

ПРОГРАММА УЧЕБНОГО ТРЕКА «Пакет OpenFOAM - платформа для решения задач МСС»

Время	Блок	Ведущий	Содержание	Примечание
02.07	2012	Понедельник	День 1	
9:00	Введение	Аветисян А.И.	ИСП РАН. Программа 'Университетский кластер'. Облачные вычисления. Web-лаборатория UniHUB.	
9:30	Лекция 1 Обзор открытых пакетов для решения задач МСС	Крапошин М.В.	Рассматриваются различные подходы для решения задач МСС (механика сплошной среды). Проводится сравнение возможностей коммерческих и открытых пакетов. На примере ОС CAELinux проводится обзор открытых пакетов для решения задач МСС. CAELinux построена на базе Ubuntu. Предназначена для научных расчетов и математического моделирования с использованием МКЕ и МКО для задач гидродинамики и прочности. Проводится краткий обзор пакетов Salome, Elmer, Code-Saturne, Code-Aster, FDS, OpenFOAM, Paraview. Приводятся примеры решения академических и промышленных задач, в том числе с использованием суперкомпьютерных технологий.	
10:20	Перерыв			
10:25	Лекция 2 Возможности web лабораторий UniHUB	Самоваров О.И.	Созданная технологическая платформа UniHUB (www.unihub.ru) объединяет в концепции 'облачных' вычислений такие возможности как доступ к ресурсам (высокопроизводительные системы, хранилища данных, центры компетенции), передача знаний (лекции, семинары, лабораторные работы) и механизмы, поддерживающие деятельность сообщества профессионалов. В частности, платформа позволяет создать предметно-ориентированные Web-лаборатории. Системный программный стек платформы включает себя Linux/Debian, Joomla, PHP, MySQL, OpenVNZ, OpenPBS, Globus Toolkit. В рамках одного из проектов, выполняемых в рамках программы «Университетский кластер» ведутся работы целью, которых является интеграция в вычислительную инфраструктуру свободных прикладных пакетов, обеспечивающих полный цикл решения задач механики сплошной среды и аэродинамики: SALOME, OpenFOAM, ParaView. Рассказывается о возможностях работы с планировщиком задач OpenPBS на вычислительном кластере.	
11:10	Кофе-брейк			
11:40	Лекция 3 Пакет OpenFOAM	Крапошин М.В. Стрижак С.В.	OpenFOAM (Open Field Operation and Manipulation) – это набор средств языка программирования C++ для настройки и расширения численных решателей для задач механики сплошной среды, включая вычислительную гидродинамику. Он поставляется с растущим набором написанных решателей, применимых к широкому кругу задач. Проводится сравнение двух различных направлений (основная и расширенная версии) в развитии пакета OpenFOAM. Численная методика, заложенная в коде, основывается на методе контрольного объема для неструктурированных сеток. Для аппроксимации временных и конвективных членов	

Время	Блок	Ведущий	Содержание	Примечание
			в уравнениях используются различные устойчивые схемы второго порядка точности. Связь между полями скорости и давления реализуется при помощи SIMPLE-подобной и PISO процедур. Пакет представляет собой отдельные самостоятельные модули. Рассматривается структура каталогов. Обсуждаются особенности построения расчетного примера, различные расчетные схемы и граничные условия. Проводится классификация решателей и утилит.	
12:30	Перерыв			
12:35	Демонстрация Работа в OpenFOAM	Крапошин М.В.	Демонстрация подготовки и запуска на счет тестового примера в OpenFOAM. Переключение между различными версиями OpenFOAM.	
13:30	ОБЕД			
14:30	Лабораторная 1 Расчет течения в каверне	Крапошин М.В. Стрижак С.В.	В рамках данной лабораторной работы рассматривается течение в каверне с подвижной крышкой. Исследуется плоское течение несжимаемой ньютоновской жидкости при числах Re, соответствующих ламинарному и переходному режимам: 100 и 1000, соответственно. Расчет проводится с помощью решателя isoFoam. Обсуждаются особенности подготовки расчетного примера, подготовки расчетной сетки с помощью утилиты blockMesh. Исходными данными являются скорость движения крышки и давление. В результате расчета можно получить распределение давления, поле скорости, построить линии тока.	
15:30	Лабораторная 2 Расчет обтекания обратного уступа	Крапошин М.В. Стрижак С.В.	В работе рассматривалась задача о моделировании течения для случая обтекания обратного уступа дозвуковым потоком несжимаемого газа. Уравнения для связи скорости и давления решаются итерационным алгоритмом SIMPLE (решатель simpleFoam). В результате расчета могут быть получены значения компонент скорости, давления, подсеточной кинетической энергии, пульсационные составляющие, спектральные характеристики пульсации давления. С помощью решателя pisoFoam и подхода LES проводится расчет нестационарного режима течения. Визуализация проводится с помощью пакета Paraview.	
16:30	Лабораторная 3 Суперкомпьютер «Ломоносов»	Сибгатуллин И.Н.	Знакомство с возможностями и работа с суперкомпьютером «Ломоносов». Особенности настройки и работа с OpenFOAM.	
17:30	Окончание дня 1			
03.07	2012	Вторник	День 2	
9:30	Лекция 4 Пакет Salome и Пакет Paraview	Крапошин М.В.	Рассматривается платформа SALOME: создание геометрии и расчетной сетки, и пакет Paraview для визуализации результатов расчетов. В пакете Salome модуль работы с геометрией GEOM позволяет создавать и экспортировать геометрию из другой программы, сохранять геометрию в расчетный файл, а модуль работы с расчетной сеткой SMESH поддерживает элементы следующих типов: гексаэдер, тетраэдер, пирамида, призма и многогранник. Рассмотрено применение Paraview для	

Время	Блок	Ведущий	Содержание	Примечание
			визуализации на примере решения задач аэрогидродинамики, основные операции, связанные с визуализацией и анализом полученных в результате расчетов полей.	
10:20	Перерыв			
10:25	Лекция 5 Демонстрация Работа в Salome и Paraview	Крапошин М.В.	Демонстрация подготовки тестового примера в Salome.	
11:10	Кофе-брейк			
11:40	Лекция 6 Прикладные задачи аэродинамики	Стрижак С.В.	Рассматриваются возможности пакета OpenFOAM для решения задач аэродинамики. В пакете существуют различные решатели : simpleFoam, pisoFoam, rhoSimpleFoam, rhoPisoFoam, MRFSimpleFoam, sonicFoam, rhoCentralFoam, dbnsFoam. Рассматриваются решатели с поддержкой динамических сеток. Обсуждается решатель, основанный на годуновских схемах: flux vector splitting (HLLC и производные) , flux difference splitting (ROE), центральные (Local Lax-Freidrichs), схемы AUSM и Rusanov, доступные ограничители (SlopeLimiter). Обсуждаются особенности выбора расчетных схем и граничных условий. Возможности для моделирования турбулентных течений. Подходы RANS/LES/DES. Различные модели турбулентности.	
12:30	Перерыв			
12:35	Лекция 7 Задачи аэрогидроупругости	Щеглов Г.А.	Рассматриваются вопросы аэрогидроупругости: совместное решение уравнений упругой динамики элемента конструкции с уравнениями гидродинамики. Центральным вопросом является построение интерфейса «Жидкость-Конструкция (Fluid-Structure Interface - FSI)» на подвижной деформируемой стенке обтекаемого тела. Для моделирования динамики жидкости предполагается использовать пакет OpenFOAM с решателями типа FSI. Обсуждаются вопросы выбора пакета для моделирования динамики конструкции	
13:30	ОБЕД			
14:30	Лабораторная 4 Расчет с использованием Salome/OpenFOAM/Paraview	Крапошин М.В., Стрижак С.В.	Подготовка простейшей геометрии (цилиндр, сфера, канал) в пакете Salome. Задание граничных поверхностей. Построение расчетной сетки в Salome с использованием тетраэдров и гексаэдров. Сохранения данных и конвертация сетки в формат OreFOAM. Подготовка расчетного примера. Расчет обтекания цилиндра и сферы внешнем потоком. Расчет трансзвукового течения в канале. Варьирование исходными данными. Обработка результатов.	
15:30	Лабораторная 5 Моделирование свободной конвекции в комнате с подогревом	Крапошин М.В., Стрижак С.В.	Рассматривается течение сжимаемой жидкости (воздух) с дозвуковыми скоростями под воздействием архимедовой силы в кубическом замкнутом объеме. Подъемная сила возникает в результате нагрева среды в некоторой области нижней стенки. Входными параметрами являются температура нагреваемого тела, модель турбулентности, скорость и давление в набегающем потоке. Обсуждаются особенности задания граничного условия для температуры. Для расчета используется	

Время	Блок	Ведущий	Содержание	Примечание
			решатель buoyantPimpleFoam.	
16:30	Лабораторная 6 Задачи гидроупругости	Щеглов Г.А.	Рассматриваются тестовые примеры. Расчет обтекания упругой балки в потоке жидкости, расчет течения в каверне с упругой стенкой. Рассматриваются цели, задачи, ожидаемые эффекты. Проводится знакомство со структурой электронной расчетной схемы задачи FSI. Выполняется обработка результатов расчета. Обсуждение результатов. В качестве решателя используется isoFSIFoam.	
17:30	Лабораторная 7 Прикладные задачи аэродинамики	Стрижак С.В.	Рассматриваются тестовые примеры. Расчет обтекании сверхзвуковым потоком обратного уступа, расчет обтекания профиля крыла дозвуковым и сверхзвуковым турбулентным потоком. Решатели rhoCentralFoam, simpleFoam, pisoFoam, sonicFoam.	
18:00	Окончание дня 2			
04.07	2012	Среда	День 3	
9:30	Лекция 8 Численные методы линейной алгебры в OpenFOAM	Марчевский И.К.	Проводится классификация итерационных методов решения СЛАУ. Рассматриваются методы релаксационного типа и методы крыловского типа. Методы сопряженных и бисопряженных градиентов. Решение СЛАУ с симметричными матрицами и систем общего вида. Обусловленность матрицы СЛАУ.	
10:20	Перерыв			
10:25	Лекция 9 Итерационные методы решения СЛАУ в OpenFOAM	Марчевский И.К.	Понятие о предобуславливании СЛАУ, методы построения предобуславливателей. Многосеточные методы и многосеточные предобуславливатели. Использование различных численных методов для решения СЛАУ, возникающих при проведении расчетов в OpenFOAM (BiCG, PBiCG, PBiCGStab, GAMG).	
11:10	Кофе-брейк			
11:40	Лекция 10 Расширенные возможности OpenFOAM	Крапошин М.В.	Рассматривается архитектура пакета OpenFOAM с точки зрения исходного кода. Проводится обзор основных возможностей языка программирования C++. Использование технологий C++ (инкапсуляция, наследование, полиморфизм) в OpenFOAM. Особенности сборки исходного кода. Уровни абстракции в OpenFOAM. Основные классы в OpenFOAM (polyMesh, fvMesh, Time, Field, fvPatchField, lduMatrix, fvMatrix, fvc, fvm). Примитивы системного уровня. Представление полей в OpenFOAM. Представление разреженных матриц. Дискретизация слагаемых в уравнениях. Особенности реализации кода (Code styling). Создание собственного решателя. Особенности реализации класса Pstream для параллельных вычислений в OpenFOAM.	
12:30	Перерыв			
12:35	Лекция 11 Многофазные течения	Мукин Р.В.	В лекции представлен обзор и классификация имеющихся подходов моделирования многофазных течений реализованных в OpenFOAM. Проведено сравнение лагранжева траекторного подхода и эйлера подхода. Показаны преимущества и недостатки каждого из методов. Рассматриваются области приложения. Основное внимание будет уделено моделированию многофазных турбулентных течений. В	

Время	Блок	Ведущий	Содержание	Примечание
			рамках лекции будут представлены примеры использования различных солверов при расчете на вычислительном кластере. Рассматриваются решатели twoPhaseEulerFoam, bubbleFoam, cavitatingFoam.	
13:30	ОБЕД			
14:30	Лабораторная 8 Итерационные методы решения СЛАУ	Марчевский И.К.	Итерационные методы решения СЛАУ в OpenFOAM. Работа с матрицами.	
15:30	Лабораторная 9 Задачи многофазных сред	Мукин Р.В.	Рассматриваются задачи: 1) моделирование пузырькового турбулентного течения в жидкости с помощью twoPhaseEulerFoam; 2) Моделирование переноса твердых частиц в канале диффузора	
16:30	Лабораторная 10 Создание решателя myScalarTransportFoam	Мукин Р.В., Крапошин М.В. Стрижак С.В.	Рассматривается стандартный решатель ScalarTransportFoam. Проводится анализ исходного кода и базовых уравнений. Обсуждаются основные этапы создания собственного решателя. Изменение решателя и добавление нового уравнения. Компиляция и отладка решателя. Устранение ошибок. Подготовка исходных данных для тестового примера. Расчет и обработка результатов.	
17:15	Лабораторная работа 11 Создание собственного решателя в OpenFOAM”	Крапошин М.В., Стрижак С.В.	Рассматриваются уравнения эллиптического, гиперболического, параболического типа. Приводятся примеры построения решателей: elliFoam, hyper1Foam, hyper2Foam, ragabFoam. Процедура компиляции исходного кода. Проводится расчет тестового примера о движении профиля в форме волны и ступеньки для значения температуры в прямоугольном канале.	
18:00	Окончание дня 3			
05.07	2012	Четверг	День 4	
9:30	Лекция 12 Задачи корабельной гидродинамики и методы их решения	Ткаченко И.В.	Проводится обзор задач корабельной гидродинамики (внутренняя и внешняя задача корабельной гидродинамики, течения со свободной поверхностью, динамики морских объектов, гидродинамика морской среды). Особенности протекания гидродинамических процессов в приложениях корабельной гидродинамики (высокие числа Рейнольдса, наличие жидких границ). Особенности постановки внутренней и внешней задач корабельной гидродинамики и методы их решения. Моделирование динамики и гидродинамики судна (6DOF+CFD). Рассматриваются примеры моделирования задач корабельной гидродинамики в пакете OpenFOAM.	
10:20	Перерыв			
10:25	Лекция 13 Задачи гидродинамической устойчивости	Сибгатуллин И.Н.	Рассматриваются классические задачи гидродинамической неустойчивости Релея-Бенара, Релея-Тейлора, Кельвина-Гельмгольца. Обсуждаются способы задания начальных данных, использование утилиты funkySetFields. Исследуется влияние граничных условий. Рассматривается изменение уравнения состояния, модификация и добавление новых уравнений, двухдиффузионная конвекция. Для конвекции Релея-	

Время	Блок	Ведущий	Содержание	Примечание
			Бенара в приближении Буссинеска рассматриваются конвективные валы, гексагональные и квадратные структуры, другие формы, мультистабильность. Проводится сопоставление с теорией и известными результатами. Проводится анализ основ метода захвата интерфейса в решателе interFoam. Проводится моделирование потенциальных течений со свободной поверхностью.	
11:10	Кофе-брейк			
11:40	Лекция 14 Моделирование процессов горения	Стрижак С.В.	Различные решатели позволяют рассчитывать процессы смешения и диффузии неоднородных газовых смесей, химические реакции в потоке, горение газообразных и жидких топлив, конвективный и радиационный теплообмен, движение дисперсной фазы в потоке, модель процесса пиролиза и образования сажи. Один из решателей для моделирования турбулентного пламени и задач тушения пожаров fireFoam в настоящее время разрабатывается компаниями FM Global (США) и OpenCFD (Англия). Первоначально авторы взяли за основу готовый решатель lesBuoyantFoam. Были добавлены модели диффузионного турбулентного пламени, модель излучения, модель пиролиза, модель образования сажи, новые граничные условия. Решатель был расширен для сжимаемых течений и течений с малым числом Маха. Одна из современных технологий пожаротушения предметов возгорания основана на модели тонкораспыленной воды. Для этого в решатель fireFoam были внедрены различные модели: динамика турбулентной газочапельной струи испаряющейся жидкости, модель разрушения струи на базе теории неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, модель Розина-Раммлера для задания распределения размеров капель, модель тонкой пленки движения воды вокруг горящих предметов, задание положения сопла-распылителя. Для моделирования движения, теплообмена и испарения капель применяется Лагранжев подход. За основу взяты модели из решателя dieselFoam.	
12:30	Перерыв			
12:35	Лекция 15 Работа с графическими ускорителями	Монаков А.В.	Рассматриваются вопросы разработки решателей СЛАУ в OpenFOAM на графических ускорителях с использованием CUDA. Решатели PCG, BiCG, BiCGStab.	
13:30	ОБЕД			
14:30	Лабораторная 13 Особенности моделирование гидродинамики судна с учетом свободной поверхности	Ткаченко И.В.	Импорт расчетной сетки в OpenFOAM. Задание свободной поверхности. Выбор модели турбулентности, начальных и граничных условий, настройка параметров расчета. Моделирование волнового сопротивления судов и волнообразования с помощью InterFoam и LTSinterFoam на примере тела Wigley и натурального судна. Отладка и анализ результатов. Использование interDyMFoam для решения задачи колебания жидкости в грузовой емкости танкера.	
15:30	Лабораторная 14 Особенности построения сеток для тел судовых	Ткаченко И.В.	Коррекция исходной геометрии судна и подготовка файла геометрии корабля в формате STL. Создание «фоновой» сетки, определяющей расчетную область и базовый уровень плотности сетки. Разрешение свободной поверхности путем	

Время	Блок	Ведущий	Содержание	Примечание
	обводов в snappyHexMesh		определения 2-х блоков, граничащих в районе интерфейса вода-воздух. Настройка параметров генерации сетки в snappyHexMesh. Практика проводится на примерах твердотельных моделей натурального судна и тела Wigley.	
16:30	Лабораторная 15 Задачи гидродинамической устойчивости	Сибгатуллин И.Н. Стрижак С.В.	Рассматриваются классические задачи о неустойчивости Релея-Тейлора в двумерном и трёхмерном случае. Задание начальных условий проводится с помощью утилиты funkySetFields. Рассматривается изменение граничных условий. Выполняется модификация уравнения состояния для моделирования проникающей конвекции с максимумом плотности. Добавление уравнения для диффузии соли. Рассматривается задача о моделирование развития одномодовой неустойчивости Релея-Тейлора в двухмерном и трёхмерном случае. В качестве среды используются воздух и гелий. Проводится расчет и построения значений маркерной функции в виде изоповерхностей. В качестве решателя используется interFoam. Рассматривается задача о неустойчивости Релея-Бенара.	
17:30	Лабораторная работа 16 Расчет турбулентного пламени	Стрижак С.В.	Рассматриваются задачи о моделировании турбулентного пламени в 2D и 3D постановке. Обсуждаются особенности подготовки расчетного примера, построения сетки, выбора начальных и граничных условий. Для моделирования турбулентного пламени используется концепция диссипации вихрей. Используется решатель fireFoam.	
18:00	Окончание дня 4			
06.07	2012	Пятница	День 5	
9:30	Лекция	Преподаватели	Резервное время для лекции	
10:30	Круглый стол Пакет OpenFOAM - платформа для решения задач МСС	Все участники программы	Совместное обсуждение задач участников учебного трека	
12:30	Лабораторные работы	Все участники программы	Завершение лабораторных работ. Сохранение данных.	
13:30	Окончание дня 5			