

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.04

Соискатель: Лашкин Сергей Викторович

Тема диссертации: Повышение эффективности трехмерного численного моделирования течений вязкой несжимаемой жидкости на произвольных неструктурированных сетках

Специальность: 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Решение диссертационного совета по результатам защиты: На заседании 30 ноября 2018 года (протокол № 69) диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Лашкина С.В. «Повышение эффективности трехмерного численного моделирования течений вязкой несжимаемой жидкости на произвольных неструктурированных сетках» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Лашкину Сергею Викторовичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

Присутствовали: Наумов А. В. – *председатель*, Кибзун А. И. – *зам. председателя*, Северина Н. С. – *ученый секретарь*, а также члены диссертационного совета: Бардин Б. С., Битюков Ю. И., Бортаковский А. С., Босов А. В., Грумондз В. Т., Денисова И. П., Колесник С. А., Короткова Т. И., Котельников М. В., Красинский А. Я., Кузнецов Е. Б., Кузнецова Е. Л., Кулагин Н. Е., Куравский Л. С., Липатов И. И., Пантелеев А. В., Ревизников Д. Л., Сеницин В. И., Ципенко А. В.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.04, к.ф.-м.н., доцент


Н. С. Северина



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.04,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 30.11.2018 № 69

О присуждении Лашкину Сергею Викторовичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Повышение эффективности трехмерного численного моделирования течений вязкой несжимаемой жидкости на произвольных неструктурированных сетках» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите «28» сентября 2018 года, протокол № 63, диссертационным советом Д 212.125.04, созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказы Минобрнауки РФ: о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012, об изменении состава диссертационного совета № 628/нк от 07.10.2013, 574/нк от 15.10.2014, № 1339/нк от 29.10.2015, № 710/нк от 21.06.2016, № 1403/нк от 01.11.2016, № 1017/нк от 20.10.2017.

Соискатель Лашкин Сергей Викторович, 1980 года рождения, в 2002 г. окончил Саровский филиал Московского инженерно-физического института по направлению – «Вычислительная техника». С 2013 по 2014 гг. проходил обучение в аспирантуре Федерального государственного унитарного предприятия РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ») по специальности 05.13.18 «Математическое

моделирование, численные методы и комплексы программ». Справка о сдаче кандидатских экзаменов по дисциплинам «История и философия науки» и «Иностранный язык (английский)» выдана 22 февраля 2017 г. в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Справка о сдаче кандидатского экзамена по дисциплине «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» выдана 30 мая 2017 г. Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».

В период подготовки диссертации соискатель Лашкин Сергей Викторович работал в Институте Теоретической и Математической Физики ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» в отделе 0813 в должности начальника научно-исследовательской группы.

Диссертация выполнена в Институте Теоретической и Математической Физики Федерального государственного унитарного предприятия «РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ИТМФ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров), Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом".

Научный руководитель - начальник научно-исследовательского отдела Института Теоретической и Математической Физики ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», доктор физико-математических наук Козелков Андрей Сергеевич.

Официальные оппоненты:

1. Усачов Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник государственного научного центра Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (г. Москва);
2. Жалнин Руслан Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной математики, дифференциальных уравнений и теоретической механики государственного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева» (г. Саранск).

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации» (г. Санкт-Петербург).

В положительном отзыве ведущей организации указано, что диссертационная работа выполнена на достаточно высоком научном уровне. Полученные диссертантом результаты являются новыми, они обогащают актуальный раздел математического моделирования, численных методов и комплексов программ и представляют как теоретический, так и практический интерес.

Диссертация по объему и глубине проработки, новизне и достоверности ее результатов удовлетворяет всем требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.ф.-м.н., Усачова Александра Евгеньевича.

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

1. В первой главе при численном моделировании обращенного назад уступа результаты сравнения расчета с данными эксперимента нельзя считать хорошими (рисунок 24а). Расхождение величины расчетного местного коэффициента сопротивления в рециркуляционной зоне с данными эксперимента составляет более 50%.

2. В главе 2 для наглядности полученных результатов по эффективности распараллеливания для различного числа ядер не хватает графиков ускорения и эффективности распараллеливания для различного числа ядер.

3. В главе 3 при описании результатов решения прикладных задач желательно указывать число расчетных ядер, на которых выполнен расчет.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента, к.ф.-м.н., доцента,
Жалнина Руслана Викторовича.**

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

1. Оценки параллельной эффективности применения совмещенного алгоритма выполнены лишь для ряда тестовых задач. Были бы интересны значения эффективности для промышленных задач, приведенных в третьей главе диссертации.

2. Для совмещенного алгоритма SIMPLE не представлены временные затраты на решение систем линейных алгебраических уравнений внутри одного итерационного шага (для классического алгоритма SIMPLE такая цифра приведена и составляет порядка 90%).

3. На странице 11 диссертации в пункте «Публикации» допущена опечатка: автор указывает, что опубликовано «12 статей в журналах, включенных в список ВАК и/или входящих в мировые индексы цитирования (SCOPUS, Web of Science)», хотя на самом деле он имеет 13 публикаций, которые приведены в списке работ.

4. В том же пункте на странице 11 указано, что получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Видимо имелись в виду свидетельства, обозначенные как [СР4 - СР6] в списке работ автора на странице 154. Но согласно размещенной на сайте ФГБУ «ФИПС» информации Лашкин С.В. входит в список авторов в свидетельстве о регистрации программ для ЭВМ №2017612306 от 20.02.2017 [СР7].

Отзыв на диссертацию ведущей организации.

Ведущая организация дала положительный отзыв на диссертацию. Отзыв подписан заведующим лабораторией фундаментальных исследований Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации, доктором физико-математических наук, профессором, Исаевым Сергеем Александровичем. Отзыв утвержден проректором по научной работе и экономике Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации», Губенко Александром Викторовичем. Замечания по диссертации:

1. Перечень ссылок на литературные источники по SIMPLE-подобным алгоритмам неполный. Вне внимания автора оказались монографии 1989-2017 гг.

- Белов И.А., Исаев С.А., Коробков В.А. Задачи и методы расчета отрывных течений несжимаемой жидкости // Л.: Судостроение, 1989. 256с.
- Управление обтеканием тел с вихревыми ячейками в приложении к летательным аппаратам интегральной компоновки (численное и физическое моделирование) / Под редакцией А.В.Ермишина и С.А.Исаева. М.: МГУ, 2003. 360с.
- Исаев С.А., Баранов П.А., Усачов А.Е. Многоблочные вычислительные технологии в пакете VP2/3 по аэротермодинамике. Саарбрюкен: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 316с.
- Аэродинамика утолщенных тел с вихревыми ячейками. Численное и физическое моделирование / Под ред. С.А. Исаева. СПб. : Изд-во Политех. ун-та, 2016. 215 с.
- Вихревые технологии для энергетики / А.И. Леонтьев, С.В. Алексеенко, Э.П. Волчков и др.; под общей редакцией академика А.И. Леонтьева. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. 350с
- Исаев С.А., Судаков А.Г., Баранов П.А., Жукова Ю.В., Усачов А.Е. Многоблочные вычислительные технологии применительно к расчету турбулентных отрывных и струйных течений сжимаемого вязкого газа со скачками уплотнения и ударными волнами в рамках модели переноса сдвиговых напряжений. 6 глава в коллективной монографии под редакцией В.А. Левина, Н.А. Фомина, В.Е. Фортова. Физика ударных волн, горения, детонации, взрыва и неравновесных процессов. Часть 2. Минск: ИТМО НАН Беларуси, 2018. С. 216–228.

Особенно печально, что не рассмотрена книга 1989 года. Ведь в ней SIMPLEC-алгоритм применяется к линеаризованным уравнениям Рейнольдса (уравнениям в приращениях зависимых переменных), причем это обстоятельство позволило в сочетании с применением для решения алгебраических уравнений методом неполной матричной факторизации обеспечить устойчивую сходимость итерационного процесса для аппроксимации конвективных членов уравнений движения и характеристик турбулентности по противопоточной квадратичной схеме Леонарда в явной части исходных уравнений. Отметим, что в диссертации, как и в многочисленных аналогах, изложенных, например, в монографии Перича-Ферцигера (2002), SIMPLE-подобный алгоритм записывается относительно зависимых переменных, а не их приращений. Это существенно влияет на вычислительную эффективность.

2. Разработка методологии выполняется для схем второго порядка аппроксимации, а вот все расчеты тестовых и промышленных задач проведены с использованием схем первого порядка для аппроксимации конвективных членов уравнений. Игнорируется, к сожалению, влияние схемной вязкости, особенно существенное при моделировании отрывных течений. Как известно, искусственная диффузия, связанная с этими ошибками, может намного превышать физическую диффузию. В этом плане не вполне удачен выбор определяющих параметров тестовых задач. Так течение в квадратной каверне с

подвижной крышкой рассчитано при числе Рейнольдса 1000, а следовало увеличить его в 5-10 раз, тем более, что есть аналоги.

- Исаев С.А., Баранов П.А., Кудрявцев Н.А., Лысенко Д.А., Усачов А.Е. Моделирование ламинарного циркуляционного течения в квадратной каверне с подвижной границей при высоких числах Рейнольдса с помощью пакетов VP2/3 и FLUENT // Инженерно-физический журнал. 2005. Т.78, №4. С.163-179.

Выбор 50-ти тысяч расчетных ячеек для решения этой задачи также представляется не оправданным (сеточной сходимости еще нет). Это можно видеть из публикации

- Исаев С.А., Судаков А.Г., Баранов П.А., Жукова Ю.В., Усачов А.Е. Анализ погрешностей многоблочных вычислительных технологий при расчете циркуляционного течения в квадратной каверне с подвижной крышкой для $Re=1000$ // Инженерно-физический журнал. 2013. Т.86. №5. С.1064-1079.

Расчеты обращенного назад уступа также следовало проводить с использованием схем второго порядка аппроксимации. Это следует из нашей совместной статьи 1991 года, опубликованной с оппонентом по диссертации.

- Исаев С.А., Усачов А.Е. Численное моделирование отрывных течений в задачах внутренней аэродинамики // Промышленная аэродинамика. М.: Машиностроение, вып.4(36). 1991. С. 43-75.

3. Автор отмечает, что применяется SST-модель Ментера. Однако ссылки даются и на модель 1993 и 2003 года без подчеркивания разницы между вариантами модели. Какая все-таки SST-модель применяется в работе и в чем отличие развитого метода пристеночных функций от метода Ментера? Следует подчеркнуть, что для интенсивных отрывных течений необходимо модифицировать SST-модель 2003 года с учетом кривизны линий тока.

- Исаев С.А., Баранов П. А., Судаков А. Г., Попов И. А. Верификация стандартных и модифицированных с учетом кривизны линий тока MSST и оценка приемлемости комбинированных по Ментеру граничных условий при расчете ультранизкого профильного сопротивления оптимальной компоновки цилиндра с соосным диском // Журнал технической физики. 2016. Т.86. №8. С.32-41.

4. В блоке индустриальных задач отмечается, что результаты, полученные в пакете программ ЛОГОС, согласуются с прогнозами по коммерческому пакету программ, предоставленными компанией «ОКБ Сухого». Не ясно, почему автор не использовал известные из литературы базы данных по аналогичным задачам, как это сделано, например, в наших исследованиях.

- Исаев С.А., Баранов П.А., Усачов А.Е., Малышкин Д.А. Численное исследование процессов вентиляции замкнутого пространства в присутствии людей и источников тепла // Инженерно-физический журнал. 2015. Т.88. №5. С.1152-1157.

- Исаев С.А., Усачов А.Е., Баранов П.А., Глушков Т.Д., Гуреев М.В. Численное исследование движения потоков воздуха в кабине грузового автомобиля при ее вентиляции в трех различных режимах // Инженерно-физический журнал. 2017. Т.90. №2. С.431-437.

На автореферат диссертации поступило 6 отзывов.

1. СарФТИ НИЯУ МИФИ – Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Саровский физико-технический институт.

Отзыв подписан кандидатом физико-математических наук, доцентом Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Холушкиным Владимиром Семеновичем. Замечания к автореферату:

1. Не описан формат хранения разряженных матриц, который использовался до внедрения формата LDU;
2. При решении промышленно-ориентированных задач ничего не сказано о полученном ускорении.

2. Акционерное общество «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А. Г. Шипунова»

Отзыв подписан доктором технических наук, техническим руководителем по комплексам активной защиты и пушечному вооружению, Нечепуренко Юрием Григорьевичем. Замечания к автореферату:

1. В результатах не отражен суммарный процент повышения эффективности расчетов, другими словами, что было до и стало после внедрения новых методов и алгоритмов;
2. Автор справедливо отметил, что при турбулентных течениях нужно повышать коэффициенты релаксации, однако не привел их величину при счете промышленно-ориентированных задач.

3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой прикладной математики НГТУ, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Куркиным Алексеем Александровичем. Замечание к автореферату:

1. Описание формата LDU хранения и решения матриц СЛАУ представлено в сжатом виде;
2. В заключении первой главы говорится о получении ускорения порядка 10-15%, а в тексте диссертации об этом информации нет.

4. ПАО «Компания «Сухой»

Отзыв подписан кандидатом физико-математических наук, заместителем директора ПИНЦ филиала ПАО «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого», Стрелец Дмитрием Юрьевичем. Замечание к автореферату:

1. В задачах авиастроения и атомной энергетики не полностью приведены параметры используемых сеточных моделей;
2. Недостаточно раскрыт вопрос о возможности применения разработанных технологий при решении задач сопряженного теплообмена.

5. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»

Отзыв подписан доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Плазмогазодинамика и теплотехника» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Емельяновым Владиславом Николаевичем. Замечания к автореферату:

1. Не указаны временные затраты и количество процессов при решении тестовых задач;
2. Эффективность реализованной методики решений уравнений Бринкмана-Форхгеймера продемонстрирована в основном только для тестовых ламинарных течений.

6. Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики» (научное, образовательное и производственное учреждение)

Отзыв утвержден первым заместителем генерального директора по научной работе, главным конструктором, почетным работником науки и техники РФ, доктором технических наук, профессором, Смуровым Сергеем Владимировичем. Замечания к автореферату:

1. В параграфе 3.2 диссертации указано, что сходимость алгоритма решения СЛАУ проверялась на последовательности сгущающихся сеток для каждого конкретного модельного случая, т.е. фактически проверялась аппроксимация алгоритма. Однако, не указано, исследовалась ли устойчивость численного алгоритма с помощью варьирования коэффициентов модели или теоретических методов. Не представлены численные модели в конечно-объемной дискретизации, в том числе и для пористой среды;
2. В Параграфах 3.4, 3.5 не показаны поля скоростей, нет вида сеточной модели и неизвестен порядок сетки, в нестационарных задачах не указаны конечное время и шаг по времени, непонятно из каких программ импортировались геометрические модели;
3. В параграфе 3.5 не указаны число процессоров, на которых решались предложенные промышленные задачи, и реальное время расчета. Не указаны временные затраты и количество процессов при решении тестовых задач.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в области тем, затрагиваемых в диссертационном исследовании.

Официальный оппонент, Усачов Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник государственного научного центра ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (г. Москва). Область научных интересов – вычислительная аэро- и гидродинамика, турбулентные отрывные течения, многоблочные вычислительные технологии. Автор более 100 научных работ.

Официальный оппонент, Жалнин Руслан Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной математики,

дифференциальных уравнений и теоретической механики государственного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева» (г. Саранск). Область научных интересов – дифференциальные уравнения газовой динамики, схемы высокого порядка точности, теория многокомпонентных течений. Автор порядка 50 научных работ.

Выбор ведущей организации – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации» (г. Санкт-Петербург). – обусловлен широким кругом проводимых научных исследований в области фундаментальных проблем механики жидкости, массо- и теплообмена динамических и аэродинамических явлений в гражданской авиации. Направления научной деятельности ФГБОУ ВО СПбГУ ГА и непосредственно кафедры №6 «Механика» включают исследования по численному моделированию турбулентных течений жидкости и газа, течений многофазных сред, а также теплообмена.

Основные положения диссертации представлены в 23 публикациях, из них 13 статей в журналах, включенных в список ВАК, 5 статей входящие в индекс цитирования SCOPUS и/или Web of Science, 7 работ в трудах конференций. Получено 7 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Содержание данных работ в полной мере отражает содержание диссертационной работы, в которой отсутствуют некорректные и недостоверные ссылки.

Наиболее значимые научные работы соискателя по теме диссертации:

1. Козелков А.С., Дерюгин Ю.Н., Лашкин С.В., Силаев Д.П., Симонов П.Г., Тятюшкина Е.С. Реализация метода расчета вязкой несжимаемой жидкости с использованием многосеточного метода на основе алгоритма SIMPLE в пакете программ ЛОГОС, журнал ВАНТ, сер. Математическое моделирование физических процессов, 2013, вып.4, С. 44-56. (ВАК)

2. Голубев А.А., Дерюгин Ю.Н., Зеленский Д.К., Козелков А.С., Лашкин С.В., Силаев Д.П., Симонов П.Г. Пакет программ ЛОГОС. Алгебраический многосеточный метод решения СЛАУ для задач гидродинамики, *Современные проблемы науки и образования*, 2013, № 6. (ВАК)
3. Козелков А.С., Курулин В.В., Пучкова О.Л., Лашкин С.В. Моделирование турбулентных течений с использованием алгебраической модели рейнольдсовых напряжений с универсальными пристеночными функциями // *Вычислительная механика сплошных сред*, 2014, т. 7, № 1, С. 40-51. (ВАК)
4. Тарасова Н.В., Козелков А.С., Мелешкина Д.П., Лашкин С.В., Денисова О.В., Сизова М.А. Особенности применения алгоритма SIMPLE для расчета сжимаемых течений // *ВАНТ, сер. Математическое моделирование физических процессов*, 2015, вып.3, С. 20-34. (ВАК)
5. Козелков А.С., Шагалиев Р.М., Курулин В.В., Ялозо А.В., Лашкин С.В. Исследование потенциала суперкомпьютеров для масштабируемого численного моделирования задач гидродинамики в промышленных приложениях // *Вычислительная математика и математическая физика*, 2016, том 56, № 8, С. 154–165. (ВАК, Scopus, Web of Science)
6. Лашкин С.В., Козелков А.С., Мелешкина Д.П., Ялозо А.В., Тарасова Н.В. Моделирование течений вязкой несжимаемой жидкости разделенным и совмещенным алгоритмом типа SIMPLE // *Математическое моделирование*, 2016, том 28, №6, стр. 64-76. (ВАК, Scopus)
7. Козелков А.С., Мелешкина Д.П., Куркин А.А., Тарасова Н.В., Лашкин С.В., Курулин В.В. Полностью неявный метод решения уравнений Навье-Стокса для расчета многофазных течений со свободной поверхностью // *Вычислительные технологии*, 2016, Т. 21, №5, С. 54-76. (ВАК)
8. Лашкин С.В., Козелков А.С., Ялозо А.В., Герасимов В.Ю., Зеленский Д.К. Исследование эффективности параллельной реализации алгоритма SIMPLE на многопроцессорных ЭВМ // *Вычислительная механика сплошных сред*, 2016, т. 9, № 3, С. 298-315. (ВАК)
9. Лашкин С.В., Козелков А.С., Глазунова Е.В., Тарасова Н.В., Ялозо А.В. Применение ограничителей градиента при решении уравнений Навье-

Стокса на произвольных неструктурированных сетках // Вопросы Атомной Науки и Техники, сер. Математическое моделирование физических процессов, 2017, вып.2, С. 3-17. (БАК)

10. Козелков А.С., Крутякова О.Л., Курулин В.В., Лашкин С.В., Тятюшкина Е.С., Применение численных схем с выделением пограничного слоя для расчета турбулентных течений с использованием вихреразрешающих подходов на неструктурированных расчетных сетках // Вычислительная математика и математическая физика, 2017, том 57, № 6, С. 1048–1060. (БАК, Scopus)
11. Kozelkov A. S., Lashkin S.V., Tsibereva Yu.A., Volkov K., Tarasova N.V. An implicit algorithm of solving Navier-Stokes equations to simulate flows in anisotropic porous media // Computers and Fluids, 2018, v. 160, p. 164–174. (Scopus, Web of Science)

Диссертационный совет отмечает, что в выполненном диссертационном исследовании получены следующие **новые научные результаты**:

- Разработана методика параллельной реализации классического и совмещенного алгоритмов SIMPLE на основе алгебраического многосеточного метода AMG, учитывающая особенности распределенного хранения и решения СЛАУ на десятках тысяч процессоров.
- Проведена верификация классического и совмещенного алгоритмов SIMPLE на примере решения характерных задач гидродинамики, описывающих турбулентные течения вязкой несжимаемой жидкости на произвольных неструктурированных сетках.
- Исследована эффективность параллельной реализации классического и совмещенного алгоритмов SIMPLE и определены оптимальные настройки многосеточного метода AMG для эффективного использования при решении промышленно-ориентированных задач.
- Разработан новый метод решения уравнений Бринкмана-Форхгеймера на базе совмещенного алгоритма SIMPLE для моделирования течений вязкой несжимаемой жидкости в анизотропных пористых средах с

возможностью полностью неявной аппроксимации линейного тензора сопротивления.

Теоретическая значимость исследования определяется разработкой принципиально новых алгоритмов, позволяющих повысить эффективность численного моделирования задач вычислительной гидродинамики.

Практическая значимость работы заключается в том, что все предложенные методы алгоритмы внедрены в общую структуру пакета программ ЛОГОС (отечественный многофункциональный пакет программ инженерного анализа и суперкомпьютерного моделирования), а также адаптированы для решения промышленно-ориентированных задач атомной и авиационной отраслей промышленности.

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждена путем сопоставления результатов моделирования с «эталонными» данными. В качестве подобных данных в некоторых случаях выступают полученные аналитические решения задач или экспериментальные данные, которые являются признанными и широко известными. В некоторых случаях в качестве эталонных данных выступают решения, полученные путем прямого численного моделирования, результаты которых также являются хорошо известными. Хорошее согласие между результатами численных расчетов и эталонными данными свидетельствует об обоснованности полученных результатов.

Личный вклад. Автором диссертации лично или при его определяющем участии выполнены:

1. Разработка и реализация в модуле гидродинамика пакета программ ЛОГОС модели памяти для алгебраического многосеточного решателя AMG, учитывающая распределенное хранение и решение СЛАУ на тысячах процессорных ядер;
2. Распараллеливание разделенного алгоритма SIMPLE с использованием решателя AMG в модуле гидродинамика пакета программ ЛОГОС;
3. Реализация, распараллеливание совмещенного алгоритма SIMPLE с использованием решателя AMG в модуле гидродинамика пакета ЛОГОС

- и настройка его параметров для ускоренного решения ряда промышленно-ориентированных задач;
4. Определение оптимальных параметров решателя AMG для эффективного счета модулем гидродинамика пакета программ ЛОГОС промышленно-ориентированных задач, описывающих турбулентные течения вязкой несжимаемой жидкости, на тысячах процессорных ядер;
 5. Разработка численного метода решения уравнений Бринкмана-Форхгеймера на базе совмещенного алгоритма SIMPLE для моделирования течений вязкой несжимаемой жидкости в анизотропных пористых средах, его реализация в модуле гидродинамика пакета программ ЛОГОС и адаптация для эффективного решения ряда промышленно-ориентированных задач авиационной и атомной промышленности пакетом программ ЛОГОС;
 6. Верификация совмещенного алгоритма SIMPLE на произвольных неструктурированных сетках при моделировании вязких несжимаемых течений жидкости в пористых средах;
 7. Внедрение разработанного комплекса программ для моделирования турбулентных неизотермических течений вязкой несжимаемой жидкости, в том числе в пористых средах, в пакет программ ЛОГОС.

Совместно с коллективом авторов исследовано быстроедействие и эффективность распараллеливания совмещенного алгоритма SIMPLE на многопроцессорных вычислительных системах. Проведена верификация и адаптация совмещенного алгоритма SIMPLE в пакете программ ЛОГОС для эффективного решения соответствующих промышленно-ориентированных задач авиационной и атомной промышленности.

Диссертационный совет считает, что диссертационная работа Лашкина Сергея Викторовича является самостоятельно выполненной, завершенной научно-квалификационной работой, в которой получены важные результаты в области разработки математических моделей, алгоритмов решения задач вычислительной гидродинамики, вычислительных алгоритмов и программных комплексов. **Диссертация удовлетворяет пункту 9 постановления**

Правительства РФ №842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней».

На заседании «30» ноября 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Лашкину С.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 8 докторов наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 22, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета
Д 212.125.04, д.ф.-м.н., доцент

А. В. Наумов

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.04, к.ф.-м.н., доцент

Н.С.Северина

30 ноября 2018



И.о. начальника отдела УДС МАИ

Т.А. Аникина