пространственной аппроксимации WENO5 и TVD-схемы с лимитером ван Лира. Эти результаты могли бы быть описаны в тексте более подробно.

2. На рис. 1.7.4г (стр. 56) и рис. 1.7.7г (стр. 60) видно, что параметр аэродинамического качества $K(C_{ya})$ более плавно уменьшается по C_{ya} при наличии вдува струи с $C_{\mu}=0.0073$ и $C_{\mu}=0.0049$ по сравнению с его уменьшением для базового профиля (для RANS и URANS). К сожалению, этот интересный результат не нашел своего отражения в тексте диссертации.

3. На стр. 68-69 приведены два механизма подавления колебаний, установленных автором. Этот результат недостаточно подробно представлен в выводах.

4. На рисунках 1.4.1, 1.5.7, 1.5.8, 1.7.3 изображено распределение коэффициента давления вдоль профиля крыла для конфигурации с выдувом струи, при этом в подписи не указано, что приведенные кривые соответствуют верхней и нижней поверхностям профиля.

5. Параметр «аэродинамическое качество» K встречается на стр. 55, а определен только на стр. 103. Аббревиатура CKO не расшифрована.

Отзыв официального оппонента А.П. Дубеня – положительный, имеются следующие замечания:

1. В тексте диссертации нарушена последовательность представления результатов работы. На взгляд рецензента, более логичным было бы сначала изложить результаты эксперимента в АДТ, далее, на основе них, представить результаты валидации расчетной модели. После этого уже последовательным было бы описать содержание глав 1 и 3.

2. Замечания по Главе 1.

2.1 Более логичной и общепринятой является следующая очередность описания постановки задачи численного моделирования, нарушенная в тексте диссертации: физическая постановка задачи (включая число Маха, Рейнольдса и др.), математические модели, численные методы, расчетные сетки.

2.2 Из текста не ясно, с помощью какого программного комплекса получено большинство представленных результатов. В п.1.6 упоминается некая «стандартная коммерческая программа». Что это за программа? Она ли использовалась для большинства расчетов?

2.3 Более корректное название п.1.4 – «Сеточная сходимость результатов расчетов».

2.4 Количество ячеек сеток, указанное в п.1.4, не совсем информативно. Было бы лучше, как и в п.1.2, указывать число точек на поверхности профиля, сеточное разрешение в ключевых областях потока. Насколько сетка в 280 000 ячеек из п.1.4 близка к сетке в 300 000 ячеек из п.1.2?

2.5 Было бы полезно для конфигураций с выдувом струи (например, в п.1.7) также рассмотреть результаты расчетов с помощью модели SST Ментера, которая вообще говоря, корректнее, нежели SA, описывает струйные и отрывные течения.

2.6 Было бы полезным представить характерные величины машинного времени и показатели ресурсоемкости представленных расчетов.

3. Замечания по Главе 2.

3.1 Вычислительные постановки расчетов из п.2.4, особенно это касается трехмерной задачи, очень скудны, что препятствует адекватной оценке представленных результатов.

3.2 Что означает фраза «... с фиксированным положением ЛТП ...» (п.2.4)? Как это реализовывалось практически, в рамках расчета?

3.3 В заключении к Главе 2 (п.2.5) необходимо добавить общий вывод о валидации вычислительного алгоритма и постановки, что оправдывает ее использование в Главе 1?

4. Общее замечание по оформлению: подписи некоторых рисунков (например, 1.2.2,

1.7.8, 2.3.3. и др.) перешли на следующую страницу текста, что усложняет чтение работы.

Отзыв ведущей организации – положительный, высказаны следующие замечания:

1. В первой главе нет обоснований, почему именно модель турбулентности Спаларта-Альмараса была выбрана для проведения расчетов. Сравнение с моделью k-w SST было выполнено в главе 2, но только для стационарного расчета. Было бы интересно узнать о влиянии модели турбулентности на характер колебаний скачка уплотнений. Кроме того, в работе не приведены граничные условия для выбранной модели турбулентности. Какой уровень турбулентности использовался на входе в расчетную область? Оказывал ли он влияние на колебания скачка уплотнения?

2. В первой главе в расчетах с тангенциальным выдувом не учитывается ресивер и сопло. На выходе из сопла течение сразу принималось сверхзвуковым. В реальности, поскольку форма сопла имеет только сужающуюся часть, то стоит ожидать, что струя будет на выходе из сопла звуковой и недорасширенной, что, скорее всего, приведет к формированию сложной бочкообразной структуры на выходе из сопла. В результате эффект от воздействия струи может измениться. Были ли проведены расчеты с ресивером для режимов с выдувом струи? Как может измениться течение при учете эффекта недорасширенной струи?

3. Во второй главе на рисунке 2.3.3 хорошо видно наличие двух пиков пульсаций на режиме бафтинга: один приблизительно на частоте 100 Гц, другой на частоте 137 Гц. Наличие двух пиков так же можно найти и на спектрах пульсаций на рисунке 2.2.3. С чем это может быть связано? Кроме того, было бы полезно продемонстрировать осциллограммы измерения давления. Наблюдалось ли в эксперименте устойчивое периодическое изменение давления, как в расчете?

4. Из экспериментальных данных, демонстрируемых на рисунке 2.3.1г, хорошо видно, что уровень пульсаций в следе струи ($x/c=0.65$) сравним с пульсациями в режиме бафтинга ($x/c=0.5$). Означает ли это, что колебания потока, создаваемые за счет нестационарности струйного течения, не менее опасны чем колебания скачка уплотнения?

5. В работе есть неточности в тексте и в представлении графических результатов, например: в диссертации нет списка сокращений, что затрудняет расшифровку некоторых сокращений (например СКО); на рисунке 1.8.4 нет расшифровки всех буквенных обозначений; на рисунке 2.2.1 и 2.2.3 перепутаны подписи к рисункам; на странице 94 экспериментальное число Маха приводится с точностью до 6 знака; создается впечатление, что текст и рисунки диссертации смещены от запланированного расположения, т.к. подписи к рисункам часто находятся на следующей странице.

На автореферат поступило 6 отзывов из организаций, перечисленных ниже.

1) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург). Отзыв составил научный сотрудник лаборатории фазовых переходов и неравновесных процессов, кандидат физико-математических наук Бусов Константин Анатольевич. Отзыв положительный, содержит два замечания:

1. В разделе 3.2 представлены результаты оптимизационных процедур, направленных на улучшение аэродинамических характеристик на околоскоростных режимах. Первая целевая функция - максимизация аэродинамического качества $K=C_{ya}/C_{xa}$. При этом варьировалось положение выдува струи в пределах $0.55 \leq X_j \leq 0.96$, интенсивность струи в пределах $100 \text{ кПа} \leq P_{0j} \leq 300 \text{ кПа}$, а угол атаки в диапазоне $0.9^\circ \leq \alpha \leq 2.5^\circ$.

Оптимальному результату соответствуют следующие параметры: $X_{jmax}=0.83$, $P_{0jmax}=200 \text{ кПа}$ ($C_\mu=0.0049$), $\alpha_{max}=1.51^\circ$. И далее, Оптимальному результату соответствуют

следующие параметры: $X_{jminCxa}=0.869$, $P_{0minCxa}=131$ кПа ($C_\mu=0.0033$), $\alpha_{minCxa}=1.33^\circ$...

Не ясна точность до сотых для угла α_{max} . Принципиальна ли такая точность?

2. На рисунке 12 б представлено сечение модели крыла. Несмотря на указание параметров в тексте автореферата, для лучшего восприятия и анализа рисунка желательно показывать модель с размерами.

2) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (г. Москва). Отзыв составил заведующий лабораторией 21.3 ОИВТ РАН, кандидат физико-математических наук Моралев Иван Александрович. Отзыв положительный, содержит два замечания:

1. Если обобщить два предложенных автором механизма, то получается, что основной причиной подавления колебаний при выдуве струи является уменьшение размеров области отрыва потока, гидродинамически связанной со скачком уплотнения. Вместе с тем, в автореферате данный механизм постулируется исключительно на основании проведенных расчетов для конкретной геометрии профиля, без попыток построения физической модели неустойчивости. Остается неясным, какими должны быть геометрические параметры отрывной зоны для предотвращения развития баффета.

2. Оптимизация управления выполнена с помощью стационарных расчетов. Не вполне ясно, насколько это могло повлиять на полученные результаты.

3) Филиал «Региональные самолеты» ПАО «Корпорация «Иркут» (г. Москва). Отзыв составил Начальник департамента аэродинамических характеристик, доктор технических наук Шевяков Владимир Иванович. Отзыв положительный, содержит три замечания:

1. В оформлении работы чувствуется некоторая небрежность: цель работы при общей характеристике сформулирована невнятно и только в Заключение это исправлено. Деление работы на главы – условно, лишь в заключении каждого раздела указано, что оно относится к главе, а не, например, к параграфу.

2. Работа, как сказано, ориентирована на гражданские самолеты, однако исследованные места выдува струи не учитывают особенности их компоновки: в рассмотренных местах практическая организация выдува крайне затруднена.

3. В работе не сделана оценка возможности практической реализации предложенной технологии управления обтеканием, хотя, как показали работы по проекту BUTERFLI, возникают пока непреодолимые сложности с подводом требуемого количества воздуха для организации выдува струи.

4) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» Физтех-школа аэрокосмических технологий (ФАКТ) Институт аэромеханики и летательной техники (г. Жуковский). Отзыв составил профессор кафедры информатики и вычислительной математики МФТИ (НИУ), доктор физико-математических наук, доцент Шалаев Владимир Иванович. Отзыв положительный, содержит одно замечание:

1. В качестве замечания можно выделить отсутствие в работе оценки по учету затрат на выдув струи.

5) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Математический институт им. В.А. Стеклова Российской академии наук (г. Москва). Отзыв составил ведущий научный сотрудник, доктор физико-математических наук Марков Владимир Васильевич. Отзыв положительный, содержит три замечания:

1. По выдуваемым струям приведено значение коэффициента импульса, но не представлено число Маха в струе.

2. В работе изменяемым геометрическим параметром сопла является его положение по хорде, но нет данных по исследованию влияния высоты сопла.

3. На стр.8 автореферата приведено, что «при увеличении угла атаки амплитуда колебаний незначительно возрастает, как и число Струхала», но сами значения не приведены.

6) Научно-исследовательский институт механики МГУ имени М.В. Ломоносова (г. Москва). Отзыв составил ведущий научный сотрудник, доктор физико-математических наук Мануйлович Иван Сергеевич. Отзыв положительный, содержит три замечания:

1. В разделе 1.1 не указана высота сопла;

2. В экспериментальной части не представлены интегральные характеристики, которые можно посчитать по имеющимся данным;

3. Не приведены оценки энергетической эффективности выдува струй.

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:

определены параметры выдува тангенциальной струи, при которых подавляются колебания скачка уплотнения на верхней поверхности профиля крыла при трансзвуковых числах Маха набегающего потока;

предложена классификация механизмов подавления колебаний скачка уплотнения с помощью тангенциального выдува струи;

получены экспериментальные данные, подтверждающие устранение колебаний скачка уплотнения на прямом крыле при помощи выдува тангенциальной струи на верхнюю поверхность;

определены оптимальные параметры выдува тангенциальной струи для различных целевых функций как для безотрывных, так и для отрывных режимов обтекания.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

представлено описание физических механизмов, приводящих к подавлению колебаний;

установлено два вида управления потоком в зависимости от положения выдува и коэффициента импульса тангенциальной струи.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые

рассмотрена задача подавления колебаний скачка уплотнения на верхней поверхности трансзвукового профиля крыла с помощью тангенциального выдува струи небольшой интенсивности;

представлено решение уравнений Рейнольдса в нестационарной постановке по управлению колебаниями скачка уплотнения с помощью выдува тангенциальной струи;

получено экспериментальное подтверждение подавления колебаний скачка уплотнения на верхней поверхности прямого крыла;

решена оптимизационная задача по определению параметров выдува тангенциальной струи;

определена классификация механизмов подавления колебаний с помощью тангенциального выдува.

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

показана возможность подавлять колебания скачка уплотнения выдувом струи малой интенсивности;

определен диапазон параметров выдува для положительного влияния на

интегральные аэродинамические характеристики трансзвукового профиля;

представлены оптимальные положения и интенсивности выдува;

на работу даны положительные отзывы авторитетных организаций, в том числе от Научно-исследовательского института механики МГУ имени М.В. Ломоносова, Математического института им. В.А. Стеклова РАН, Объединенного института высоких температур РАН, Института теплофизики УрО РАН, Филиала «Региональные самолеты» ПАО «Корпорация «Иркут», Института аэромеханики и летательной техники МФТИ.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены в сертифицированной аэродинамической трубе ЦАГИ;

использованы принятые в ЦАГИ методики анализа и обработки данных;

проведена верификация решений уравнений Рейнольдса путем сравнения полученных данных на сетках разного размера;

проведена валидация полученных решений путём сравнения численных и экспериментальных данных;

апробация работы проходила на российских и международных конференциях;

результаты диссертации опубликованы в ведущих российских журналах и в международных изданиях по механике жидкости и газа.

Личный вклад соискателя состоит:

в выполнении аналитического обзора научной литературы по теме диссертационного исследования;

в проведении расчетных исследований по обтеканию базовой конфигурации профиля и профиля с выдувом тангенциальной струи на верхнюю поверхность;

в получении классификации механизмов подавления колебаний скачка уплотнения с помощью выдува тангенциальной струи;

в проведении анализа и обработки всех представленных в диссертации экспериментальных исследований;

в получении всех результатов оптимизационных исследований, описанных в диссертации;

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 Абрамова К.А. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела 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.11 (Пограничные слои, слои смещения, течения в следе), п.17 (Экспериментальные методы исследования динамических процессов в жидкостях и газах), 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 9 ноября 2021 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 № 842 (в редакции Постановления Правительства РФ от 11.09.2021 № 1539). Диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, имеющей значение для развития механики жидкости

и газа, присудить Абрамовой Ксении Александровне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. – «Механика жидкости, газа и плазмы».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек,

из них:

- по специальности 1.1.9. (01.02.05) – «Механика жидкости, газа и плазмы»
 - 9 докторов физико-математических наук,
 - 1 доктор технических наук,
- по специальности 2.5.12. (05.07.01) – «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов»
 - 4 доктора физико-математических наук,
 - 6 докторов технических наук,
- по специальности 2.5.14. (05.07.03) – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»
 - 1 доктор физико-математических наук,
 - 1 доктор технических наук,

участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени — 21, против присуждения учёной степени — 0, недействительных бюллетеней — 1.

Председатель

диссертационного совета

31.1.006.01 (Д 403.004.01),

д.ф.-м.н., профессор, академик РАН

Сергей Леонидович Чернышев

Учёный секретарь

диссертационного совета

31.1.006.01 (Д 403.004.01),

д.ф.-м.н., доцент

Мурад Абрамович Брутян



9 ноября 2021 года