

**ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СУХОГО**

(ОКБ Сухого)

Поликарпова ул., д. 23 Б, Москва, 125284
тел.: (499) 550 01 06, (495) 780 24 90
факс: (495) 945 68 06
e-mail: info@su.uacrussia.ru

ОГРН 1067759884598, ОКПО 98253307
ИНН 7708619320, КПП 997450001

28.11.2023 № 1/451029/4664

На № 16.1-03-06-2/338 от 16.10.2023 г.

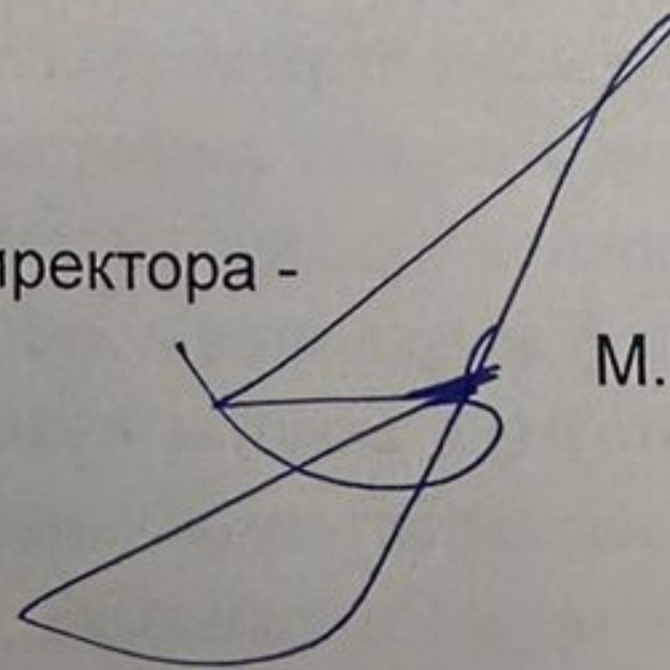
Председателю Диссертационного
совета 24.2.345.04,
д.ф.-м.н., профессору
НГТУ им. Р.Е. Алексеева
Н.С. Петрухину
603950, г. Нижний Новгород,
ГСП-41,
ул. Минина, 24
(831) 436-63-12
babanov@nntu.nnov.ru

Уважаемый Николай Семенович!

Направляю в Ваш адрес отзыв ведущей организации по диссертационной работе Стручкова Андрея Викторовича «Повышение эффективности трехмерного численного моделирования сверхзвуковых течений при конечно-объемной дискретизации на неструктурированных сетках», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 - механика жидкости, газа и плазмы.

Приложение: вышеуказанный отзыв, на 5 л., 2 экз.

Первый заместитель управляющего директора -
директор ОКБ Сухого



М.Ю. Стрелец

ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СУХОГО

(ОКБ Сухого)

Полицарпова ул., д. 23 Б, Москва, 125284
тел.: (499) 550 01 06, (495) 780 24 90
факс: (495) 945 68 06
e-mail: info@su.uacrussia.ru

ОГРН 1067759884598, ОКПО 98253307
ИНН 7708619320, КПП 997450001

23.11.2025 № 1/411255/20
На _____ от _____



Первый заместитель
управляющего директора -
директор ОКБ Сухого

М.Ю. Стрелец

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Стручкова А.В. «Повышение эффективности трехмерного численного моделирования сверхзвуковых течений при конечно-объемной дискретизации на неструктурированных сетках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

В диссертационной работе автором проведено исследование особенностей расчета сверхзвуковых течений на неструктурированных сетках. Основной целью поставлено повышение точности и скорости сходимости численного решения при исследовании сверхзвуковых течений, что в работе объединяется термином – эффективность расчета.

Автором делается акцент на то, что в настоящее время наибольшее предпочтение при проведении численного эксперимента отдается неструктурированным расчетным сеткам. Это связано с нарастающей сложностью геометрий исследуемых объектов, чтократно увеличивает время, затраченное на построение сеточных моделей. Ввиду этого сеточные модели строятся с применением автоматических сеточных генераторов на основе неструктурированных сеток. Как правило, в этом случае формой ячеек является произвольные многогранники, что, как показано автором в работе, может влиять на точность численного решения. В целях повышения точности численного моделирования на неструктурированных сетках автором предлагается модифицированная схема ограничителя потока и гибридная схема вычисления градиента газодинамических величин. Оценка точности предложенных в работе численных схем выполнена на задачах сверхзвукового обтекания. Стручков А.В. показывает, что применение модифицированной схемы ограничителя потока и гибридной схемы вычисления

градиента позволяет повысить точность получаемых характеристик газодинамического потока при исследовании сверхзвукового обтекания различных объектов. Так же следует отметить, что в результате применения предлагаемых автором численных схем повышается достоверность воспроизводимых физических явлений (отрыв пограничного слоя, ширина отрывной зоны, отражение и взаимодействие ударных волн), что необходимо учитывать при исследовании данного типа течений и при решении конструкторских задач в процессе разработки новых образцов авиационной промышленности.

В то же самое время автор диссертационной работы предлагает алгоритм для повышения скорости сходимости численного решения и алгоритм построения эффективной сеточной модели в автоматическом режиме. Ускорение сходимости основано на использовании идеи многосеточной инициализации газодинамических полей, а построение эффективной сеточной модели осуществляется по средствам применения алгоритма адаптации расчетной сетки. Актуальность предлагаемых алгоритмов обусловлена использованием подробных сеточных моделей для промышленно-ориентированных задач. Результаты, приведенные в работе, показывают сокращение времени расчета при использовании данных алгоритмов для исследования сверхзвуковых течений в авиационных приложениях.

Актуальность темы выполненной диссертационной работы.

Ударные волны – это аэродинамическое явление, возникающее при обтекании тел сверхзвуковым потоком и сопровождающееся изменением аэродинамических характеристик, повышением тепловых нагрузок, возникновением пульсаций скорости. Создание образцов новой техники требует эффективной вычислительной поддержки на этапах проектирования и в прогнозировании ожидаемых ударно-волновых явлений. В силу этого, разработка средств численного моделирования сверхзвуковой аэродинамики, ориентированных на использование в отечественных импортозамещающих пакетах является важным этапом совершенствования цифровых технологий. Это определяет несомненную актуальность темы диссертационной работы Стручкова А.В.

Связь с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства.

Диссертационное исследование Стручкова А.В. связано с направлением Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации») «Н1 – Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта».

Так же следует отметить, что результаты диссертационной работы получены при поддержке национального проекта «Наука и университеты» в рамках программы Минобрнауки РФ по созданию молодёжных лабораторий № FSWE 2021–0009.

Новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

1. Результаты исследования ударно-волновой структуры течения при сверхзвуковом обтекании на произвольной неструктурированной сетке, включая описание ударных волн при их отражении и взаимодействии с пограничным слоем, а также характеристики распределения газодинамических величин в зависимости от параметров течения в совокупности со случаями внедрения дополнительных механических элементов.
2. Схема расчета ограничителей потока. Константа порога срабатывания модифицированного ограничителя для расчета на произвольных сетках.
3. Гибридная схема расчета градиента газодинамических величин. Весовая функция в гибридной схеме.
4. Метод формирования начальных полей газодинамических величин на основе многосеточной инициализации применительно к неструктурированным расчетным сеткам.
5. Метод статической адаптации расчетной сетки (в том числе и неструктурированной) к особенностям течения, обеспечивающий построение области локального измельчения сложной геометрической формы в автоматическом режиме в соответствии с заданным критерием.

Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов.

Значимость связана с развитием и применением численных схем и алгоритмов для моделирования и исследования сверхзвуковых течений при решении реальных задач, которые позволят достоверно воспроизвести протекающие процессы и получить необходимые новые знания об особенностях сверхзвукового обтекания различных объектов.

Апробация.

Основные положения диссертации представлены в 8 публикациях, включенных в список ВАК и/или входящих в мировые индексы цитирования (SCOPUS, Web of Science), а также в 9 трудах российских и международных научных конференций. Особо следует отметить 5 полученных свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Анализ публикаций автора позволяет сделать заключение о том, что основные результаты исследования в полной мере опубликованы в рецензируемых изданиях. Количество публикаций отвечает требованиям, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней», в отношении диссертаций на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Замечания по работе.

По диссертации имеются следующие замечания и пожелания.

1. Анализ литературных источников представляется недостаточным. Список литературы содержит лишь 156 источников, из которых 90 источников –

англоязычные. Однако многие из англоязычных статей были опубликованы более 10 лет назад. Остается непонятным, является ли это пренебрежением автора к поиску литературы в зарубежных изданиях или такие публикации отсутствуют вовсе.

2. При оценке полученных результатов отсутствует сравнение с результатами других авторов по аналогичным методикам.
3. Для некоторых из представленных задач не ясно, откуда взяты точные значения, с которыми сравниваются полученные результаты.
4. Нет сравнения по времени счета для новых разработанных численных схем в сравнении с исходными численными схемами.
5. Нет точного описания, что подразумевается под «турбулизатором» в задачах главы 3. Не исследован период их расположения и соотношение размеров турбулизатора и канала.
6. Хотелось бы дополнить представленные результаты картинками с изображением линий тока, реализуемых в рассматриваемом случае.
7. Для полноты постановки задач не хватает значений числа Рейнольдса.
8. На некоторых графиках отсутствует легенда, необходимая для правильного восприятия результатов. Так же некоторые графики имеют опечатку в названии представляемой величины.
9. В тексте диссертационной работы присутствуют грамматические ошибки, опечатки и жаргонизмы.

Следует отметить, что приведенные замечания не снижают уровень научных результатов и высокую оценку диссертационной работы.

Предложения по дальнейшему развитию исследований.

Предлагается развить разработанные методы и провести исследование гиперзвуковых течений с учетом физической и химической кинетики. Разработанные в диссертации подходы могут дать существенный прогресс в этом круге газодинамических задач.

Качество оформления.

Диссертация написана ясно и четко. Представленные материалы основаны на глубоком и обширном авторском исследовании, они подробно обсуждены. По полученным результатам численного моделирования и оптимизации делаются обоснованные и значимые выводы. Материалы и стиль изложения, использованные модели и подходы, сформулированные выводы и обобщения говорят о глубокой проработанности и высокой квалификации автора.

Соответствие паспорту специальности и отрасли науки.

Материалы диссертационного исследования в полной мере отвечают положениям паспорта специальности 1.1.9, представление работы по заявленной отрасли физико-математические науки – обосновано.

Заключение.

Делая общее заключение, отметим, что работа Стручкова Андрея Викторовича выполнена на актуальную тему, научные положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации в должной степени обоснованы, их достоверность подтверждена тестовыми исследованиями. Работа имеет высокий уровень новизны. В диссертационном исследовании Стручкова А.В. изложены научно обоснованные математические подходы и программные решения, внедрение которых вносит значимый вклад в развитие эффективных средств моделирования практически значимых задач газодинамики.

Работа Стручкова А.В. «Повышение эффективности трехмерного численного моделирования сверхзвуковых течений при конечно-объемной дискретизации на неструктурированных сетках» на наш взгляд полностью отвечает требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, определяемыми соответствующими пунктами «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации и другим критериям, установленным в разделе этого Положения. Автор диссертации Стручков Андрей Викторович достоин присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертация и автореферат, отзыв ведущей организации рассмотрены на заседании Отделения НТС ПАО «ОАК» в ОКБ ОТА, протокол № 11 от 23.11.2023 г.

Главный конструктор
суперкомпьютерных технологий



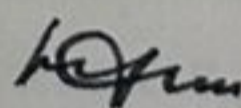
А.В. Корнев

Ведущий конструктор 1 класса отдела 100,
канд. техн. наук



Р.И. Рой

Заместитель ученого секретаря
Отделения НТС в ОКБ ОТА,
руководитель Научно-технического сектора
Совета МС ОКБ Сухого,
вед. техн. отд. 48 НИО-21,
канд. техн. наук



Ф.А. Насонов

23.11.2023

ПАО «ОАК» ОКБ Сухого,
125284, Москва, Поликарпова ул., д. 23Б,
тел.: (499) 550-01-06, (495) 780-24-90
e-mail: info@su.uacrussia.ru