



**III Международная конференция  
«Облачные вычисления. Образование.  
Исследования. Разработка»**

**2012**

## **О КОНФЕРЕНЦИИ**

Конференция пройдет **6-7 декабря 2012 года** в здании Президиума Российской академии наук по адресу г. Москва, Ленинский проспект, 32 А.

Конференция посвящена технологиям облачных вычислений и их применению в образовании, науке и промышленности.

### **ТЕМАТИКА**

Тематика конференции включает, но не ограничивается следующими секциями:

- Технологические особенности (аппаратура, безопасность, виртуализация и др.) облачных инфраструктур;
- Высокопроизводительные вычисления и сервисы в облаках;
- Хранение и обработка сверхбольших массивов данных в облаках;
- Опыт создания и развития предметно-ориентированных Web-лабораторий на базе облачных сервисов технологической платформы UniHUB (<http://unihub.ru>).

В рамках конференции пройдет расширенный семинар сообщества Web-лаборатории механики сплошной среды, созданной в рамках технологической платформы UniHUB программы "Университетский кластер" с использованием открытых пакетов OpenFOAM, SALOME, ParaView, DAKOTA.

### **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

**Аветисян А.И.**, к.ф.м.н., ученый секретарь ИСП РАН.

**Велихов В.Е.**, к.ф.м.н., заместитель директора по информационным технологиям и системам НИЦ «Курчатовский институт».

**Вишняков Ю.С.** д.ф.м.н., ученый секретарь Отделения математических наук РАН.

**Волков Дмитрий**, главный редактор журнала "Открытые системы".

**Гергель В.П.**, д.т.н., профессор, декан факультета вычислительной математики и кибернетики ННГУ.

**Евтушенко Ю.Г.**, академик РАН, директор ВЦ РАН.

**Жижченко А.Б.**, академик РАН, заместитель академика-секретаря Отделения математических наук РАН.

**Иванников В.П.**, академик РАН, директор ИСП РАН.

**Исаев Камиль**, генеральный директор по исследованиям и разработкам компании Intel в России.

**Калугин В.Т.**, д.т.н., профессор, декан факультета СМ МГТУ им. Н.Э.Баумана.

**Корнеев Николай**, Prof.Dr-Ing.habil. Chair of Modeling and Simulation Faculty of Mechanical Engineering Technology. Universitat Rostock.

**Микоян А.Н.**, генеральный директор НР в России.

**Михайлов Г.М.**, к.ф.м.н., заместитель директора ВЦ РАН.

**Петров И. Б.**, д.ф.м.н., член-корр. РАН, профессор, зав. кафедрой информатики МФТИ.

**Прянишников Н.Н.**, президент представительства корпорации Microsoft в России.

**Саакян В.Г.**, директор Института проблем информатики и автоматизации Национальной академии наук Республики Армения.

**Савин Г.И.**, академик РАН, директор МСЦ РАН.

**Ткаченко И.В.**, д.т.н., кафедра "Гидроаэромеханика и морская акустика" СПбМТУ.

**Шабанов Б.М.**, к.т.н., заместитель директора, Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН.

**Щеглов Г.А.**, д.т.н., кафедра "Аэрокосмические системы" МГТУ им. Н.Э.Баумана.

**Dr. Henrik Rusche**, WIKKI Gesellschaft für numerische Kontinuumsmechanik mbH.

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

**Аветисян А.И.**, ученый секретарь ИСП РАН.

**Самоваров О.И.**, научный сотрудник ИСП РАН.

Лучинин Н.Ю., руководитель направления по работе с образовательными учреждениями, НР в России.

Дмитрий Конягин, NVIDIA Ltd.

Игорь Коломенский, Microsoft Россия.

## **РЕГИСТРАЦИЯ**

Регистрация проводится через e-mail. Для участия в конференции пришлите, пожалуйста, на адрес: [unicluster@ispras.ru](mailto:unicluster@ispras.ru) следующую информацию: ФИО, организация, должность, контактный телефон. Тезисы доклада можно приложить к письму с регистрационной информацией.

## **ВАЖНЫЕ ДАТЫ**

Прием тезисов: до 30 ноября 2012 года (включительно до 24:00 по московскому времени).

Регистрация участников: до 30 ноября 2012 года (включительно до 24:00 по московскому времени).

Даты проведение конференции: 6-7 декабря 2012 года.

## **КОНТАКТЫ**

Вопросы по проведению конференции вы можете задавать через e-mail: [unicluster@ispras.ru](mailto:unicluster@ispras.ru) или по телефону +7(926) 358-66-55, контактное лицо: Самоваров Олег.

Подробная информация представлена на странице программы «Университетский кластер»: <http://www.unicluster.ru/>

# ПРОГРАММА "УНИВЕРСИТЕТСКИЙ КЛАСТЕР" - ИНТЕГРАЦИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.



Программа «Университетский кластер» была учреждена 4 сентября 2008 года Российской академией наук (ИСП РАН и МЦ РАН), компаниями HP и ЗАО «Синтерра», дочерней компании ОАО «Мегафон». Программа направлена на повышение уровня использования передовых информационных технологий, в первую очередь высокопроизводительных вычислений, хранение и обработка сверхбольших массивов данных, в образовательной и научно-исследовательской деятельности, а также на их ускоренное внедрение в промышленность.

С этой целью, в рамках программы «Университетский кластер» создана технологическая платформа UniHUB, которая в концепции облачных вычислений обеспечивает интеграцию науки, образования и промышленности на современном технологическом уровне. Технологическая платформы UniHUB позволяет исследователю, используя "тонкий клиент", через один из стандартных Web-браузеров:

- получить доступ к ресурсам (высокопроизводительные системы, хранилища, фермы визуализации, центры компетенции и др.), как к сервисам всех уровней от инфраструктуры (IaaS) до уровня приложений (SaaS) в том числе к интерактивным, графическим инструментам моделирования;
- обеспечить возможность визуализации результатов расчетов, в том числе в интерактивном режиме;

- предоставить возможность коллективной разработки приложений и создание на их основе собственных «облачных» сервисов в рамках единой платформы;
- получить инструменты Web 2.0 для эффективной передачи знаний (лекции, семинары, лабораторные работы) и поддержки деятельности сообществ профессионалов в специализированных областях

Перечисленные возможности платформы UniHUB позволяют исследователям создавать предметно-ориентированные научно-производственные Web лаборатории в конкретных областях, которые в свою очередь обеспечивают возможность совместных исследований, разработок и обучения в рамках [профессионально-ориентированной социальной среды](#).

Функционирование облачных сервисов, развернутых на базе технологической платформы UniHUB, обеспечивают ЦОД-ы учредителей, партнеров и участников программы. Эти ЦОД объединяет сетевая инфраструктура, организованная на базе оптоволоконных каналов корпоративной сети Российской академии наук (RASNET) и оптоволоконных каналов оператора связи ЗАО «Синтерра», дочерней компании ОАО «Мегафон», которые обеспечивают обмен трафиком научно-образовательных сетей, объединенных магистральными каналами связи.

В настоящее время вычислительные ресурсы (кластеры, файловые хранилища, фермы визуализации и пр.) представляются МСЦ РАН, ИСП РАН, ВЦ РАН другими учредителями, партнерами и участниками программы «Университетский кластер». Оборудование, составляющее ядро технологической платформы размещается в ЦОД ВЦ РАН, в рамках которого обеспечивается промышленный уровень функционирования аппаратуры: бесперебойное электропитание, кондиционирование, масштабируемый доступ к каналам Интернет и другим каналам связи, систему безопасности и пр.

Стек программного обеспечения технологической платформы базируется на свободном программном обеспечении с открытыми, стандартными интерфейсами.

Архитектура платформы UniHUB масштабируема на всех уровнях от уровня аппаратуры до уровня предоставления сервисов и позволяет обеспечить уровень доступности, вплоть до 24/7.

На базе технологической платформы программы «Университетский кластер» UniHUB созданы и развиваются предметно-ориентированные Web-лаборатории. Одной из таких лабораторий является лаборатория решения задач механики сплошной среды UniCFD, которая направлена на решение практических, научно-исследовательских и образовательных задач механики сплошной среды с использованием открытых пакетов SALOME, OpenFOAM, ParaView, DAKOTA. В рамках Web лаборатории пользователи могут получить доступ к перечисленным пакетам, как к облачным сервисам через "тонкий клиент", используя Web-браузер. Разработаны открытые [учебные курсы](#): «Основы использования свободных пакетов SALOME, OpenFOAM и ParaView при решении задач МСС», «Расширенные возможности пакета OpenFOAM», «Пакет OpenFOAM – платформа для решения задач МСС», которые содержат интерактивные лекции и лабораторные работы по которым могут проводиться учебные занятия непосредственно в рамках технологической платформы, через стандартный Web браузер. Так на кафедрах ФН2, СМ2, СМ3 МГТУ им. Н.Э.Баумана сервисы Web-лаборатории используются для проведения дистанционных лабораторных работ.

Другой Web лабораторией, созданной в рамках технологической платформы UniHUB, является лаборатория решения задач анализа геоданных с использованием геоинформационных технологий [UniGIS](#). В рамках данной Web-лаборатории пользователи могут получить доступ к открытым пакетам как к сервисам: Grass GIS (открытый пакет анализа геоданных), Quantum GIS (открытая геоинформационная платформа).

В настоящее время ведутся работы по созданию [Web лаборатории технологий системного программирования](#). Данная лаборатория направлена на решение практических, научно-исследовательских и образовательных задач по использованию технологий системного программирования: анализ программ для

выявления уязвимостей и критических ошибок, хранение и обработка сверх больших массивов данных, виртуализация высокопроизводительных вычислений и др. В рамках данной лаборатории интегрирован пакет динамического анализа программ Avalanche, разработанный в ИСП РАН к которому обеспечивается доступ как к сервису в концепции облачных вычислений через пакет Eclipse. Для решения задач хранения и обработки больших массивов данных создан стенд с использованием открытой системы Hadoop на базе которой предоставляется группа сервисов уровня платформы (PaaS).

В рамках программы "Университетский кластер" осуществляются совместные проекты с участниками из стран СНГ, а так же ведущими зарубежными научными центрами. Одним из направлений такого сотрудничества стали исследования в рамках международного проекта [Open Cirrus](#) (см. Рисунок 1).

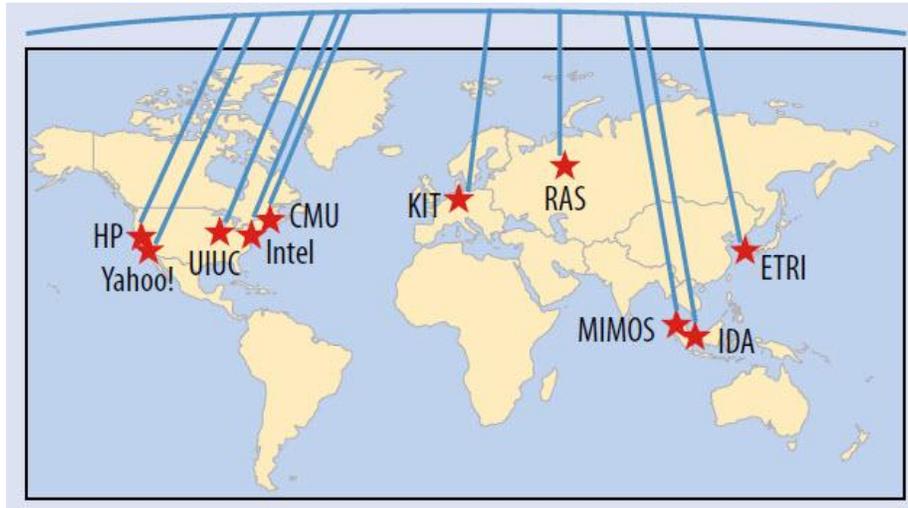
Проект OpenCirrus был основан компаниями HP, Intel и Yahoo, при участии Национального правительственного научного фонда США, Университета штата Иллинойс в Урбана Шампейн, Министерства развития компьютерных коммуникаций Сингапура, Технологического института Карлсруэ. Целью проекта OpenCirrus является создание открытого испытательного стенда на базе [федерации географически распределенных центров обработки данных](#), который призван поддержать разработчиков, как прикладных, так и системных программных средств в новой инновационной области «облачных вычислений». В рамках данного проекта открытый испытательный стенд рассматривается как важнейшая часть, обеспечивающая продвижение, развитие и внедрение данных технологий.

Российская Академия наук, стала первой в Восточной Европе и седьмой в мире организацией, присоединившейся в качестве центра компетенции (Centre of Excellence) к проекту OpenCirrus.

Результатом участия в международном проекте OpenCirrus стал созданный на базе вычислительной инфраструктуры Программы «Университетский кластер» [испытательный стенд](#) с использованием которого ведутся исследования по созданию облачных сервисов уровня аппаратуры (Physical Resource Set - аппаратура как

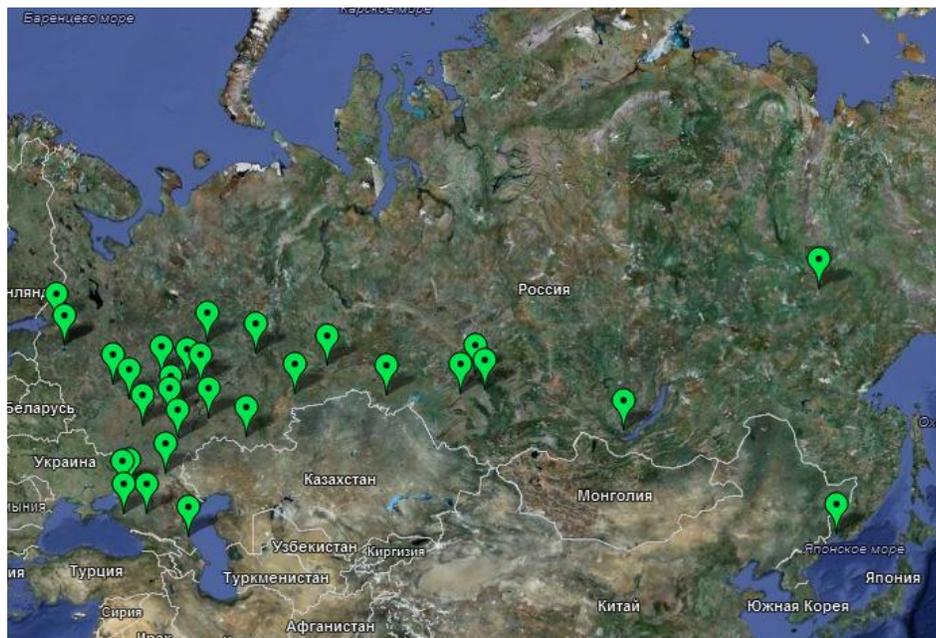
сервис), инфраструктуры (Elastic Compute - инфраструктура как сервис) и платформы (Distributed File System - платформа как сервис).

В рамках программы «Университетский кластер» на постоянной основе проводится ежегодная, международная конференция «Облачные вычисления. Образование. Исследования. Разработка».



*Рисунок 1. Федерация географически распределенных ЦОД на базе центров компетенции проекта OpenCirrus. HP – HP Labs (США); Yahoo! – компания Yahoo! (США); UIUC - Иллинойский университет в Урбане и Шампейне (США); Intel - Intel Research (США); CMU - Университет Карнеги—Меллон (США); KIT - Технологического института в Карлсруэ (Германия); RAS – Российская академия наук (Россия); MIMOS – Технологический парк Малайзии (Малайзии); IDA - Министерство развития компьютерных коммуникаций (Сингапур); ETRI - Исследовательского института электроники и телекоммуникаций (Южная Корея)*

Конференция посвящена технологиям "облачных вычислений" и их применению в образовании, науке и промышленности. В рамках конференции проводится расширенный семинар по актуальным тематикам. В 2011 году в Москве, в рамках конференции «Облачные вычисления. Образование. Исследования. Разработка» прошел международный [саммит проекта OpenCirrus](#).



***Рисунок 2. География Российского сегмента программы «Университетский кластер»***

В настоящее время к Программе уже присоединилось более 70 университетов и научных организаций от Санкт-Петербурга до Владивостока (см. Рисунок 2). Сервисами Web лабораторий, созданных на базе технологической платформы UniHUB для решения своих научно-технических, образовательных и производственных задач пользуется около 500 исследователей представляющие следующие организации: НТЦ им. А. Льюльки, НИЯУ «МИФИ», ИПХФ РАН, НИЦ «Курчатовский институт», МГТУ им. Н.Э. Баумана, РКК «Энергия», Томский ГУ, МГУ им. Ломоносова, Волгоградский технический ГУ, АК «Рубин», Компания «Шлюмберже», Самарский аэрокосмический ГУ, Hewlett-Packard, Пермский ГУ, ФГУП ГНЦ «Центр Келдыша», ЮМИ ВНЦ РАН РСО-Алания, НИИФИ, СПбГПУ «Политех», МГУДТ, Санкт-петербургский ГУ, МГУ им. Н.П.Огарева, Южно-Уральский ГУ, БГТУ «Военмех», ФГУП «ГНЦ РФ – ФЭИ», СПбГМТУ, Кемеровский ГУ, University of Bergen, Латвийский ГУ, Санкт-Петербургский Политехнический Университет, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Уфимский нефтяной технический ГУ, ОАО «НИКИЭТ», ЗАО «ОПК «ТрансГидроПроект», ЮМИ ВНЦ РАН, ЗАО НТЦ Диапром, ИТМО им. Лыкова, Волгоградский технический ГУ, Московский ГУ дизайна и

технологии, ФГУП ЦЭНКИ – НИИСК, Институт механики сплошных сред УрО РАН, ООО “НПО “Мостовик”, ИПМех РАН и др.

Партнерами программы являются Microsoft, Intel, ФГУП «Информика», издательство "Открытые системы", Вычислительный центр им. А. А. Дородницына РАН, NVIDIA.



# ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

**6 ДЕКАБРЯ 2012 ГОДА**

<u>Дата, время</u>	<u>Мероприятие</u>
<b>6 декабря</b>	
8:30	Утренний чай-кофе, регистрация участников конференции
9:00	Приветственное слово учредителей и партнеров программы «Университетский кластер»
9:40	<u>Dr. Henrik Rusche, WIKKI Gesellschaft für numerische Kontinuumsmechanik mbH</u> <b><u>«Recent developments in OpenFOAM»</u></b>
10:20	<u>Самоваров О.И., н.с., ИСП РАН</u> <b><u>«UniHUB - технологическая платформа интеграции науки, образования и промышленности»</u></b> . Демонстрация ключевых возможностей работы платформы
11:00	Чай-кофе
11:20	<u>Ian Buck, General Manager, GPU Computing, NVIDIA</u> <b>«Архитектура графических процессоров CUDA: прошлое, настоящее и будущее»</b>
11:40	<u>Александр Шумилин, менеджер по продуктам, Hewlett-Packard</u> <b>«Новый взгляд на масштабируемые вычислительные ресурсы от HP»</b>
12:00	<u>Щеглов Г.А., д.т.н., доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана</u> <b><u>«Опыт использования платформы UniHUB в учебном процессе кафедры «Аэрокосмические системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана»</u></b>
12:20	<u>Загуменный Я.В., к.ф.-м.н., с.н.с., Институт проблем механики РАН</u> <b><u>«Использование технологической платформы UniHUB в расчетах тонкой структуры стратифицированных течений на базе открытых пакетов»</u></b>
12:40	<u>Сибгатуллин И.Н., НИИ механики МГУ, Стрижак С.В., МГТУ им. Н.Э. Баумана</u> <b>«Возможности открытых пакетов для решения нелинейных задач гидродинамической устойчивости»</b>
13:00	Обед
13:40	<u>Монаков А.В., ИСП РАН</u> <b><u>«Особенности реализации мульти GPU версии OpenFOAM»</u></b>
14:00	<u>Аветисян А.И., Кудрявцев А.О., ИСП РАН</u> <b><u>«Перспективы виртуализации высокопроизводительных систем»</u></b>
14:20	<u>Абакумов К.В., Турдаков Д.Ю., Коршунов А.В., ИСП РАН</u> <b>«Модели распределенной обработки графовых и потоковых данных на кластерах»</b>
14:40	<u>Медведев А.А., к.г.н., н.с., Институт географии РАН</u> <b>«ГИС-лаборатория: методы, данные и ПО для работы с пространственными данными»</b>
15:00	<u>Шахнов В.А., Зинченко Л.А., Верстов В.А., МГТУ им. Н.Э. Баумана, ассистент</u> <b><u>«Трансформация топологии СБИС для технологии двойного шаблона на параллельных вычислительных системах»</u></b>
15:20	Чай-кофе

<u>Дата, время</u>	<u>Мероприятие</u>
15:40	Ковтанюк А.Е., с.н.с., доцент, Институт прикладной математики ДВО РАН, Дальневосточный федеральный университет <u>«Использование параллельных вычислений в задаче радиационно-кондуктивного теплообмена в слое»</u>
16:00	Сущенко А., Ковтанюк А.Е., Дальневосточный Федеральный университет <u>«Параллельные вычисления в задаче улучшения качества гидроакустических изображений»</u>
16:20	Авдеев Е.В., Фурсов В. А., СГАУ имени академика С.П. Королёва <u>«Выбор параметров разбиения с использованием OpenFOAM»</u>
16:40	Бабий Ю.И., ЗАО "Сигма Технология" <u>«Программный комплекс IOSO многопользовательского доступа к суперкомпьютерам для решения инженерных задач»</u>
17:00	Малашонок Г.И., д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией алгебраических вычислений, Тамбовский государственный университет <u>«Веб-сервис «Математический Партнер»»</u>
17:20	Деменев А.Г., к.ф.-м.н., доцент, директор НОЦ, Белозерова Т.С., Харебов П.В., Хеннер В.К., Хеннер Е.К., ПГНИУ <u>«Применение облачных вычислительных сервисов ПГНИУ для решения задач магнитодинамики и когерентных процессов в наноманитных структурах»</u>
17:40	Закрытие первого дня конференции

## 7 ДЕКАБРЯ 2012 ГОДА

<b>7 декабря.</b>	<b>Расширенный семинар сообщества лаборатории механики сплошной среды</b>
8:30	Утренний чай-кофе
9:00	Петров И.Б., д.ф.-м.н., член-корр. РАН, профессор, зав. кафедрой информатики МФТИ <b>Приглашенный доклад</b>
9:40	Чашечкин Ю.Д., д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией, Институт проблем механики им. А.Ю.Ишлинского РАН <u>«Дифференциальная механика жидкостей – интегрированное аналитическое, численное и лабораторное моделирование»</u>
10:20	Савин А.В., д.т.н., профессор, БГТУ "Военмех" им. Д.И. Устинова, директор по развитию "Концерн "Струйные технологии"", Смирнов П.Г., БГТУ "Военмех" им. Д.И. Устинова <u>«Численное моделирование сверхзвуковых газовых недорасширенных струй в пакете OpenFOAM с использованием облачных технологий»</u>
11:00	Чай-кофе
11:20	Шевчук И., Корнев Н.В., Universitat Rostock <u>«Опыт использования OpenFOAM для решения инженерных задач в университете Росток»</u>
12:00	Ткаченко И.В., д.ф.-м.н., доцент, СПбГМТУ, Дукарский А.О., Тряскин Н.В.,

	Чепурко С.И., СПбГМТУ <b><u>«Высокопроизводительные вычисления в задачах судостроения»</u></b>
12:40	Крапошин М.В., начальник лаборатории РНЦ КИ, Калиш С.А., Тагиров А.М., РНЦ КИ <b><u>«Моделирование процессов течения двухфазной смеси с межфазным массообменом и учетом сжимаемости сред средствами OpenFOAM»</u></b>
13:20	Обед
14:00	Зинкевич С.(МГТУ им. Н.Э. Баумана), Калугин М.Д. (ИСП РАН), Крапошин М.В. (РНЦ КИ), Самоваров О.И (ИСП РАН), Стрижак С.В. (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Тихонова Ю. (ИСП РАН), Щеглов Г.А., МГТУ им. Н.Э. Баумана, Епихин А.С, МГТУ им. Н.Э. Баумана <b><u>«О методах параметризации геометрии расчетной области при решении задач оптимизации газодинамики»</u></b>
14:20	Стрижак С., МГТУ им. Н.Э. Баумана <b><u>«Особенности моделирования обтекания тел в закрученном дозвуковом потоке газа»</u></b>
14:40	Шейнман И.Я., к.т.н., доцент СПбГПУ, Цой А.С., Снегирев А.Ю., СПбГПУ <b><u>«Сравнительный анализ открытого программного обеспечения для полевого моделирования пожаров»</u></b>
15:00	Цой А.С., Снегирев А.Ю., Шейнман И.Я., СПбГПУ <b><u>«Моделирование пожаротушения распылённой водой с помощью FDS: опыт облачных вычислений»</u></b>
15:20	Епихин А.С., Калугин В.Т., МГТУ им. Н.Э. Баумана <b><u>«Применение облачных вычислений в расчетах интерференционных эффектов при нестационарном вихревом обтекании летательных аппаратов»</u></b>
15:40	Чай-кофе
16:00	Сорокин М.Ю., к.т.н., доцент кафедры "ИВК" УлГТУ, Дубинина М.М., УлГТУ <b><u>«Проектирование приемников воздушных давлений»</u></b>
16:20	Калиш С.А., н.с. РНЦ КИ, Крапошин М.В., Тагиров А.М., РНЦ КИ <b><u>«Тестирование пакета OpenFOAM на задачах международной открытой базы данных ERCOFTAC»</u></b>
16:40	Марчевский И.К., к.ф.-м.н., доцент, Пузикова В.В. (МГТУ им. Н.Э. Баумана) <b><u>«Анализ эффективности методов решения систем линейных алгебраических уравнений, реализованных в пакете OpenFOAM»</u></b>
17:00	<b>Круглый стол.</b> Ведущий Dr. Henrik Rusche, WIKKI Gesellschaft für numerische Kontinuumsmechanik mbH <b><u>«Создание Российского сообщества OpenFOAM (Russian OpenFOAM User Group)»</u></b>
18:00	Заккрытие конференции



## "RECENT DEVELOPMENTS IN OpenFOAM"

**Henrik Rusche, Wikki GmbH, [h.rusche@wikki-gmbh.de](mailto:h.rusche@wikki-gmbh.de)**

In this talk, an overview of major developments and community contributions to the OpenFOAM library over the last year is presented. There has been major development in numerous areas, from software management issues, basic capability development and implementation of new physical models. Main topics will include:

- Gradient-based optimization
- Immersed boundary method
- coal combustion



## "UniHUB - ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ИНТЕГРАЦИИ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ"

Демонстрация ключевых возможностей работы платформы

**О.И. Самоваров, ИСП РАН, н.с., [samov@ispras.ru](mailto:samov@ispras.ru)**

Одной из основных тенденций развития информационных технологий в настоящее время является массовое внедрение технологий распределенных и «облачных» вычислений. Это стало возможным, в первую очередь, в связи с развитием аппаратуры вычислительных систем и сетевых технологий, а так же появлением свободного, как системного, так и прикладного программного обеспечения. Развитие аппаратных вычислительных и сетевых технологий привело к тому, что стало возможным объединение распределенных разнородных вычислительных ресурсов, хранилищ данных, соответствующего программного

обеспечения в единую инфраструктуру на базе, которой можно обеспечивать доступ к ресурсам, в том числе, к различным имитационным моделям, как к Web-сервису. Это дает потенциальную возможность с одной стороны, решать задачи, связанные с обработкой больших массивов данных, или выполнять большие объемы вычислений, недоступные даже в рамках самых мощных суперкомпьютеров, а с другой стороны, обеспечить по требованию со стороны пользователей, масштабируемый доступ к вычислительным ресурсам и др.

Наиболее перспективным путем эффективного использования технологий «облачных» вычислений в промышленности и образовании является организация объединенных вычислительных инфраструктур и создание на их основе открытых Web-ориентированных производственно-исследовательских центров, направленных на определенные прикладные области (в англоязычной литературе такие центры получили название «хабов», термин hub обозначает ядро, центр вычислительной сети). Основная идея таких Web-ориентированных центров заключается в объединении современной концепции Web 2.0 с возможностью доступа к прикладным программным пакетам. Как показывает мировой опыт, такой подход, позволяет организовывать эффективное взаимодействие научно-исследовательских коллективов, подразделений промышленных предприятий, обеспечить эффективную поддержку учебного процесса в образовательных учреждениях.

В рамках программы «Университетский кластер» создана технологическая платформа UniHUB (<http://www.unihub.ru>), которая в концепции облачных вычислений обеспечивает интеграцию науки, образования и промышленности на современном технологическом уровне. Технологическая платформы UniHUB позволяет исследователю, используя "тонкий клиент", через один из стандартных Web-браузеров:

- получить доступ к ресурсам (высокопроизводительные системы, хранилища, фермы визуализации, центры компетенции и др.), как к сервисам всех уровней от инфраструктуры (IaaS) до уровня приложений

(SaaS) в том числе к интерактивным, графическим инструментам моделирования;

- обеспечить возможность визуализации результатов расчетов, в том числе в интерактивном режиме;
- предоставить возможность коллективной разработки приложений и создание на их основе собственных «облачных» сервисов в рамках единой платформы;
- получить инструменты Web 2.0 для эффективной передачи знаний (лекции, семинары, лабораторные работы) и поддержки деятельности сообществ профессионалов в специализированных областях

Перечисленные возможности платформы UniHUB позволяют исследователям создавать предметно-ориентированные научно-производственные Web лаборатории в конкретных областях, которые в свою очередь обеспечивают возможность совместных исследований, разработок и обучения в рамках профессионально-ориентированной социальной среды.

В докладе рассказывается о возможностях технологической платформы UniHUB, а так же об особенностях создания на ее основе предметно-ориентированных, научно-производственных Web-лабораторий.

### **Литература:**

1. Arutyun I. Avetisyan, Roy Campbell, Indranil Gupta, Michael T. Heath, Steven Y. Ko, Gregory R. Ganger, Michael A. Kozuch, David O'Hallaron, Marcel Kunze, Thomas T. Kwan, Kevin Lai, Martha Lyons, Dejan S. Milojicic, Hing Yan Lee, Yeng Chai Soh, Ng Kwang Ming, Jing-Yuan Luke, Han Namgoong. «Open Cirrus: A Global Cloud Computing Testbed». Computer, April 2010, pp. 35-43.
2. Иванникова В.П., А. Аветисян, О. Самоваров, С. Гайсарян, «Университетский кластер»: интеграция образования, науки и индустрии», «Открытые системы». N5. – 2010

3. Арутюн Аветисян, Олег Самоваров, Сергей Гайсарян, Эшсоу Хашба «OpenCirrus, российский сегмент», «Открытые системы», № 05, 2011, <http://www.osp.ru/os/2011/05/13009425/>



**"ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАТФОРМЫ UniHUB В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ КАФЕДРЫ "АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ" МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА"**

**Область научных интересов:**

**Динамика конструкций, аэрогидроупругость, вихревые методы вычислительной гидродинамики**

**Г.А. Щеглов, д.т.н., доцент кафедры "Аэрокосмические системы" МГТУ им. Н.Э. Баумана, [georg@energomen.ru](mailto:georg@energomen.ru)**

В докладе рассмотрена актуальность внедрения в инженерное образование методов виртуальной разработки и испытания изделий на базе интеграции CAD/CAE систем

Отмечается большая роль облачных сервисов в этом процессе. Освещены вопросы подготовки инженеров, владеющих средствами виртуальной разработки и их базовые компетенции.

На примере опыта кафедры "Аэрокосмические системы" МГТУ им. Н.Э. Баумана показано внедрение опыта информационной поддержки курсового и дипломного проектирования на базе CAD/CAE систем.

Показано, что использование сервиса UniHub с 2011 года позволило студентам познакомиться и начать осваивать для целей курсового и дипломного проектирования свободное программное обеспечение. Также получен опыт использования студентами-инженерами современных высокопроизводительных вычислительных систем.

Приводятся примеры методической организации лабораторной работы с использованием UniHub.

# **"ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ UniHUB В РАСЧЕТАХ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ТЕЧЕНИЙ НА БАЗЕ ОТКРЫТЫХ ПАКЕТОВ"**

**Я.В. Загуменный, к.ф.-м.н., с.н.с., Институт проблем механики РАН,  
[zagumennyi@gmail.com](mailto:zagumennyi@gmail.com)**

В докладе представлен авторский опыт использования Web-лаборатории механики сплошной среды, созданной на базе технологической платформы UniHUB, в целях разработки численных моделей и проведения расчетов задач механики неоднородных жидкостей с использованием свободных прикладных пакетов OpenFOAM, SALOME и ParaView. Обсуждаются вопросы построения высокоразрешающих расчетных сеток и постановки сложных граничных с помощью встроенных и расширенных утилит OpenFOAM, разработки собственных решателей с использованием объектно-ориентированного языка программирования C++, обработки, передачи и визуализации расчетных данных. Уделяется внимание обсуждению особенностей проведения расчетов в параллельном режиме на вычислительном кластере МСЦ РАН с использованием методов декомпозиции расчетной области.

На основе полученных результатов, рассчитанных с помощью собственных решателей пакета OpenFOAM на базе технологической платформы UniHUB, демонстрируются картины течений непрерывно стратифицированных жидкостей около непроницаемых препятствий – горизонтальной и наклонной пластин, симметричного клина, горизонтального диска и цилиндра. Непроницаемое препятствие, помещенное в толщу неравновесной стратифицированной среды нарушает однородность фонового диффузионного потока стратифицирующей компоненты и приводит к формированию сложной многоуровневой системы циркуляционных течений, которые носят название “индуцированных диффузией на топографии”. Расчеты динамических характеристик показывают, что такие течения создают момент сил, поворачивающий наклонную пластину нейтральной плавучести в устойчивое горизонтальное положение, и генерируют пропульсивный механизм,

приводящий к самопроизвольному движению симметричного клина вдоль горизонта нейтральной плавучести. При обтекании препятствий потоком непрерывно стратифицированной жидкости формируются поля опережающих и присоединенных внутренних волн и тонкоструктурные вихревые течения, которые все еще недостаточно изучены как теоретически, так и экспериментально, поскольку не описываются традиционными теориями течений однородной жидкости, ни вязкой, ни тем более идеальной.

Приводятся сравнения данных аналитического, численного и лабораторного моделирования стратифицированных течений около различных препятствий, оговариваются условия согласия и расхождения результатов, проблемы переноса данных моделирования на природные системы. Обсуждаются перспективы дальнейших разработок высокоразрешающих численных моделей механики неоднородных жидкостей в рамках открытых прикладных пакетов на базе вычислительной платформы UniHUB.

### **"ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ МУЛЬТИ GPU ВЕРСИИ OPENFOAM"**

**А.В. Монаков, Москва, ИСП РАН, м.н.с., [amonakov@ispras.ru](mailto:amonakov@ispras.ru)**

В докладе рассматривается оптимизация алгоритма решения систем линейных уравнений методом сопряжённых градиентов на GPU-акселераторах для пакета OpenFOAM и подход к реализации распараллеленной версии для множества узлов с GPU.

### **"ПЕРСПЕКТИВЫ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ"**

**А.О. Кудрявцев, Москва, ИСП РАН, стажер-исследователь, аспирант,  
А.И. Аветисян, Москва, ИСП РАН**

В настоящее время облачные технологии получают все большее распространение. При этом возможности применения концепции облачных сервисов

в области высокопроизводительных вычислений существенно ограничены. Ключевая проблема - накладные расходы, возникающие при использовании технологий виртуализации.

В данном докладе рассматриваются ключевые источники накладных расходов при виртуализации высокопроизводительного кластера. Приводятся результаты

исследований накладных расходов и методы повышения производительности параллельных приложений в виртуальных машинах.

## **ТРАНСФОРМАЦИЯ ТОПОЛОГИИ *СБИС* ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ДВОЙНОГО ШАБЛОНА НА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

**В.А. Верстов, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ассистент, [v.verstov@gmail.com](mailto:v.verstov@gmail.com),**

**В.А. Шахнов, член-корр. РАН, д.т.н., Л.А. Зинченко, д.т.н., профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана**

### **Аннотация**

Сложность расчетов при проектировании и производстве СБИС по технологии двойного шаблона увеличивается с переходом к меньшим топологическим нормам. В настоящий момент для производства шаблонов необходимо обрабатывать файлы описания топологии объемом в десятки гигабайт. Этот факт приводит к необходимости эффективно использовать вычислительные ресурсы высокопроизводительных вычислительных систем.

### **Введение**

Основная идея технологии двойного шаблона базируется на последовательном применении двух шаблонов во время прожига резиста для получения рисунка с размерами элементов, не достижимыми с помощью традиционных методов литографии.

Для использования технологии двойного шаблона необходимо провести декомпозицию исходного топологического слоя на два новых.

### **Экспериментальное исследование программного обеспечения *Parallel Layout Transformer***

В качестве входных данных разработанное программное обеспечение *Parallel*

Layout Transformer принимает файл в формате GDSII и параметр технологии двойного шаблона. После чтения файла происходит переход к внутренней структуре данных, которая допускает обработку топологии СБИС в параллельном режиме.

Используемая структура данных позволяет разделить исходную топологию на параллельные полосы. Полученные полосы можно обрабатывать независимо друг от друга в параллельном режиме. В результате обработки топологии формируются графовая модель представления топологии СБИС.

Декомпозиция топологии происходит путем применения адаптированного параллельного варианта алгоритма проверки графа на двудольность. Результатом работы программы является файл в формате GDSII.

Анализируя результаты, полученные в ходе экспериментального исследования, можно сделать вывод о том, что разработанный алгоритм вычислительную сложность не более  $n \log n$ , что является приемлемым результатом.

### **Заключение**

В результате экспериментального исследования разработанных подходов и алгоритмов трансформации топологии СБИС для технологии двойного шаблона была подтверждена эффективность применения разработанных параллельных алгоритмов. Основным направлением дальнейшего развития является: повышение эффективности использования вычислительных ресурсов высокопроизводительных вычислительных систем; получение более равномерного распределения полигонов по топологическим слоям.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ, грант НШ-1152.2012.9.

## "ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ЗАДАЧЕ РАДИАЦИОННО-КОНДУКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА"



### Область научных интересов:

Теория переноса излучения, компьютерная томография,  
высокопроизводительные вычисления

А.Е. Ковтаныук, Институт прикладной математики ДВО РАН  
(г. Владивосток), с.н.с, доцент, [ankov@imcs.dvgu.ru](mailto:ankov@imcs.dvgu.ru)

Изучение радиационно-кондуктивного теплообмена является важным во многих инженерных приложениях. В данной работе решается задача улучшения теплообмена в рассеивающем слое с отражающими границами. В качестве модели, описывающей процесс переноса тепла, рассматривается нелинейная система, состоящая из интегро-дифференциального уравнения переноса и уравнения кондуктивного теплообмена. Границы слоя характеризуются коэффициентами зеркального и диффузного отражения. Для оценки величины теплообмена используется модифицированный алгоритм метода Монте-Карло. Предложенный алгоритм удобен для применения технологии параллельных вычислений и способен обеспечить требуемую точность за приемлемое вычислительное время. Проанализированы два различных подхода в параллелизации алгоритма: в первом, параллелизация осуществляется по точкам слоя, во втором – по траекториям метода Монте-Карло. Показано, что используемые параллельные алгоритмы обеспечивают хорошее, близкое к линейному, ускорение времени выполнения программы. На основе предложенного алгоритма рассчитывается температурный профиль для различных значений коэффициентов отражения. Далее, определяются значения коэффициентов отражения, обеспечивающие высокий уровень теплоотдачи. Данная задача представляется актуальной для определения оптимальных сплавов, используемых при конструировании деталей двигателей, различных энергетических установок, подвергаемых высокому нагреву. Вычисления осуществлены с использованием технологии параллельных вычислений MPI на базе технологической платформы UniHUB.

## **"ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ЗАДАЧЕ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ"**

**А.А. Сущенко**, Дальневосточный Федеральный университет  
(г. Владивосток), магистрант, [fon\\_shtirlits@mail.ru](mailto:fon_shtirlits@mail.ru)

**А.Е. Ковтаниук**, Институт прикладной математики ДВО РАН  
(г. Владивосток), с.н.с, доцент, [ankov@imcs.dvgu.ru](mailto:ankov@imcs.dvgu.ru)

К настоящему времени на базе Института проблем морских технологий ДВО РАН создан ряд автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА), прошедших государственную сертификацию в соответствии со стандартом ISO-9001. С их помощью решается целый ряд задач: картографирование дна, обзорно-поисковые работы, мониторинг участков дна и мониторинг состояния подводных сооружений (трубопроводов, кабель-трасс и т.д.). Подобные работы ведутся уже более 40 лет, и до сих пор актуальной является проблема обработки и улучшения качества изображений, полученных с гидролокатора бокового обзора (ГБО) АНПА. Известно, что гидроакустический канал является весьма специфическим вследствие нестационарности рефракционных и иных физических эффектов, что проявляется в виде многолучевости, интерференции и может приводить не только к сильным искажениям получаемого изображения, но и к его полной потере. Изображение, полученное ГБО, имеет множество дефектов в виде импульсных шумов и низкоамплитудных помех (белого шума).

В работах [1,2] предложен метод двойной фильтрации улучшения качества гидроакустических изображений, полученных с ГБО АНПА. Алгоритм основывается на теории интерполяции функций с финитным спектром [3]. Применение интерполяционных формул для функций с финитным спектром оправдано для решения задачи восстановления гидроакустических изображений, так как сигнал от ГБО сосредоточен в ограниченном диапазоне частот. Проведенные численные эксперименты с реальными данными [1,2] на основе метода двойной фильтрации продемонстрировали заметное улучшение качества гидроакустических изображений по сравнению с традиционным медианным методом.

Как правило, обработка данных, полученных с АНПА, осуществляется на суше в лаборатории. В среднем изображения, полученные ГБО, занимают от 100 до 200 Мбайт и нередко доходит до 1 Гбайт. Время, затрачиваемое на обработку изображения с помощью метода двойной фильтрации, значительно превышает время обработки, осуществляемой медианным методом. В связи с этим актуальным является программная реализация метода двойной фильтрации на основе параллельного вычислительного алгоритма.

Восстанавливаемый объект - это изображение, которое для удобства использования средствами программы переводиться в двумерный массив. Далее каждый столбец массива проходит специальную обработку (непосредственно метод двойной фильтрации) и записывается в выходной файл-изображение. Для данного метода существует несколько подходов перевода последовательного алгоритма в параллельный.

1-ый способ: передача главным процессором одного столбца из массива для обработки методом двойной фильтрации  $n$  дочерними процессорами.

Уменьшение времени при увеличении числа процессоров происходит только до  $n=16$  узлов. Дальнейшее увеличение числа процессоров приводит к увеличению времени. Таким образом, при использовании более 16 процессоров для 1-го способа перевода последовательного алгоритма в параллельный эффективность утрачивается. При выполнении алгоритма больше времени тратиться на передачу данных от главного процесса дочерним и обратно, чем на выполнение метода двойной фильтрации каждым дочерним процессором. На основе полученных результатов необходимо предложить другой вариант решения проблемы. Для этого можно обобщить 1-ый способ.

2-ой способ: передача главным процессором группы из  $m$  столбцов массива для обработки методом двойной фильтрации  $n$  дочерними процессорами.

Для использования 2-го способа перевода последовательного алгоритма в параллельный необходимо установить зависимость между числом процессоров,

числом передаваемых каждому процессору столбцов и временем выполнения программы. Таким образом, необходимо найти такое число  $m$  передаваемых столбцов дочернему процессору, при котором время на пересылку массива данных будет много меньше времени выполнения обработки данного массива методом двойной фильтрации.

При  $n = 64$  наблюдается увеличение времени выполнения алгоритма в сравнении со значением при  $n = 32$ . Минимальное значение времени  $t$  выполнения алгоритма при  $n = 128$ ,  $m = 2$ :  $t = 24320$ . Тем не менее, при  $n = 16$ ,  $m = 2$ :  $t = 24790$ . Следовательно, эксперимент с меньшим числом процессоров показал схожий результат с экспериментом, выполненном на 128 процессорах. Таким образом, оптимальнѣт число процессоров  $n = 16$  и оптимальное количество столбцов изображения для передачи дочерним процессорам  $m = 2$ .

Автором разработан параллельный вычислительный алгоритм, реализующий метод двойной фильтрации улучшения качества гидроакустических изображений. Осуществлена программная реализация алгоритма на языке C++ с использованием технологии параллельных вычислений MPI. Проведен анализ зависимости скорости выполнения алгоритма от количества используемых вычислительных ядер. Сделана оценка эффективности разных способов перевода последовательного алгоритма в параллельный. Численные эксперименты проведены на кластере Дальневосточного федерального университета.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 11-01-98521) и Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России", (госконтракты 16.740.11.0456, 14.740.11.1000).

### **Литература**

А.Е. Ковтанюк, А.А. Сущенко, И.Б. Агафонов, В.В. Золотарев  
Интерполяционные методы в задаче улучшения качества гидроакустических изображений //Технические проблемы освоения мирового океана Материалы 4-й

Всероссийской научно-технической конференции, 3-7 октября 2011 г. – Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 284-288

А.Е. Ковтанюк, А.А. Сущенко, И.Б. Агафонов, В.В. Улучшение качества гидроакустических изображений методом двойной фильтрации // Подводные исследования и робототехника Научно-технический журнал о проблемах освоения мирового океана №2(12).2011, Дальнаука, 2011, С. 31-37

Алексеев Г.В. Обратные задачи излучения волн и теории сигналов. - Владивосток: Изд-во ДВГУ, 1991. – 140 с.

## **"ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РАЗБИЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ OPENFOAM"**

**Е.В. Авдеев, Самара, Самарский Государственный Аэрокосмический Университет имени академика С.П. Королёва (Национальный Исследовательский Университет), [j-avdeev@yandex.ru](mailto:j-avdeev@yandex.ru),  
В.А. Фурсов**

### **Постановка задачи**

Существует множество сеточных задач, которые в конечном итоге сводятся к решению систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Элементы матриц в этих методах формируются путем дискретизации исходных входных величин. От шага дискретизации зависит, насколько точным будет искомое решение.

Меру, определяющую связь между погрешностью решения СЛАУ и погрешностью входных данных, принято называть обусловленностью.

В работах [1], [2] для контроля степени обусловленности в задачах идентификации моделей систем формирования изображений, наряду с указанными выше, предложено применять так называемый показатель диагонального преобладания матрицы  $A$ :

$$\Phi(A) = \frac{(\sum a_{i,j})^2}{\sum a_{i,j}^2} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i(A)\right)^2}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2(A)}, \quad (6)$$

где  $a_{i,j}$  – элементы матрицы  $A$ , а  $\lambda_i(A)$ ,  $i = \overline{1, n}$  – собственные значения матрицы

А.

В настоящей работе приводятся результаты сравнительных исследований эффективности применения указанных мер мультиколлинеарности для оценки обусловленности и связанной с ней точностью решения задачи. Затем приводятся результаты экспериментов, полученных для задачи обтекания «тела Ахмеда» с применением пакета OpenFOAM (3).

По графикам зависимости  $\bar{\sigma}$  от количества ячеек  $n$  определяется наилучшее количество ячеек.

Таким образом, можно производить оценку обусловленности СЛАУ с помощью предварительной валидации входных данных с помощью  $\bar{\sigma}$ .

### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 11-07-12051-офи-м).

Работа выполнена при поддержке программы «Университетский кластер» – [www.unicluster.ru](http://www.unicluster.ru)

### **Литература**

Козин, Н.Е. Построение классификаторов для распознавания лиц на основе показателей сопряженности [Текст] / Н.Е. Козин, В.А. Фурсов // Компьютерная оптика. – 2006. – № 28. – С. 160-163.

Козин, Н.Е. Снижение размерности векторов признаков по критериям мультиколлинеарности [Текст] / Н.Е. Козин, В.А. Фурсов // Компьютерная оптика. – 2008. – Том 3, № 32. – С. 307-311.

OpenFOAM Documentation, <http://www.openfoam.org/docs> (Accessed Nov, 2012).

# **"ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС IOSO МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ДОСТУПА К СУПЕРКОМПЬЮТЕРАМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ"**

**Ю.И.Бабий, Москва, ЗАО "СИГМА Технология", директор**

*В докладе представлены возможности программного комплекса IOSO для организации расчетов с использованием суперкомпьютерных систем. Представлены практические примеры решения параметрических и оптимизационных задач проектирования технических систем с использованием смешанных вычислительных систем, организации облачных вычислений.*

В настоящее время создание современных и конкурентоспособных образцов техники и технически сложных систем не возможно без решения задач численного моделирования и последующего согласованием проектных параметров, влияющих на выбранные показатели эффективности этих объектов.

Решение данной задачи возможно при широком использовании в проектировании высокоэффективных современных программных средств численного моделирования и оптимизации, в том числе многодисциплинарной постановке. В то же время решение задач моделирования течений газа и жидкости, тепломассопереноса является ресурсоемкой вычислительной задачей и требует применения многопроцессорных вычислительных систем. Доступ к вычислительным ресурсам суперкомпьютеров требует от пользователей хорошего знания процедур организации доступа и использования его вычислительных ресурсов. Для организации проведения различных видов расчетов и простоты использования ресурсов суперкомпьютера разработан программный комплекс, включающий в себя высокоэффективные алгоритмы многокритериальной оптимизации IOSO и инструментарий многопользовательского создания и управления проектами.

Программный комплекс IOSO обладает следующими функциями:

- а) интеграционная платформа – интеграция различных расчетных моделей, расположенных в смешанной вычислительной среде и на различных

операционных системах (Windows, Linux/Unix). Позволяет организовать обмен данными между расчетными моделями, осуществлять управление запуском моделей, включая многопользовательский доступ к ним;

- б) автоматизация выполнения вычислительных задач - возможность выполнения параметрических и оптимизационных расчетов в режиме распараллеленных вычислений без необходимости взаимодействия с управляющим ПО суперкомпьютера;
- в) возможность интеграции в платформу методов оптимизации сторонних разработчиков;
- г) использование удаленных вычислений – возможность удобного доступа к вычислительным ресурсам, в том числе суперкомпьютерным системам возможности организации облачных вычислений.

В докладе представлены результаты оптимизационных исследований реальных современных сложных технических объектов в области авиастроения. Решения оптимизационных задач газовой динамики и теплопереноса с использованием современных средств моделирования – FlowVision, SolidWork и других.

Приведены примеры использования инструментария оптимизации IOSO для создания единого вычислительного пространства для решения инженерных задач с эффективным использованием смешанных вычислительных ресурсов, включая многопроцессорные кластера.



## "ВЕБ-СЕРВИС "МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР""

### Область научных интересов:

Компьютерная алгебра, матричные алгоритмы в коммутативных областях, параллельные вычисления, веб-сервис для символьных вычислений и параллельных символьных вычислений

Г.И. Малащонюк, Тамбов, ТГУ им. Державина, д.ф.-м.н., профессор кафедры математического анализа, заведующий лабораторией алгебраических вычислений, [malaschonok@gmail.com](mailto:malaschonok@gmail.com)

Целью проекта Mathpar является создание общедоступного математического веб-сервиса "Математический Партнер", который предназначен для решения стандартных математических задач. Реализация проекта может привести к качественно новому функционированию математического знания в обществе.

Проект размещен на сайте [mathpar.com](http://mathpar.com). Пользователь может ознакомиться с текущим состоянием проекта, руководством пользователя и страницами помощи с многими примерами. Работа поддержана РФФИ (гр. 12-07-00755).

## **"ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕРВИСОВ ПЕРМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАГНИТОДИНАМИКИ И КОГЕРЕНТНЫХ ПРОЦЕССОВ В НАНОМАГНИТНЫХ СТРУКТУРАХ"**

А.Г. Деменев, к.ф.-м.н., доцент, директор НОЦ, Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, [a-demenev@mail.ru](mailto:a-demenev@mail.ru),  
Т.С. Белозерова, П.В. Харебов, В.К. Хеннер, Е.К. Хеннер

Работа направлена на фундаментальную задачу развития и применения вычислительных и информационных технологий в моделировании многомасштабной молекулярной динамики многочастичных систем наноманитов. Новизна - параллельные алгоритмы многомасштабной молекулярной динамики, реализованные в виде суперкомпьютерного ПО и апробированные при математическом моделировании магнитодинамических когерентных эффектов, в т.ч. числе сверхизлучения, когда излучаемая мощность пропорциональная не числу

спинов, а их квадрату. Создана параллельная версия программы MagnetoDynamics-F — моделирующего программного кода Белозеровой Т.С. на языке Fortran, использующая интерфейс прикладного программирования OpenMP. Получены оценки ускорения и эффективности [1] реализованных алгоритмов на типичных задачах. Созданный параллельный код обеспечивает проведение исследований [2]: возможности регулирования времени переключения магнитного момента наноструктуры; роли фактора геометрии нанокристалла в свойствах сверхизлучения с 1-, 2- и 3-мерными объектами; частных решений системы уравнений для описания магнитодинамики наноточки, индуктивно связанной с пассивным резонатором; зависимости нелинейного решения от начальной ориентации магнитного момента с целью нахождения конфигураций, в которых сверхизлучение и радиационное затухание максимальны. Область приложения - разработки технологий получения нанодетекторов слабых излучений и создания компактных систем быстрой магнитной записи.

Работа выполнена с использованием облачных вычислительных сервисов и высокопроизводительного оборудования Научно-образовательного центра «Параллельные и распределенные вычисления» (НОЦ ПиРВ) Пермского государственного национального исследовательского университета (ПГНИУ) — программно-технический комплекс «Высокопроизводительный SMP-сервер» (приобретено по гранту РФФИ 10-01-05021) и суперкомпьютер «ПГУ-Тесла» (приобретен по проекту "Развитие центра коллективного пользования высокопроизводительными вычислительными ресурсами — НОЦ ПиРВ" Программы развития ПГНИУ). Работа была выполнена при поддержке грантов РФФИ 10-02-96023 - p\_урал\_a и 11-07-96007 - p\_урал\_a.

### **Литература**

1. Деменев А.Г. Анализ параллельных вычислительных алгоритмов: Учеб.-метод. пособие/ А.Г. Деменев; Перм. ун-т. — Пермь, 2007. 43 с.
2. Henner, V.K., Raikher, Yu.L., Kharebov, P.V. // Phys. Rev. B – 2011 – Vol. 84 – P. 144412-7.



## **"ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ МЕХАНИКА ЖИДКОСТЕЙ - ИНТЕГРИРОВАННОЕ АНАЛИТИЧЕСКОЕ, ЧИСЛЕННОЕ И ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ"**

**Область научных интересов:**

**Теоретическая и экспериментальная механика жидкостей**

**Ю.Д. Чашечкин, Москва, ФГБУН Институт проблем механики им.  
А.Ю.Ишлинского РАН, заведующий лабораторией,  
[chakin@ipmnet.ru](mailto:chakin@ipmnet.ru), [yulidch@gmail.com](mailto:yulidch@gmail.com)**

Развитие вычислительной техники и программирования способствует распространению технически сложных методов теоретического и экспериментального изучения течений. Методы символьных вычислений позволяют рассчитывать непрерывные симметрии сложных уравнений, сравнивать инвариантные свойства используемых на практике систем уравнений и обосновывать выбор фундаментальной системы, точечные симметрии которой полностью соответствуют «первым принципам» физики – базовым законам сохранения [1].

Дальнейшие аналитические и численные исследования фундаментальной системы проводятся с учетом условия совместности уравнений, определяющего ранг нелинейной системы, порядок ее линеаризованной части и степень характеристического (алгебраического) уравнения. Приводится классификация компонент периодических течений, составляющих полное решение системы в приближении «малой диссипации», которое выполняется для широкого класса жидкостей в технических и природных условиях [2].

Методами теории сингулярных возмущений исследованы свойства решений, описывающих распространение линейных и слабонелинейных волн (инерционных, внутренних и поверхностных гравитационных, акустических, гибридных) и сопутствующих тонкоструктурных компонент в неоднородных вращающихся

средах. Обсуждаются результаты перехода к приближению однородной жидкости. Полученные полные решения учитываются при разработке численных моделей расчета динамики и структуры спутных стратифицированных течений и внутренних волн. Результаты расчетов сравниваются с данными высокоразрешающего лабораторного моделирования внутренних волн и сопутствующих тонкоструктурных компонент в непрерывно стратифицированных средах [3-5].

Обсуждаются условия наблюдаемости физических параметров течений, а также полноты лабораторного и численного эксперимента.

### **Литература.**

1. Байдулов В.Г., Чашечкин Ю.Д. Инвариантные свойства систем уравнений механики неоднородных жидкостей // Прикладная математика и механика. 2011. Т. 75. Вып. 4. С. 551-562.
2. Чашечкин Ю.Д. Иерархия моделей классической механики неоднородных жидкостей // Морской гидрофизический журнал. 2010. № 5. С. 3-10.
3. Кистович Ю.В., Чашечкин Ю.Д. Линейная теория распространения пучков внутренних волн в произвольно стратифицированной жидкости // ПМТФ, 1998. Т. 39. № 5. С. 89-98.
4. Paoletti M.S., Swinney Harry L. Propagation and evanescent internal wave in a deep ocean model // Journal of Fluid Mechanics, 2012. V. 706, P.571–583.
5. Бардаков Р.Н. , Васильев А.Ю., Чашечкин Ю.Д. Расчет и измерения конических пучков трехмерных периодических внутренних волн, возбуждаемых вертикально осциллирующим поршнем // Механика жидкости и газа. 2007. № 4. С. 117-133.

## "ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРХЗВУКОВЫХ ГАЗОВЫХ НЕДОРАСШИРЕННЫХ СТРУЙ В ПАКЕТЕ OPENFOAM С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ"



### Область научных интересов:

- 1) Сверхзвуковые газовые струи: эксперимент, теория, численное моделирование;
- 2) Газодинамика и теплофизика высокоточных процессов сушки и нагрева;
- 3) Газодинамика, термодинамика и аэрооптика мощных химических лазеров;
- 4) Оптика атмосферы и дистанционное лазерное зондирование атмосферы.

А.В. Савин, Санкт-Петербург, д.т.н., профессор,  
БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова,  
ЗАО "Концерн "Струйные технологии" ",  
директор по развитию, [izooandrey@inbox.ru](mailto:izooandrey@inbox.ru),  
П.Г.Смирнов

Сверхзвуковые газовые струи – это один из интереснейших объектов для численных экспериментов. Исследования таких струй сохраняют большое прикладное значение [1]. Кроме того, в последнее время появился интерес фундаментального и теоретического характера к ряду необычных явлений, имеющих место в таких струях [2, 3].

В последнее время появились новые возможности, связанные с развитием программных инструментов с открытым кодом (Salome-OpenFOAM-Paraview [4]) и облачных технологий параллельных высокопроизводительных вычислений (программа «Университетский кластер» [5]). Это открывает реальную возможность для небольших творческих групп и для отдельных исследователей вести работы по численному моделированию струй на высшем мировом уровне. Однако не существует стандартной такого моделирования. В каждом случае необходимо корректно проводить процедуры верификации и валидации.

В настоящей работе приводятся результаты моделирования осесимметричных недорасширенных сверхзвуковых турбулентных струй с числом Маха  $Ma=3$  и

степенями нерасчетности  $n=0.3-2.3$  на основе уравнений Рейнольдса в пакете OpenFOAM с использованием двух моделей турбулентности:  $k-\epsilon$  и  $k-\epsilon$  SST. Проводится сравнение структуры первой «бочки» с экспериментальными данными [6]. Задачи работы: определить, какой из решателей OpenFOAM оптимален для моделирования нерасчетных сверхзвуковых струй; найти наиболее корректный способ задания граничных условий; отработать технологию получения стационарного численного решения.

Для расчетов используется геометрия, соответствующая экспериментальной установке ИТПМ СО РАН [6]: из конического сопла с расчетным числом Маха 3.005 и углом полураствора  $15^\circ$  в окружающую среду с давлением 1.008 бар и температурой 294К истекает воздух с температурой торможения 287К. Расчеты проведены в 2D осесимметричной постановке для трех значений степени нерасчетности: 0.303, 0.784, 2.314 с помощью решателей sonicFoam, rhoCentralFoam и dbnsFoam. Структуры первой бочки сравниваются с экспериментальными данными [6], а также с результатами численного моделирования, полученными с использованием коммерческих кодов.

Основные результаты:

1. Отработана методика моделирования сверхзвуковых струйных течений с использованием стандартных решателей в составе пакета OpenFOAM: конвертация расчетной сетки, задание граничных условий и параметров схем дискретизации, запуск параллельного решения на локальном компьютере и кластере web-лаборатории UniHUB, изменение граничных условий в процессе расчета, получение сходящегося стационарного решения и анализ результатов.

2. Проведено сравнение с экспериментом структур первой бочки струи, полученных в трех решателях OpenFOAM. Дана характеристика особенностей решателей применительно к моделированию сверхзвуковых струй, даны рекомендации по выбору решателя.

3. Проведено сравнение решений, полученных с использованием двух моделей

турбулентности:  $k-\epsilon$  и  $k-\omega$  SST. Даны рекомендации по выбору модели турбулентности.

4. Исследована сходимость решения по сетке.

Таким образом, полученные результаты позволяют установить основные положения методики моделирования сверхзвуковых нерасчетных струйных течений в среде OpenFOAM с использованием параллельных облачных вычислений, а также обеспечить валидацию предлагаемой методики.

### **Литература**

1. Сизов А.М. Газодинамика и теплообмен газовых струй в металлургических процессах, М.: Металлургия, 1987 г. , 256 стр.
2. Савин А.В. Соколов Е.И. Фаворский В.С. Шаталов И.В. Влияние разреженности на процесс нестационарного взаимодействия сверхзвуковой недорасширенной струи с перпендикулярной преградой. ПМТФ, 1991, №6
3. Савин А.В., Соколов Е.И. Вычислительное моделирование образования стационарных циркуляционных зон в недорасширенных сверхзвуковых струях, истекающих в затопленное пространство из сопла с центральным телом. Изв. РАН, Механика жидкости и газа (готовится к публикации).
4. [www.salome-platform.org](http://www.salome-platform.org), [openfoam.org](http://openfoam.org), [www.paraview.org](http://www.paraview.org)
5. <http://unihub.ru>
6. V. I. Zapryagaev; A. N. Kudryavtsev; A. V. Lokotko; A. V. Solotchin; A. Hadjadj. An Experimental and Numerical Study of A Supersonic-Jet Shock-Wave Structure

## **"ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ OPENFOAM ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ В УНИВЕРСИТЕТЕ РОСТОКА"**

**И.Шевчук, Universitat Rostock,**

**аспирант кафедры численного моделирования университета Росток,**

**[ivan.shevchuk@uni-rostock.de](mailto:ivan.shevchuk@uni-rostock.de), [ivan.shevchuk@gmail.com](mailto:ivan.shevchuk@gmail.com)**

**Н.В. Корнев**

Рассматриваются основные направления исследований, проводимых на данный момент на кафедре численного моделирования Ростокского университета.

Представлены основные результаты, полученные при помощи пакета OpenFOAM по каждому из направлений.

## **"ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ СУДОСТРОЕНИЯ"**

**И.В. Ткаченко, Санкт-Петербург, СПбГМТУ, доцент,**

**[igor.v.tkachenko@mail.ru](mailto:igor.v.tkachenko@mail.ru),**

**А.О. Дукарский, Н.В. Трякин, С.И. Чепурко**

Современное судостроение является высокотехнологической отраслью промышленности, использующей последние достижения различных областей науки и техники. К одним из наиболее востребованных технологий относятся высокопроизводительные вычисления, которые используются при создании новой морской техники.

Широкое применение высокопроизводительные вычисления нашли в задачах корабельной гидродинамики и строительной механики корабля. Востребованность подобных технологий в гидродинамике корабля обусловлена сложностью моделирования обтекания корпусов судов потоком вязкой несжимаемой жидкости. Течение носит турбулентный характер, масштабы вихрей которого варьируются от сотен микрон до нескольких метров. Возникает необходимость моделирования разномасштабных эффектов. С другой стороны, на границе раздела морская среда - воздух формируются корабельные волны. Для корректного их описания (разрешения интерфейса) приходится прибегать к многомиллионным расчетным сеткам. Возникает необходимость использования суперкомпьютерной техники и облачных сервисов.

В докладе обсуждаются опыт построения многомиллионных сеток на многопроцессорных системах на базе платформы «UinHUB», результаты расчетов обтекания жидкостью судовых корпусов и их элементов, возможности моделирования волновых движений жидкости с помощью открытых программных пакетов OpenFOAM и FlowFES.



## "МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОЙ СМЕСИ С МЕЖФАЗНЫМ МАССООБМЕНОМ И УЧЕТОМ СЖИМАЕМОСТИ СРЕД СРЕДСТВАМИ OPENFOAM"

### Область научных интересов:

Пространственное моделирование сопряженных тепло-массообмена и механики конструкций, разработка численных и расчетных моделей, параллельные вычисления, программирование

М.В. Крапошин, Москва, РНЦ КИ, начальник лаборатории,

[os-cfd@yandex.ru](mailto:os-cfd@yandex.ru),

С.А. Калиш, А.М. Тагиров

В докладе рассматривается процесс реализации новой физической модели течения средствами OpenFOAM — движение неравновесной двухфазной сжимаемой смеси с межфазным тепло- и массообменом (конденсацией и испарением за счет изменения как температуры, так и локального давления среды) в широком диапазоне чисел Маха. Математическая модель представляет собой описание течения гомогенной смеси (для вычисления принадлежности к одной из двух фаз используется объемное содержание тяжелой фазы) с общими для обеих фаз полями скорости, давления и температуры, а также различными плотностями, теплофизическими свойствами и уравнениями состояния. Модель базируется на существующих «решателях» OpenFOAM — compressibleInterFoam (течение двухфазной изотермической сжимаемой среды) и interPhaseChangeFoam (течение двухфазной несжимаемой изотермической среды с массообменом за счет изменения локального давления — кавитации) и включает в себя следующие доработки, расширяющие эти приложения до более общего случая:

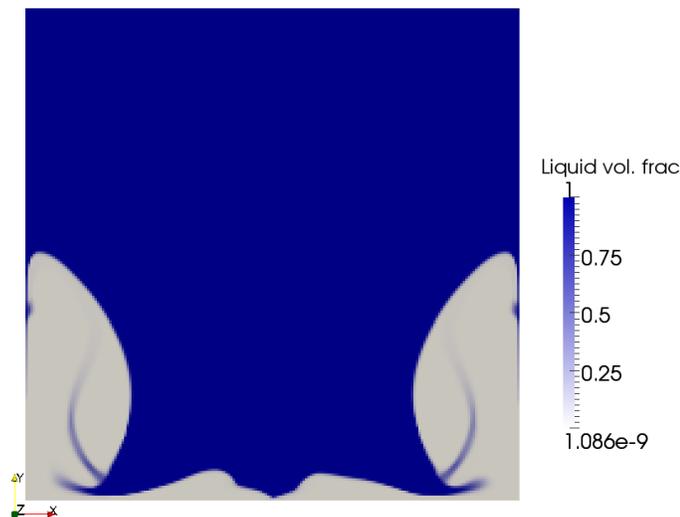
- Перенос температуры (баланс энергии) каждой из фаз, включая межфазный баланс и работу сжатия/расширения.
- Влияние давления и температуры среды на плотность фазы.
- Учет различия в уравнении состояния при рассмотрении двух различных типов сред (слабосжимаемой жидкости и сжимаемого идеального газа).

- Введено различие теплофизических свойств каждой из фаз.

Вывод модели строится на рассмотрении баланса массы, импульса и энергии для каждой из фаз с последующим объединением и получением дифференциальных соотношений для смеси в целом. Приводится вывод уравнения для давления как для случая без влияния температуры среды на плотность каждой из фаз, так и с учетом теплового расширения.

В завершении рассматриваются следующие тестовые задачи прикладного и фундаментального характера с целью оценки адекватности разработанной модели:

- Кипение жидкости в камере с подогревом нижней стенки (на рисунках показаны мгновенные значения поля объемного содержания воды).
- Объёмное вскипание перегретой среды.
- Кавитация при продольном обтекании цилиндрического тела со сферическим наконечником.
- Течения при смешении пара и воды в каналах простой геометрии.
- Моделирование вибрационного состояния смесителя при «впрыскивании» воды ( $T=20^{\circ}\text{C}$ ) в околосвуковой поток острого пара.



$T = 0.30$  сек. 0 — пар, 1 - вода

# **"О МЕТОДАХ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИИ РАСЧЕТНОЙ ОБЛАСТИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ГАЗОДИНАМИКИ"**

**С. Зинкевич, МГТУ им. Баумана, М.Д. Калугин, ИСП РАН, М.В. Крапошин, РНЦ КИ, О.И. Самоваров, ИСП РАН, С.В. Стрижак, МГТУ им. Баумана, Ю. Тихонова, ИСП РАН, Г.А. Щеглов, МГТУ им. Баумана, А.С. Епихин, МГТУ им. Баумана**

В настоящее время особенный интерес вызывают задачи поиска такой формы проточной части технических устройств, которая обеспечивала бы оптимальность выбранных критериев оценки работы энергетического оборудования с газодинамической точки зрения. Такими критериями могут быть, например: коэффициенты лобового сопротивления и подъемная сила летательного аппарата, величина гидравлического сопротивления участка сети со сложной схемой течения, развиваемый насосом напор и пр. Для решения таких задач организуется циклический процесс перебора форм проточной части (или внешней поверхности изделия) сопровождаемый решением газодинамической задачи. Целью этого процесса перебора является направленный поиск таких геометрических параметров, определяющих расчетную область, при которых рассчитанные заранее выбранным способом критерии ( $C_x$ ,  $C_y$ , перепад давления и пр.) достигают оптимального значения. Иными словами, требуется решить задачу оптимизации векторной функции (в общем случае) многих переменных. Вектором значений такой функции являются значения критериев, аргументами — набор геометрических характеристик, определяющих форму расчетной области, а вычисление значения функции состоит в интегрировании уравнений, описывающих движение потока.

Программные комплексы, решающие подобные задачи обязательно включают в себя следующие компоненты:

1. Модуль изменения расчетной области (в зависимости от заданных значений параметров геометрии).
2. Модуль решения газодинамической задачи.
3. Модуль организации поиска оптимума (глобального экстремума функции).

Обычно при разработке программных комплексов основное внимание уделяется

частям 2 и 3 из вышеприведенного списка. Вопросы же перестроения геометрии, которые могут оказаться решающими при поиске оптимума остаются «за кадром», несмотря на сложность их технической реализации.

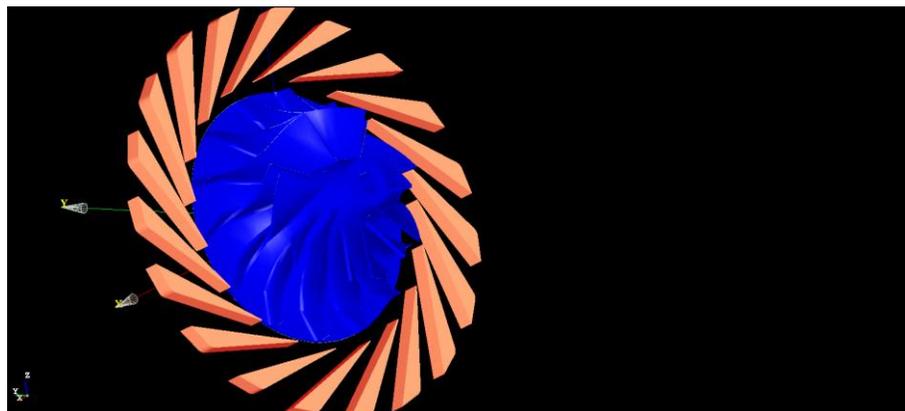


Рисунок 1. Крыльчатка и лопатки диффузора компрессора

Авторы предлагают ввести понятие параметрической геометрии, отделив метод и процесс получения конкретных реализаций формы расчетной области от геометрии в базовом варианте. Такое разделение позволяет сформулировать инженерные требования к постановке задачи и ввести следующую классификацию параметрической геометрии:

- **интерполяционная**, получаемая путем изменения координат некоторого множества точек на поверхности расчетной области, в то время как положение остальных вершин пересчитывается по некоторой общей зависимости.
- **инженерно-аналитическая**, в которой полностью определен метод построения расчетной области в зависимости от заданных параметров конструкции, имеющих физический смысл (например, диаметр канала, форма канала, число лопаток в турбине и др.).

В докладе рассматриваются положительные и отрицательные стороны обоих подходов, приводятся примеры реальных устройств, для которых в настоящее время решается задача оптимизации с использованием вышеуказанных методов параметризации геометрии расчетной области (турбокомпрессор (см. рисунок), гиперзвуковой летательный аппарат, струйный насос).

# "ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБТЕКАНИЯ ТЕЛ В ЗАКРУЧЕННОМ ДОЗВУКОВОМ ПОТОКЕ ГАЗА"

С.В. Стрижак, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ведущий электроник,  
Тел. 8-916-6839754

Многие технические устройства (диагностические приборы, зонды, воздушные средства, летательные аппараты, органы управления на БПЛА и ТСВП, грузы на внешней подвеске вертолета) функционируют в закрученном турбулентном потоке газа. Особенностью обтекания таких тел является существенно неравномерное поле возмущенных скоростей, наличие скошенного потока и рециркуляционных зон, многофазность среды, ограниченное пространство. Эти факторы могут приводить к нежелательным режимам эксплуатации технического устройства (вибрации, явление автоколебаний). Известно, что существуют различные типы вихрей: свободный (потенциальный), вынужденный (твердотельное вращение), комбинированный (вихрь Ренкина).

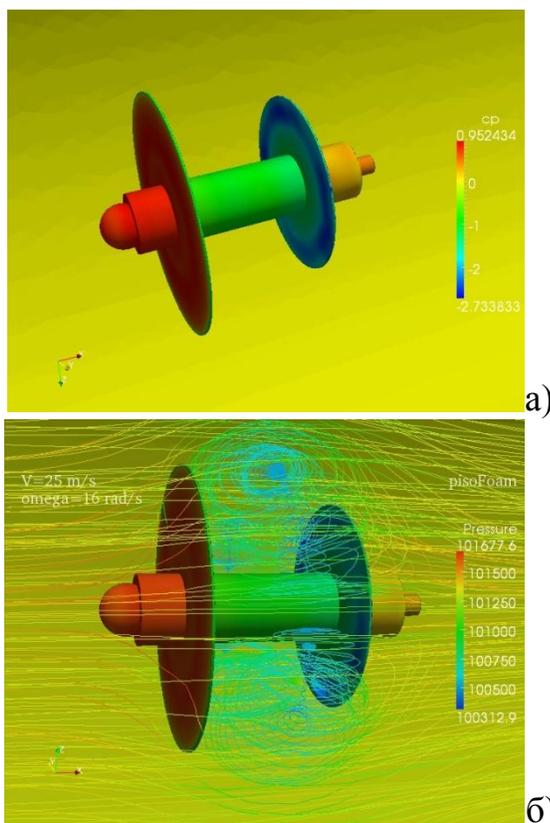


Рисунок 1. Расчет обтекания диагностического комплекса «Сканлайнер»:

а) коэффициент давления  $C_p$ ; б) значения поля давления и линии тока

Подобные вихри характеризуются тангенциальной и угловой скоростью, циркуляцией и завихренностью, профилем давления. В работе рассматриваются возможности открытых пакетов для моделирования обтекания различных тел при наличии вихрей с целью определения оптимальной формы, изучению структуры течения. На примере расчета обтекания зондов дозвуковым закрученным потоком продемонстрированы возможности пакета OpenFOAM для решения практических задач. Обсуждаются вопросы использования существующих и создания новых решателей, разработки необходимых граничных условий и модификации моделей турбулентности для URANS, LES. В результате расчета получены значения АДХ, расчетные невязки, коэффициент давления, значения поля давления и линии тока (рис. 1). Выбраны оптимальные конструктивные параметры зонда. Пакет Paraview использовался для визуализации результатов расчета. Расчеты проводились с использованием вычислительных ресурсов web-лаборатории UniHUB.



## **"СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТКРЫТОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОЛЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЖАРОВ"**

**Область научных интересов:**

**Математическое моделирование теплообмена в химически реагирующих системах**

**И.Я. Шейнман, к.т.н., доцент,  
Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет,  
[irina.sheinman@yandex.ru](mailto:irina.sheinman@yandex.ru),  
А.С. Цой, А.Ю. Снегирев**

Полевое моделирование динамики пожара – практически важная, мультфизичная и ресурсоёмкая задача. В последнее время для решения этой задачи все чаще применяется свободно распространяемое программное обеспечение с открытым кодом, при этом наибольшую известность получили два программных продукта: специализированный пакет FDS [1] и решатель FireFOAM [2], разработанный на базе объектно-ориентированной библиотеки OpenFOAM.

Отметим, что библиотека OpenFOAM была выбрана в качестве основного средства для решения задач механики сплошной среды при создании Web лаборатории UniCFD ресурса Unihub.ru, FDS также доступен на этом ресурсе. В представленной работе выполнен сравнительный анализ возможностей обеих программ на примере решения задачи о моделировании установившегося естественно-конвективного диффузионного турбулентного пламени в открытом пространстве над круглой пористой горелкой. Постановка задачи соответствует условиям эксперимента [3]. Для моделирования турбулентного течения газовой смеси применялся метод крупных вихрей (LES).

Для обеих программ рассчитанные вертикальные и радиальные распределения осредненной температуры и вертикальной компоненты скорости хорошо согласуются с экспериментальными данными.

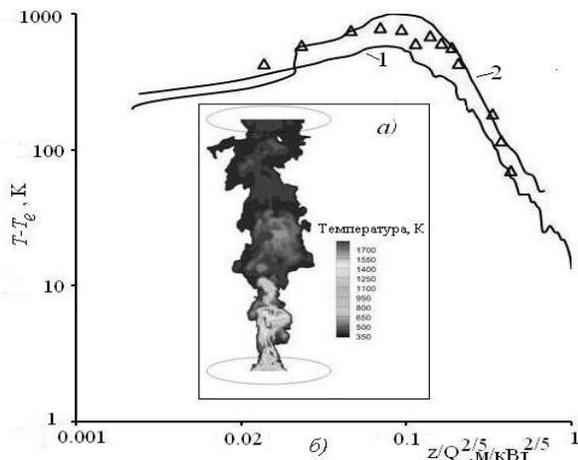


Рисунок 1. а) Мгновенное поле температуры. б) Распределение осредненной температуры вдоль вертикальной оси для пламени мощностью 37,9 кВт. 1- расчет FDS, 2 – расчет, FireFOAM, маркеры – эксперимент [3]

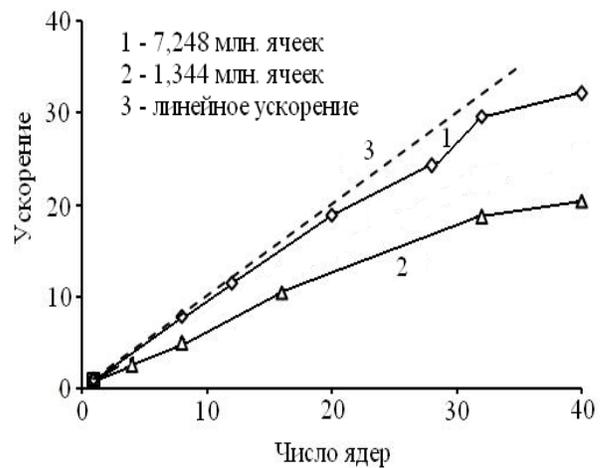


Рисунок 2. FireFOAM, зависимость ускорения от числа ядер при оптимальном размещении процессов по узлам кластера

Энергетические спектры крупномасштабных пульсаций лучше описывается в расчетах с помощью FireFOAM. Так же была исследована масштабируемость обеих программ [4], получены зависимости ускорения и эффективности параллельных

вычислений при различном размещении процессов на узлах кластера. Установлено, что для FireFOAM на расчётных сетках достаточно большой размерности (7.2 млн. ячеек) ускорение приближается к линейному, а эффективность достигает 80%.

## **Литература**

1. McGrattan K. Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide, vols. 1 and 2. [Текст] / К. McGrattan, R. McDermott, S. Hostikka, J. Floyd // NIST Special 724 Publication 1019-5 – 2010, 108 P
2. Wang Y. Large eddy simulation of fire plumes [Текст] / Y. Wang, P. Chatterjee, J. de Ris // Proceedings of the combustion institute. – 2011. – Vol. 33, №2. – P. 2473-2480
3. Gengembre, E. Turbulent diffusion flames with large buoyancy effects [Текст] / E. Gengembre, P. Cambray, D.Karmed, J.C. Bellet // Combustion Science and Technology. – 1984. –Vol. 41. – P. 55-67
4. Шейнман И.Я. Масштабируемость открытого программного обеспечения для полевого моделирования пожаров [Текст] / И.Я. Шейнман, Н.Н. Шабров, В.А. Киев, А.Ю. Снегирев, А.С. Цой // Научно-технические ведомости СПбГПУ, серия "Информатика. Телекоммуникации. Управление." – 2012. – том 157, №5– С. 77-84.

## **"МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОТУШЕНИЯ РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ С ПОМОЩЬЮ FDS: ОПЫТ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ"**

**А.С. Цой, Санкт-Петербург,  
Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет,  
аспирант, [anna-tsoy@list.ru](mailto:anna-tsoy@list.ru)  
А.Ю. Снегирев, И.Я. Шейнман**

Свободно распространяемый компьютерный код FDS (Fire Dynamics Simulator) [1] был разработан в Национальном институте стандартов и технологий США (NIST) для моделирования динамики пожара.

Математическая модель, заложенная в код, позволяет моделировать турбулентное горение и распространение дыма при пожаре, а также срабатывание систем пожаротушения и подавление пламени распылённой водой. Облачные вычисления открывают новые возможности для более широкого применения FDS в

инженерной практике.

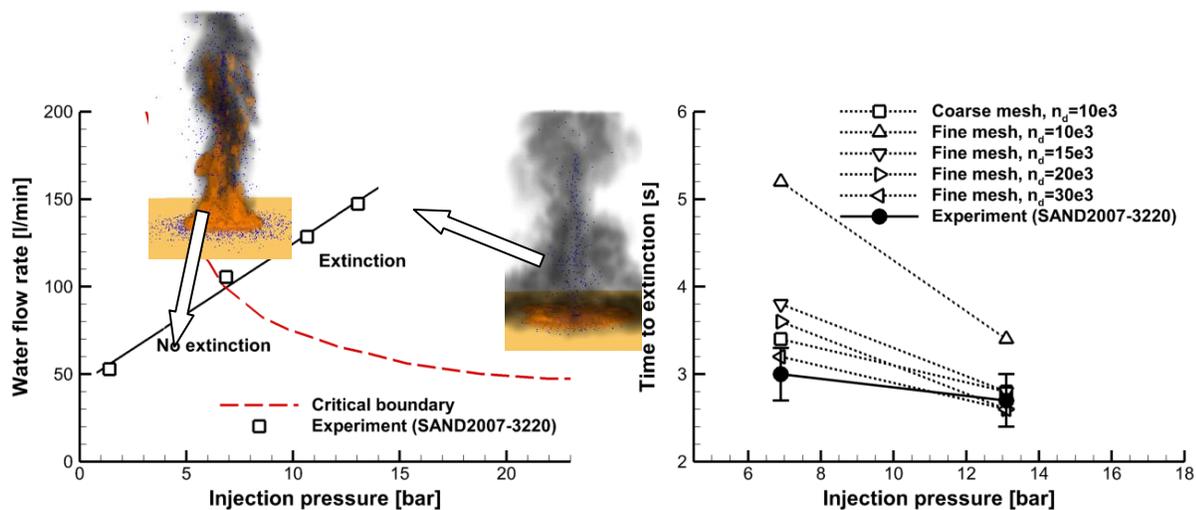


Рисунок 1. Моделирование подавления пламени [4]: а) – критические условия подавления пламени и результаты экспериментов (визуализация пламени с помощью FDS-Smokeview); б) – измеренное и расчётное время подавления пламени ( $n_d$  – количество вычислительных частиц, выпускаемых за 1с).

Web-лаборатория UniCFD технологической платформы Unihub.ru программы «Университетский кластер» предоставляет своим пользователям возможность использовать открытый компьютерный код FDS. Для эффективного применения данного инструмента необходима всесторонняя апробация модели, которая позволит оценить достоверность получаемых результатов.

В данной работе для апробации модели пожаротушения проведена серия расчётов [5], соответствующих условиям экспериментов [2-4]. На первом этапе проверяется способность модели воспроизводить распределение капель по размерам в турбулентной газок капельной струе [2]. Далее в работе исследуется влияние распылённой воды на пламя и восходящие потоки продуктов сгорания. Сравнение результатов с экспериментом по тушению пламени над газовой горелкой (диаметр 0.18 м, тепловая мощность 15 кВт) [3] и над поверхностью жидкого горючего (2 м, 2.5 МВт) [4] демонстрирует способность модели верно определять критический расход воды, необходимой для подавления пламени (рис.1, а) и время полного подавления пламени (рис. 1, б). Согласие с экспериментом достигается при надлежащем выборе расчётной сетки и достаточно большом количестве

вычислительных частиц, имитирующих капли.

В работе выявлен ряд недостатков текущей версии модели FDS. В частности, модель не позволяет учитывать зависимость скорости распространения фронта пламени по поверхности горючего материала от интенсивности орошения поверхности.

### **Литература**

1. McGrattan, K., McDermott, R., Hostikka, S., and Floyd J. Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide, NIST Special Publication 1018-5, Vol. 1-4, 2010.
2. Yoon S.S., Hewson J.C., DesJardin P.E., Glaze D.J., Black A.R., Skaggs R.R. Numerical modeling and experimental measurements of a high speed solid-cone water spray for use in fire suppression applications// Int. J. Multiphase Flow 30 (2004) 1369–1388
3. Schwille, J.A., Lueptow, R.M. The reaction of a fire plume to a droplet spray, Fire Safety Journal, 41 (2006) 390–398.
4. Blanchat, T.K., Nichols, R.T., Figueroa, V.G. Benchmark Enclosure Fire Suppression. Experiments – Phase 1 Test Report. Sandia Report SAND 2007-3220, 2007.
5. Цой А.С., Снегирёв А.Ю. Режимы и механизмы пожаротушения распылёнными огнетушащими жидкостями: численное моделирование. Труды Седьмой Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы обеспечения взрывобезопасности и противодействия терроризму» (Санкт-Петербург, Университет ГПС МЧС РФ, 18-19 апреля 2012 г.), 2012, с. 55-67

### **"ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В РАСЧЕТАХ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ВИХРЕВОМ ОБТЕКАНИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ"**

**А.С. Епихин, МГТУ им. Н.Э. Баумана, аспирант,**

**[andy\\_e@bk.ru](mailto:andy_e@bk.ru),**

**В.Т.Калугин**

Работа посвящена расчету вихревых течений с использованием облачных вычислений WEB лаборатории UniHUB. Были проведены серии тестовых расчетов

на модельных задачах, а также осуществлено моделирование обтекания аэродинамических управляющих поверхностей, и их влияние на стабилизирующие органы управления летательного аппарата. Расчет проводился с использованием открытой интегрируемой платформы для численного моделирования задач механики сплошных сред – OpenFOAM. Пакет содержит поддержку запуска расчётов на кластере через MPI. Кроме приложений, выполняющих непосредственные вычисления, OpenFOAM содержит вспомогательные программы для подготовки сеток и постобработки результатов. Использовался решатель pisoFOAM, позволяющий определить параметры нестационарного несжимаемого турбулентного потока, построенный на основе алгоритма PISO для связи уравнения скорости и давления. Математическая модель в решателе pisoFoam основана на решение осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, которые замыкаются с помощью различных моделей турбулентности. В данной работе применялась модель турбулентности LES (моделирование больших вихрей).

Основу расчетного метода составляет метод контрольного объема. Расчетная схема имела второй порядок точности по пространству и времени.

Для определения конвективного члена в уравнениях выбиралась схема Gauss Gamma, для расчета диффузионного члена использовалась схема Gauss linear corrected, для величин градиента скорости и давления схема Gauss linear. Применялись неструктурированные сетки на базе тетраэдров. Решения полученных СЛАУ осуществлялось методом бисопряженных градиентов PBiCG (Preconditioned Biconjugate Gradient) с предобуславливателем DILU (Diagonal Incomplete LU). Каждый расчет проводился на 32 ядрах вычислительного сегмента МСЦ РАН при поддержке программы «Университетский кластер» WEB лаборатории UniHUB.

Тестовыми модельными задачами обтекания являлись: а) цилиндрическое тело, б) правильная треугольная призма. В ходе проведения данных расчетов были определены минимальные требования к сетке, получены вихревые структуры обтекания и значения аэродинамических коэффициентов. Результаты расчетов

удовлетворительно согласуются с экспериментальными работами.

На основании этих данных был выполнен расчет и проведена оценка возмущающего воздействия тормозного щитка на киль летательного аппарата. Для снижения динамических нагрузок был предложен вариант тормозного щитка с перфорацией. Проведено сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными, получено приемлемое для инженерной практики совпадение результатов.

**"ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЕМНИКОВ ВОЗДУШНЫХ ДАВЛЕНИЙ"**  
**М.М. Дубинина**, магистрант кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы», инженер-конструктор расчетно-теоретического отдела ОАО "УКБП", [masha\\_dubinina.73@mail.ru](mailto:masha_dubinina.73@mail.ru),  
**М.Ю. Сорокин**, к.т.н., доцент каф. «ИВК» УлГТУ, начальник отдела ОАО "УКБП", автор ряда статей и изобретений,  
Тел. 8(8422) 76-10-80, [rto@ukbp.ru](mailto:rto@ukbp.ru), [minich80@mail.ru](mailto:minich80@mail.ru)

Для измерения высотно-скоростных параметров летательных аппаратов (ЛА) необходима информация о полном и статическом давлениях набегающего потока воздуха. Задача восприятия указанных давлений решается с помощью специальных устройств – приемников воздушных давлений (ПВД). При установке ПВД на фюзеляже ЛА может появиться дополнительная составляющая погрешности, которая компенсируется путем введения компенсационного контура, который оказывает геометрическое воздействие на воздушный поток.

В аэродинамической лаборатории ОАО «УКБП» проведены экспериментальные исследования ПВД с компенсационным контуром в виде гофрированной поверхности. В одном случае отбор давления производился с помощью 8 отверстий диаметром 1.5 мм, расположенных по окружности профилированного участка, в другом случае отбор производился щелью шириной 0.5 мм, имеющей вид кругового сектора с углом 90°. Эксперименты проводились в диапазоне скоростей от 50 до 200 км/ч.

Также проведено математическое моделирование спектра обтекания рассматриваемого приемника с использованием FlowVision и OpenFoam на базе

технологической платформы UniHUB. В процессе моделирования использовался решатель SimpleFoam – стационарная программа решения для турбулентного течения неньютоновой жидкости. При вычислении не учитывались шероховатость поверхности и крепление приёмника к поверхности ЛА. Исходными данными для математического моделирования являлись скорость потока, а также плотность воздуха в соответствии с проведенными экспериментами. Использовалась тетраэдральная сетка с призматическим слоем вблизи поверхности приемника для учета пограничного слоя. В целом параметр  $y^+$  не превышал 1, что является показателем правильного описания процессов в пограничном слое. Для сравнения выбраны модели турбулентности: SpalartAllmaras, kOmegaSST.

Реализованные модели турбулентности в различных программах с использованием различных сеток дают одинаковый результат, который также близок к результатам экспериментальных исследований. В целом показано, что часть экспериментальных исследований при проектировании приемников воздушных давлений может быть заменена математическим моделированием с использованием либо коммерческих программ типа FlowVision либо программ с открытым исходным кодом типа OpenFOAM.



## **"ТЕСТИРОВАНИЕ ПАКЕТА OPENFOAM НА ЗАДАЧАХ МЕЖДУНАРОДНОЙ ОТКРЫТОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ERCOFTAC"**

**Область научных интересов:**

**Построение пространственных сеток, численное моделирование задач гидродинамики, SALOME**

**С.А. Калиш, НИЦ "Курчатовский институт", н.с., [kalishser@gmail.com](mailto:kalishser@gmail.com),  
М.В. Крапошин, А.М. Тагиров**

Целью работы являлась проверка математических моделей кода OpenFOAM. В работе были рассмотрены несколько задач из открытой базы данных ERCOFTAC — European Research Community on Flow, Turbulence and Combustion Database (Европейское Сообщество Исследования Течений, Турбулентности и Горения), в

которой содержатся результаты экспериментов для различных случаев течения (90 наименований). Некоторые эксперименты являются физическими с измерением локальных характеристик потока, другие — численными (LES, DNS).

Среди всего набора задач ERCOFTAC были отобраны следующие характерные задачи:

- Моделирование переходного пограничного слоя на поверхности плоской пластины.
- Моделирование течения в трубе квадратного сечения с изгибом.
- Моделирование пограничного слоя и спутного следа крыла.
- Моделирование течения при плавном сужении и расширении потока.
- Моделирование течения при внезапном расширении.
- Моделирование обтекания выступа над поверхностью.

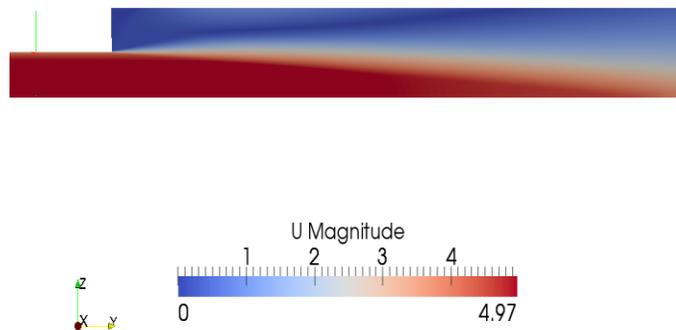


Рисунок 1. Распределение модуля скорости при течении жидкости в канале с резким расширением.

На рисунке 1 показано распределение поля скоростей полученное при моделировании течения в канале с резким расширением.

Во всех случаях получено удовлетворительное согласование расчетных и экспериментальных данных. Наибольшее отличие наблюдалось в профилях нормальных компонент скорости, которое может объясняться как различиями в

постановке задачи, так и выбором замыкающих моделей.



## **"АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ, РЕАЛИЗОВАННЫХ В ПАКЕТЕ OPENFOAM"**

**Область научных интересов:**

**Вычислительная гидродинамика, вихревые методы, теория устойчивости, параллельные вычисления, компьютерная алгебра**

**И.К. Марчевский, к.ф.-м.н., доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
[iliamarchevsky@mail.ru](mailto:iliamarchevsky@mail.ru),  
В.В. Пузикова**

Основной объём вычислительной работы при численном моделировании технических систем, физических явлений и технологических процессов, как правило, приходится на решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), возникающих при дискретизации соответствующих дифференциальных уравнений. Рассмотрены методы решения СЛАУ, реализованные в пакете OpenFOAM. Для выбора оптимального в смысле вычислительной эффективности итерационного метода помимо скорости сходимости предлагается учитывать и другие характеристики: число обусловленности, коэффициент сглаживания, показатель «затратности».

## **"ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОСТАНОВОК ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА"**

**Я.А. Гребенюк, Дальневосточный Федеральный университет  
(г. Владивосток), студент, [19vov91@gmail.com](mailto:19vov91@gmail.com)**

В практической деятельности нередко возникают задачи «наилучшего» размещения центров обслуживания в городах и регионах. Цель таких задач – разместить некоторые объекты так, чтобы минимизировать максимальное из расстояний (или время проезда) от этого объекта до самой отдаленной точки города. Данный класс задач называют минимаксными задачами размещения.

Целью данной работы является исследование подходов к решению задач

размещения инфраструктурных объектов на сетях с помощью теории решения экстремальных задач на графах, в частности, решение модельной задачи на примере размещения начальной остановки общественного транспорта в городе Владивосток.

Ставится ряд задач по организации перемещения студентов и преподавателей ДВФУ с материка в кампус университета. Одной из задач является расположение места остановки автобусов для перевозки пассажиров.

Для решения задачи нахождения остановки общественного транспорта (центрального пункта сбора пассажиров) необходимо представить сеть дорог города в виде графа, где вершинами будут являться перекрестки, соединяющиеся дугами – в нашем случае дорогами. Для постановки задачи необходимо определить вес дорог, равный произведению длины пути между соответствующими перекрестками и количества жителей, проживающих на данном отрезке. Остановки могут располагаться не только в вершинах, но и на дугах.

В качестве основы для программной реализации выбран модифицированный алгоритм Хакими. Программа выполнена на языке C++.

Алгоритм Хакими требует решения задачи поиска минимального расстояния до самой отдаленной вершины для каждого ребра и выбора точки, соответствующей минимальному расстоянию среди полученных. В силу того, что нахождение ответа для каждого ребра происходит независимо, решено выполнять их в параллельных вычислительных процессах. Разработан вариант программной реализации на основе технологии параллельных вычислений MPI, что позволило значительно ускорить вычислительный процесс. Исследована зависимость времени выполнения программы от количества ребер в графе и количества используемых вычислительных процессов.

## **"ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФУЗИОННОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ"**

**Е.А. Даниленко, Дальневосточный Федеральный университет  
(г. Владивосток), магистрант, [sfinks17@mail.ru](mailto:sfinks17@mail.ru)**

В работе рассматривается математическая модель, описывающая стационарный

процесс распространения неполяризованного монохроматического излучения в бесконечной двухслойной среде, имеющей плоскопараллельное строение. Среда состоит из двух пластин, обладающих различными оптическими характеристиками и плоскость является границей раздела однородных слоев. Процесс распространения излучения может быть описан уравнением переноса.

Введем понятие плотности потока излучения, коэффициента ослабления и коэффициент рассеяния. С их помощью запишем Френелевские условия на границе раздела пластин, а так же краевые условия на внешних границах.

При построении  $P_1$  приближения в двухслойной среде используем ряд подстановок, в итоге получаем традиционные условия приближения, когда граница раздела не отражает и не преломляет свет.

Действуя тем же методом ищем условия приближения для двухпоточкового приближения в двухслойной среде.

Проведя сравнения мы находим закономерность: в случае слабооднородной среды условия сопряжения на границе раздела для  $P_1$  приближения совпадают с условиями для удвоенного  $P_0$  приближения.

## **"ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ С ИНТЕРВАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ"**

**О. Виктория, Дальневосточный Федеральный университет (г. Владивосток),  
[ovioy@list.ru](mailto:ovioy@list.ru)**

Задачи оптимального управления системами с интервальными параметрами представляют интерес с практической точки зрения в связи с неопределенностью данных, на основе которых строятся соответствующие математические модели. С другой стороны, рассмотрение интервальных задач оптимального управления интересно с теоретической точки зрения, поскольку возникающие экстремальные задачи являются нелинейными даже, если управляемая система линейна при конкретных значениях неопределенных параметров.

В настоящей работе рассмотрена постановка интервальной задачи

оптимального управления для операторного управления в гильбертовом пространстве. Предлагается решение задачи, основанное на понятии универсального решения.

Основной результат работы состоит в представлении и обосновании алгоритма нахождения универсального оптимального состояния системы и универсального оптимального управления. Универсальное оптимальное состояние ищется в виде разложения по соответствующему базису гильбертова пространства состояний (сумма гармоник). Особенность представляемого алгоритма заключается в необходимости численного нахождения параметров, определяющих универсальное оптимальное состояние системы, сразу для многих гармоник. Последнее обуславливает необходимость использования для решения интервальных задач управления вычислительных кластеров.

### **Литература**

1. О В.О. Минимизация интервальной квадратичной функции в гильбертовом пространстве // Сборник материалов XXXVI Дальневосточной Математической Школы-Семинара имени академика Е.В. Золотова, Владивосток, 4-10 сентября 2012г. с.175-181;
2. О В.О. Интервальная задача оптимального управления в гильбертовом пространстве // Журнал вычислительной математики и математической физики т.52.