

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ WEB-ЛАБОРАТОРИИ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ПРОГРАММЫ «УНИВЕРСИТЕТСКИЙ КЛАСТЕР»

М.В. Крапошин, О.И. Самоваров, С.В. Стрижак

Инновационная Программа «Университетский кластер» [1] была учреждена 4 сентября 2008 года Российской академией наук (ИСП РАН и МСЦ РАН), компаниями НР и «Синтерра». Программа направлена на повышение уровня использования технологий параллельных и распределенных вычислений в образовательной и научно-исследовательской деятельности, а также на их ускоренное внедрение в промышленность России.

С этой целью, в рамках Программы «Университетский кластер», создана технологическая платформа (www.unihub.ru) исследований, разработок и образования в области параллельных и распределенных вычислений. Созданная технологическая платформа объединяет в концепции «облачных вычислений» [2] такие возможности как: доступ к ресурсам (высокопроизводительные системы, хранилища, центры компетенции), передача знаний (лекции, семинары, лабораторные работы) и механизмы, поддерживающие деятельность сообществ профессионалов в специализированных областях. В частности, платформа позволяет создавать предметно-ориентированные Web-лаборатории. Таким образом, технологическая платформа программы «Университетский кластер» обеспечивает эффективную интеграцию образования, науки и индустрии на новом технологическом уровне. 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: SALOME, OpenFOAM, ParaView [3],[4].

Программный комплекс OpenFOAM (www.openfoam.com) основывается на моделировании пространственных турбулентных течений. Различные программные модули (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.

Численная методика, заложенная в коде, основывается на методе контрольного объема для неструктурированных сеток. В программе используются схемы второго порядка аппроксимации по времени и пространству. Для аппроксимации конвективных членов используются различные устойчивые схемы второго порядка точности. Связь между полями скорости и давления реализуется при помощи SIMPLE-подобной и PISO процедур. OpenFOAM включает в себя библиотеку с физико-химическими реакциями. Дополнительно существует возможность подключения библиотеки CHEMKIN для решения детальной химической кинетики в случае моделировании реагирующего потока. Математическая модель строится на основе вихреразрешающей технологии (метод крупных вихрей) моделирования турбулентности. Для получения фильтрованных уравнений Навье-Стокса используется коробочный фильтр. Мелкие вихри, размер которых не превышает шага расчетной сетки, моделируются с помощью модели Смагоринского или модели на базе одного дифференциального уравнения для подсеточной кинетической энергии.

Один из решателей для моделирования турбулентного пламени и задач тушения пожаров fireFoam в настоящее время разрабатывается компаниями FM Global (США) и OpenCFD (Англия). В разработке также принимают участия University of Kingston (Англия) и University of Maryland (США). 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. Для моделирования турбулентного пламени используется концепция диссипации вихрей (EDC).

Одна из современных технологий пожаротушения предметов возгорания основана на модели тонкораспыленной воды (ТРВ). Для этого в решатель fireFoam были внедрены различные модели: динамика турбулентной газокapельной 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 и другие. Для моделирования движения, теплообмена и испарения капель применяется Лагранжев подход. За основу были взяты модели из решателя dieselFoam. Параллельная версия решателя позволяет значительно ускорить время расчетов. Проведено тестирование решателя на кластере с 128 ядрами и получен линейный рост производительности на тестовых задачах с сеткой 0.5-3.0 миллиона ячеек. Тестовые задачи (моделирование турбулентного 3D пламени и распыл струи жидкого топлива) позволяют провести тестирование и апробацию моделей.

Появление в начале 2011 года технологической платформы программы «Университетский кластер» позволило решить не только эту задачу, но и создать полноценную предметно-ориентированную Web-

лабораторию UniCFD.

Работа в Web-лаборатории осуществляется через тонкий клиент, на котором должен быть установлен любой из наиболее распространенных браузеров (в настоящее время поддерживается работа с IE, FireFox, Chrom, Opera) подключенный к Интернет. Вся обработка осуществляется на вычислительных ресурсах программы «Университетский кластер», размещенных в ЦОД ВЦ РАН. В зависимости от выбранного сервиса могут быть задействованы вычислительные кластерные системы, ферма визуализации с графическими ускорителями, распределенные хранилища поддерживающие обработку в концепции MapReduce.

На стоящее время Web-лаборатория UniCFD предлагает пользователям возможность выполнения в концепции облачных вычислений следующие открытые пакеты: Salome 5.1.5, OpenFOAM 1.6, 1.7.1, 1.6-dev, Paraview 3.8. На рисунке 1 представлена копия окна браузера с загруженным приложением SALOME.

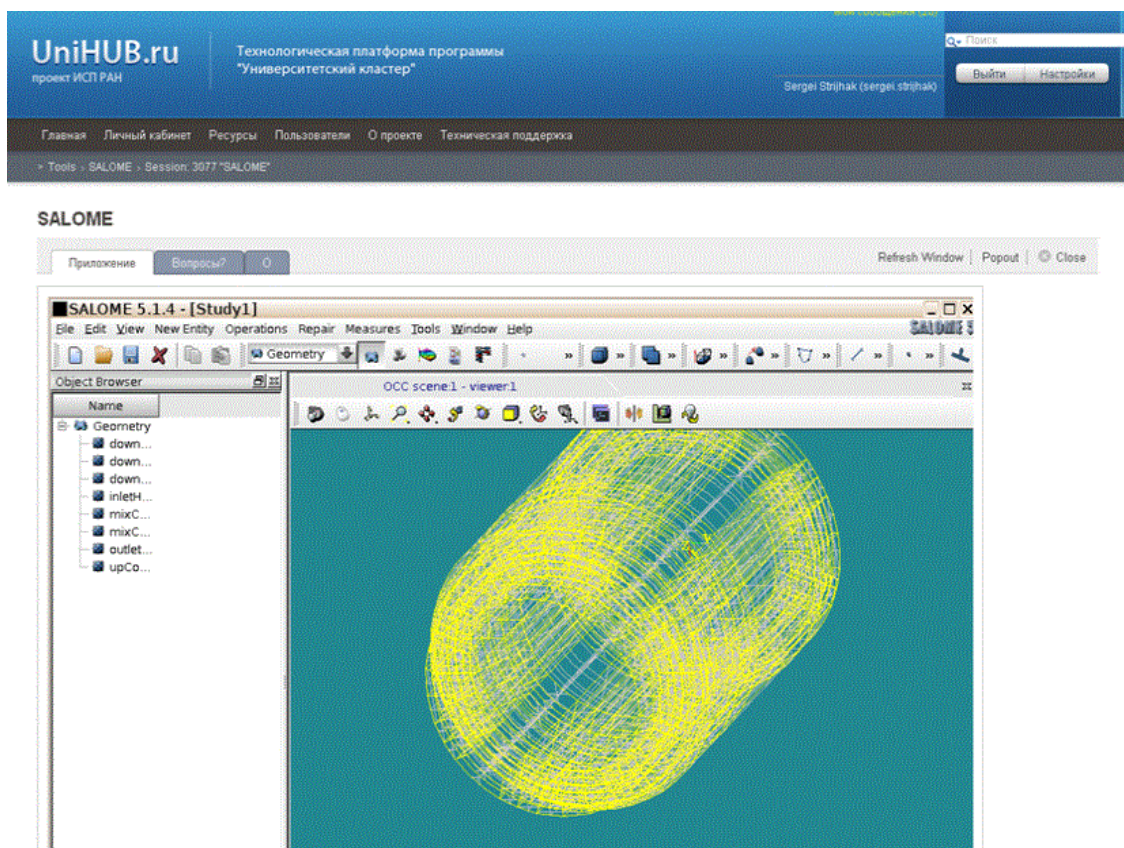


Рис. 1

В качестве вычислительных ресурсов Web-лаборатории UniCFD используются интегрированные в технологическую платформу программы «Университетский кластер» кластерные системы ИСП РАН, ТТИ ЮФУ и МСЦ РАН. В лаборатории пользователями созданы тематические группы «Аэродинамика» и «Турбулентность и Горение» и были выполнены ряд модельных задач: расчет истечения сверхзвуковой струи, обтекания летательного аппарата, моделирование нестационарного турбулентного пламени, расчет поворотного-регулирующего клапана, распыл струи жидкого топлива и другие.

На базе Web-лаборатории создан открытый курс «Основы использования свободных пакетов OpenFOAM, SALOME и ParaView при решении задач МСС» по которому проведена серия тренингов для представителей, как университетов, так и промышленных предприятий, среди которых: НТЦ им. А. Люльки, НИЯУ, РКК "Энергия", АК "Рубин" и др.

В настоящее время в рамках созданной Web-лаборатории UniCFD ведется ряд проектов:

НИЦ "Курчатовский институт"

- Реализации модели взаимодействия элементов активной зоны реакторной установки с потоком теплоносителя (FSI). Задача решается в динамической постановке с возможностью нагружения активной зоны аварийными или сейсмическими нагрузками.
- Тестируются две части решения: гидродинамика OpenFOAM-ом, конструктивные элементы - закрытым конечно-элементным комплексом (разрабатывается в НИЦ КИ).
- В последствии планируется написать соответствующие решатели для OpenFOAM.
- Используется библиотека MCF (www.os-cfd.ru) МГТУ им. Н.Э. Баумана

- Расчет задач аэрогидроупругости методом вихревых элементов
- Используется оригинальное программное обеспечение (MDV3D), разработанное на кафедре "Аэрокосмические системы", позволяющее рассчитывать пространственное обтекание тел бессеточным лагранжевым методом вихревых элементов и определять нагрузки с учетом деформации тел в потоке.
- Проводится обучение в рамках научной школы "Динамика конструкций аэрокосмических систем" и "Аэродинамика"
- Используемые решатели sonicFoam, pisoFoam,
- MRFSimpleFoam, simpleFoam, fireFoam

Томский Государственный Университет

(Научно-исследовательский институт Прикладной Математики и Механики)

- Математическое моделирование пространственных течений в энергоустановках.
- Проведение расчетов пространственных вязких течений в газодинамических трактах энергоустановок (ракетные двигатели, МГД-генераторы) и определение параметров истекающих струй в зависимости от параметров окружающей среды. Используемые решатели sonicFoam

Санкт-Петербургский Государственный

Морской Технический Университет

- Гидродинамика и динамика корабля, задачи гидродинамики тел со свободной поверхностью
 - Используемые решатели interFoam
- РКК "Энергия" (г. Королев)
- Расчет аэродинамики лобового щита ВА с учетом интерференции и расчет динамики его движения в допустимого диапазона параметров обтекания для обеспечения его безударного отделения.
 - Определение допустимого диапазона параметров обтекания для обеспечения его безударного отделения.

- Используемые решатели SimlpeFoam, расчет динамики тела -собственный код.

Дальнейшее развитие Web-лаборатории UniCFD связано с интеграцией новых открытых пакетов, таких как Code-Saturn (гидродинамические расчеты), Calculix (прочностные расчеты), MCF, пакет на базе OpenFOAM, (сопряженные задачи теплообмена), GIMIAS (биомеханика и медицина). Кроме того, разрабатывается расширенный курс и методическое пособие по использованию данных открытых пакетов решения задач МСС.

ЛИТЕРАТУРА:

1. А. Аветисян, В. Иванников, О. Самоваров, С. Гайсарян. «Университетский кластер: интеграция образования, науки и индустрии». Открытые системы №05, 2010. с. 46-47.
2. 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. Milojevic, 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.
3. Andre Ribes, Christian Caremoli, "Salome platform component model for numerical simulation," compsoc, vol. 2, pp.553-564, 2007 31st Annual International Computer Software and Applications Conference, 2007
4. Weller H.G., Tabor G., Jasak H., Fureby C. "A tensorial approach to computational continuum mechanics using object oriented techniques", Computers in Physics, 1998. vol.12, № 6. pp.620-631.