

ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНЖЕНЕРНОМ АНАЛИЗЕ

Лекция 12

Болдырев Ю.Я., Замотин К.Ю., Петухов Е.П.

Санкт-Петербургский Государственный
Политехнический Университет

boldyrev@phmf.spbstu.ru

Анализ ведущих мировых разработок в области инженерного программного обеспечения с открытым программным кодом (часть 1)

CalculiX

3

- Открытый, свободный программный пакет, предназначенный для решения линейных и нелинейных трёхмерных задач механики твёрдого деформируемого тела с помощью метода конечных элементов
- Распространяется под лицензией GNU GPL
- Изначально программный пакет создавался для Linux, в настоящее время существуют сборки для Windows и MacOS

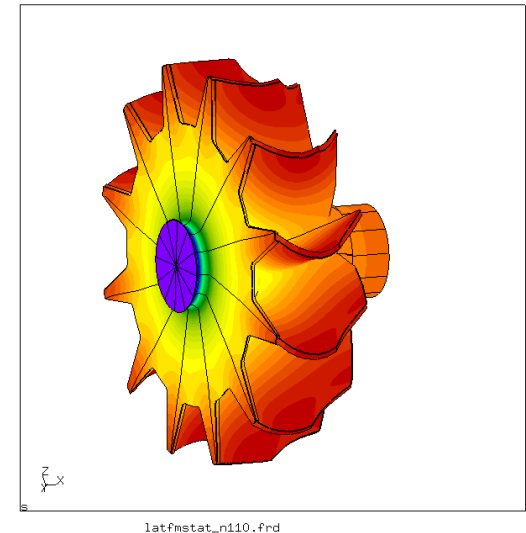
CalculiX

4

- CalculiX предназначен для прочностных и тепловых расчетов деталей и узлов авиадвигателей, поэтому основной упор в нем сделан на объемные конечные элементы, причем наиболее точные – с промежуточными узлами.

LC1:NDTEMP
Tim:1.000000
entity:T
max: 1.05e+03
min: 7.96e+02

1.05e+03
1.04e+03
1.03e+03
1.02e+03
1.01e+03
9.96e+02
9.86e+02
9.76e+02
9.66e+02
9.56e+02
9.46e+02
9.36e+02
9.26e+02
9.16e+02
9.06e+02
8.96e+02
8.86e+02
8.76e+02
8.66e+02
8.56e+02
8.46e+02
8.36e+02
8.26e+02
8.16e+02
8.06e+02
7.96e+02



Поддерживаются форматы коммерческого программного комплекса Abaqus.

Конечно-элементная сетка, сгенерированная в препроцессоре, может использоваться как в коммерческих программах (ANSYS, Abaqus, Nastran), так и в программах с открытым кодом (Code Aster, ISAAC, OpenFOAM).

CalculiX

5

- С CalculiX связан единственный в своем роде интернет-проект Online FEA Solver
- С его помощью можно не только рассчитать конструкцию или деталь, но и сделать топологическую оптимизацию изделия. Загрузив бесформенный кусок материала, можно получить конструкцию оптимальной формы: специальный скрипт анализирует силовые линии и, обеспечив сопротивление прикладываемым нагрузкам, удаляет избыток материала.

CalculiX

6

- Sun Microsystems предлагает использование CalculiX в своём коммерческом ГРИДе Sun Grid.
- CalculiX также входит в состав свободного инженерного дистрибутива CAELinux, ориентированного на использование для автоматизации выполнения инженерных задач, математического моделирования и научно-исследовательской деятельности.
- В последнюю версию CAELinux 2011 входит CalculiX 2.3. Для пользователей CalculiX имеется большой форум, на котором можно получить консультацию и задать вопрос разработчикам программы.

OpenFOAM

7

- Open Source Field Operation And Manipulation CFD ToolBox – «свободно распространяемый инструментарий вычислительной гидродинамики для операций с полями», скалярными и векторными.
- На сегодняшний день является одним из «законченных» и известных приложений, предназначенных для вычислений методом конечных объемов. Распространяется под лицензией GNU GPL.

OpenFOAM

8

- Код OpenFOAM разработан в Великобритании в компании OpenCFD и используется многими промышленными предприятиями уже более 12 лет.
- Свое название и идеологию построения код берет от предшественника FOAM (Field Operation And Manipulation), который является закрытым и продолжает развиваться параллельно с OpenFOAM.
- Первоначально OpenFOAM предназначался для прочностных расчетов.

Задачи, решаемые в OpenFOAM

9

- прочностные расчеты
- гидродинамика ньютоновских и неньютоновских вязких жидкостей как в несжимаемом, так и сжимаемом приближении с учётом конвективного теплообмена и действием сил гравитации, решение дозвуковых, околозвуковых и сверхзвуковых задач
- задачи теплопроводности в твёрдом теле
- многофазные задачи, в том числе с описанием химических реакций компонент потока
- задачи, связанные с деформацией расчётной сетки
- сопряжённые задачи

OpenFOAM

10

- В основе кода лежит набор библиотек, предоставляющих инструменты для решения систем дифференциальных уравнений в частных производных.
- Рабочим языком кода является C++ и Java.
- Вместе с кодом поставляется набор программ-решателей, в которых реализованы различные математические модели механики сплошных сред.
- Пакет OpenFOAM имеет множество утилит, которые позволяют конвертировать сторонние форматы в формат OpenFOAM.

Open CASCADE

11

- Специализированная свободная библиотека , на основе которой можно создавать бесплатные или коммерческие решения.
- Сегодня Open CASCADE – это целый набор библиотек и средств разработки программного обеспечения для трехмерного поверхностного и твердотельного моделирования, визуализации, обмена данными с другими программами для проектирования и численного моделирования.

Open CASCADE

12

- ❑ Исходный код библиотеки Open CASCADE доступен и распространяется бесплатно по лицензии Open CASCADE Technology Public License, являющейся производной от GNU LGPL (Lesser General Public License)
- ❑ Сторонние разработчики могут использовать код Open CASCADE в своих продуктах (в том числе коммерческих), однако обязаны сообщать о любых изменениях в исходных оригинальному разработчику

Open CASCADE

13

- Среди программ, разработанных на основе Open CASCADE, есть и свободно распространяемые, и коммерческие, и даже специализированные закрытые системы для промышленного применения, например, в авиастроении и ядерной энергетике.
- Например, украинская система Океан-CAD, предназначенная для моделирования авиационных двигателей разработана с помощью Open CASCADE.

Возможности Open CASCADE

14

- алгоритмы поверхностного и твердотельного моделирования (скругления и фаски, поверхности смещения и протягивания, булевы операции)
- обмен данными (как с нейтральными форматами IGES и STEP, так и со специфичными, такими как ACIS, Parasolid и DXF)
- исправление («shape healing» – «лечение» некорректных геометрических данных и восстановление поверхностей)
- визуализация (включая прозрачность и наложение текстур)
- полная среда разработки приложений для 3D-моделирования и визуализации

FreeCAD и HeeksCAD

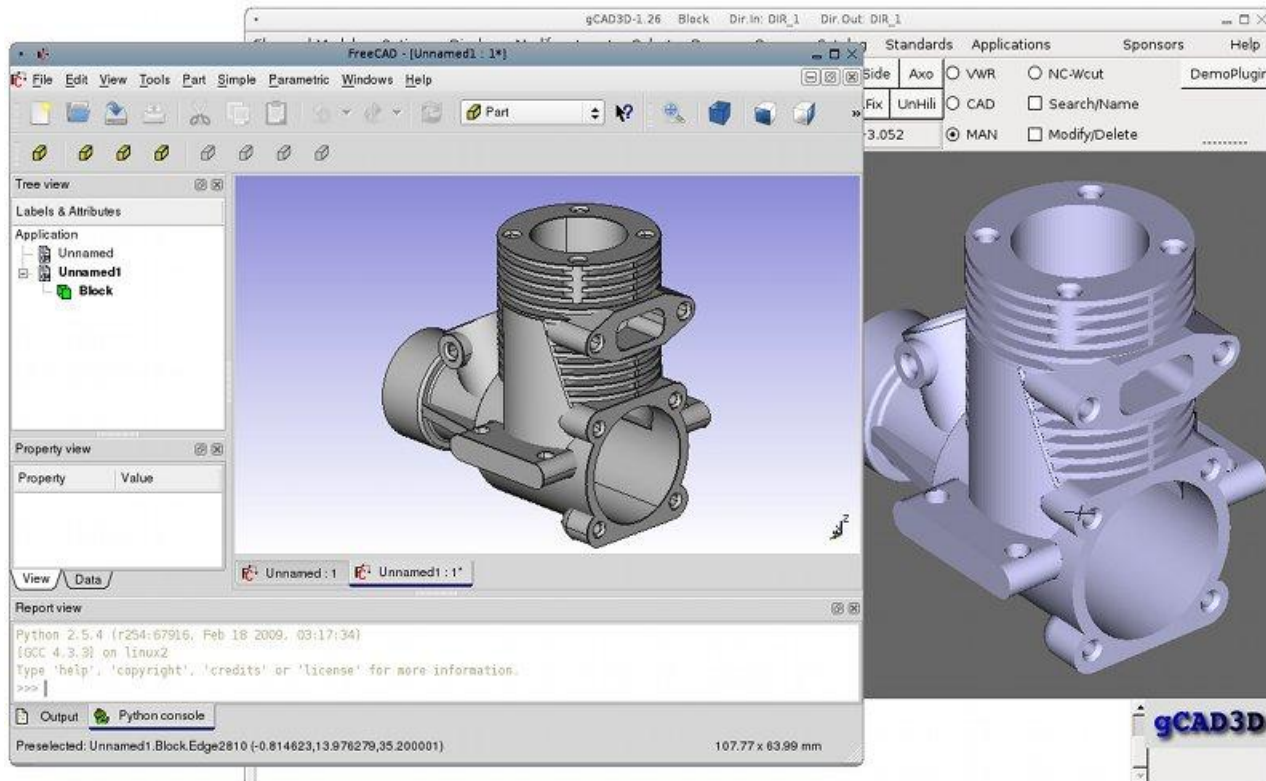
15

- FreeCAD – это одна из попыток создать свободную систему автоматизированного проектирования
- Разработчик FreeCAD, Юрген Ригель, позиционирует свою программу как первый бесплатный инструмент проектирования механики, созданный на основе библиотеки Open CASCADE. Сам автор сравнивает FreeCAD с такими развитыми коммерческими системами, как CATIA и SolidWorks.

FreeCAD и HeeksCAD

16

- В интерактивном режиме FreeCAD представлен лишь базовый инструментарий библиотеки Open CASCADE, большинство операций выполняется из командной строки.



FreeCAD и HeeksCAD

17

- Другой открытый проект на базе Open CASCADE – HeeksCAD предоставляет больше возможностей для редактирования и даже позволяет подключать дополнительные модули расширения
- HeeksCAD позволяет импортировать твердотельные модели из файлов STEP и IGES, также есть возможность визуализировать модели, выполнять редактирование с помощью смешивания и булевых операций, сохранять наработки в форматах IGES, STEP и STL
- Дистрибутив HeeksCAD пока доступен только пользователям Windows.

SALOME

18

- Открытая интегрируемая платформа для численного моделирования
- Распространяется на условиях GNU LGPL
- В настоящее время SALOME объединяет в себе различные модули, применяемые в приложениях численного моделирования – от создания моделей в САПР до параллельных вычислений. САПР-средства в SALOME реализуют возможности технологии Open CASCADE

SALOME

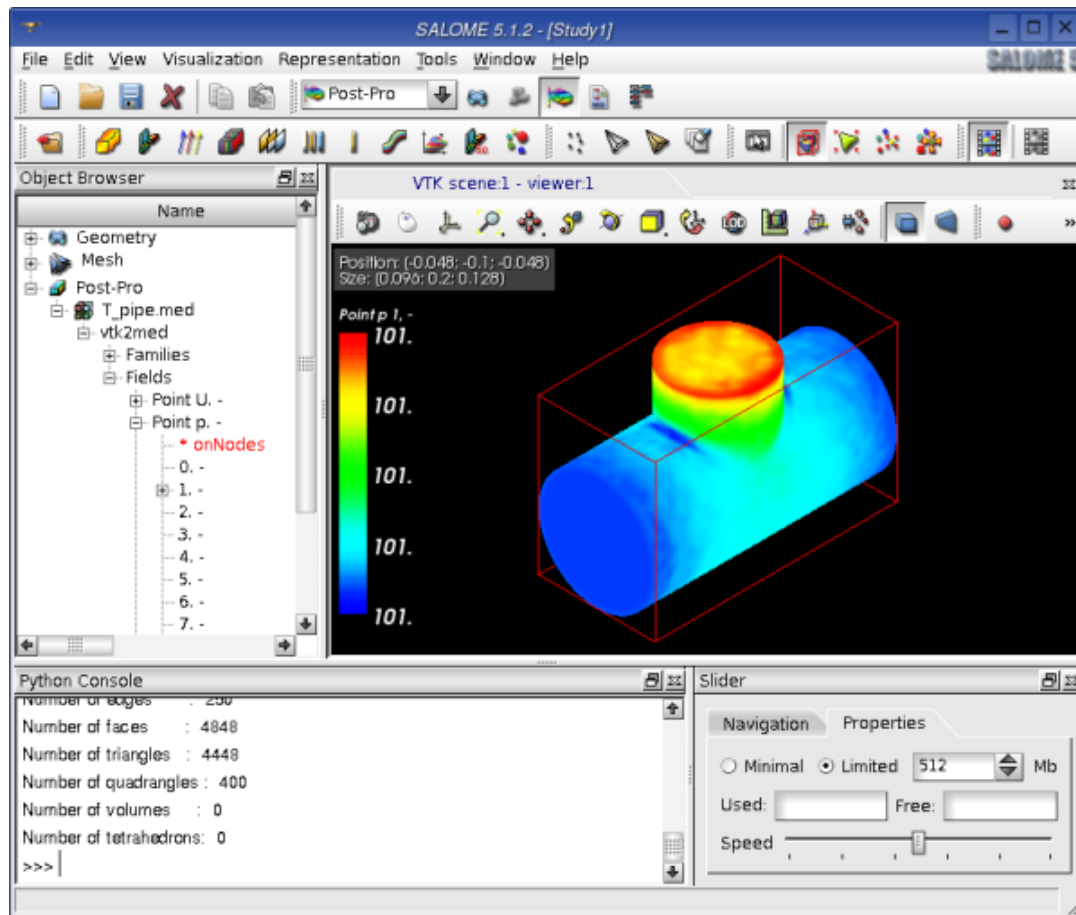
19

- SALOME – это платформа, предоставляющая функции предварительной и окончательной обработки задачи (pre-processing и post-processing)
 - / определение геометрии
 - / построение сеток
 - / определение «траектории» вычислений
 - / визуализация результатов и т.д
- В SALOME отсутствуют решатели

Интерфейс SALOME

20

Пример постпроцессинга результатов расчёта –
скалярное поле



- Возможность подключить к оболочке решатели ANSYS и других коммерческих пакетов с помощью написания специальных модулей или управляющих сценариев на языках Python или C++.
- Внутренним языком платформы является Python, причем в самой платформе имеется встроенная консоль Python, которая может использоваться для выполнения пользовательских сценариев и автоматизации обработки множества типовых задач (пакетной обработки).

SALOME

22

- Проект SALOME на сегодняшний день объединяет 20 участников, включая
 - / Renault (автомобилестроение)
 - / Bureau Veritas (кораблестроение), EADS (авиастроение) и др.
- При поддержке Правительства Франции, одной из самых серьезных областей применения SALOME стала ядерная энергетика.
- Платформа SALOME используется как база для проекта NURESIM (European Platform for NUclear REactor SIMulations), который предназначен для полномасштабного моделирования ядерных реакторов.

GMSH

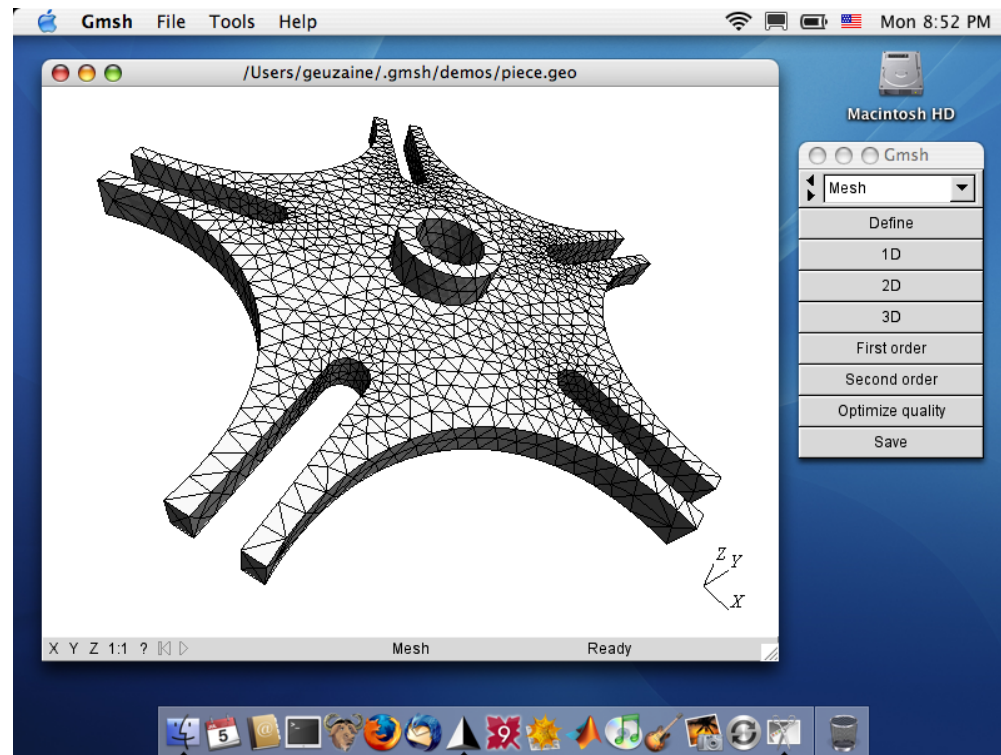
23

- Бесплатный (GNU General Public License) пре- и постпроцессор для построения параметризованных твердотельных моделей, получения сеток, а также для визуализации результатов расчета
- Программа GMSH никаких расчетов не выполняет, и может быть использована в комплекте с другими программами-решателями, такими как Code-Aster, CalculiX, Impact и т.д.

GMSH

24

GMSH предназначен для автоматической генерации трёхмерных конечных элементов, представленных сеткой, со встроенными средствами САПР и постобработки



GMSH

25

- Программа состоит из трех модулей:
 - / построение геометрии
 - / построение расчетной сетки
 - / Постобработка
- Ввод параметров создаваемого объекта в модули осуществляется либо интерактивно – средствами графического пользовательского интерфейса, либо при помощи текстовых ASCII-файлов с использованием собственного языка сценариев GMSH.

GMSH

26

- GMSH является также геометрическим моделлером, позволяя создавать модель не только в режиме координатного ввода, как большинство подобных программных продуктов, но и в режиме свободного рисования.
- GMSH – практически единственная свободная альтернатива таким системам, как GiD (коммерческий пре- и постпроцессор)
- Программа GMSH хорошо документирована, имеет интерфейсы взаимодействия с такими расчетными системами, как Code Aster или Elmer. Совместно с GMSH также распространяется конечно-элементный решатель GetDP.

Elmer

27

- Комплекс программного обеспечения Elmer распространяется по лицензии GPL v.2
- Elmer предназначен для численного моделирования физических явлений различной природы методом конечных элементов
- Разработан в финском центре компьютерных наук, совместно с финскими университетами, промышленными фирмами и исследовательскими лабораториями
- К настоящему времени комплекс позволяет решать задачи из области динамики жидкости и газа, механики, электромагнетизма, передачи тепла, акустики и ядерной физики

Доступно решение одномерных, двумерных и трехмерных задач из разных областей физики:

- теплопроводности,
- гидродинамики,
- механики твёрдого тела,
- акустики,
- электромагнетизма,
- квантовой механики.

Задачи описываются в виде легко читаемых текстовых файлов.

Elmer

29

- В Elmer не входит геометрический моделлер, но он совместим с другими программами, например, с GiD, GMSH, ANSYS.
- Для пользователей на сайте разработчиков Elmer доступна подробная документация и возможность получить консультацию онлайн.
- Комплекс поддерживает мультипроцессорную симметричную обработку и может применяться на кластере, поддерживающем MPI.
- Elmer написан на языке Fortran, C и C++.

Модули Elmer

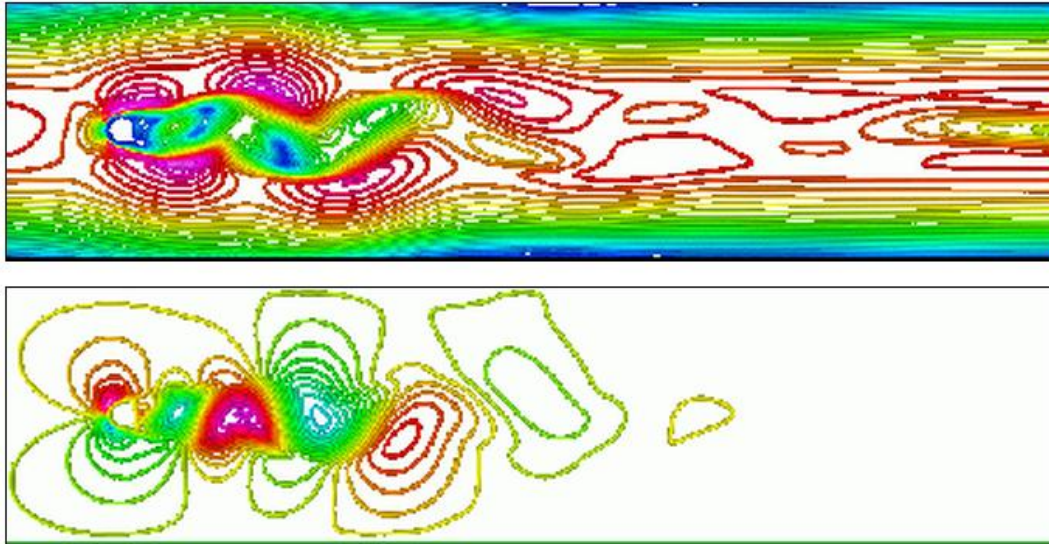
30

- ElmerSolver – основной модуль, решатель
- ElmerGUI – графический интерфейс для задания и генерации входных данных для ElmerSolver. Возможности создания двумерного и трехмерного разбиения области на конечные элементы, а также импорт расчетных сеток, созданных в других программах.
- ElmerPost – модуль для визуализации и постобработки результатов вычислений, полученных из ElmerSolver или других программ для конечно-элементного анализа.
- ElmerGrid – модуль для построения и изменения конечно-элементных расчетных сеток.

Elmer

31

- Все модули Elmer могут использоваться независимо друг от друга. Наиболее разработанным является решатель ElmerSolver, для пре- и постпроцессинга можно воспользоваться другими программами, например, SALOME или GMSH.



Пример визуализации результатов в Elmer: скорости и давление в потоке за цилиндром при числе Рейнольдса 1000

Impact

32

- Программный комплекс для расчётов методом конечных элементов упругих и упруго-пластичных деформаций при ударах
- Аналог коммерческой программы ANSYS LS-DYNA
- Явные схемы по времени
- Программа разработана на языке Java и может быть использована в различных операционных системах (Windows, Linux, Solaris, Unix и др.)
- Impact поддерживает параллельную обработку на Java кластерах, имеет развитые интерфейсы для программ GMSH, GiD и первичный интерфейс к Nastran
- Распространяется по лицензии GPL

Impact

33

- Моделирование формоизменения, прессования, соударения тел



- Полученные данные могут использоваться и для других расчетов, например, для расчета усталостной прочности и оценки долговечности конструкции в целом или отдельных ее узлов.

Модули в Impact

34

- ❑ PreProcessor (создание геометрической модели и подготовка входного файла для расчета)
- ❑ Processor (решатель, используется для корректировки и проведения расчета)
- ❑ PostProcessor (визуализация результатов расчета)
- ❑ Graph (отображение числовых данных и графических зависимостей)
- ❑ Все выходные и входные данные представляются в текстовом виде. Они полностью открыты для пользователя и подробно описаны в документации. Получение геометрических данных из других систем осуществляется через формат STL. Модели задач могут импортироваться, например, из программ NASTRAN или GMSH.

Impact

35

Программный комплекс Impact позволяет решать следующие задачи:

- контактные пространственные задачи
- задачи разрушения
- задачи формования
- частотный анализ
- задачи с большими перемещениями
- расчет динамических моделей из упругих, неупругих и твердых тел

ФРУНД

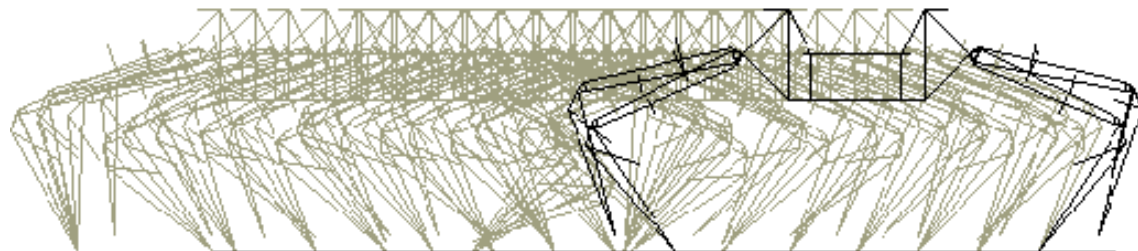
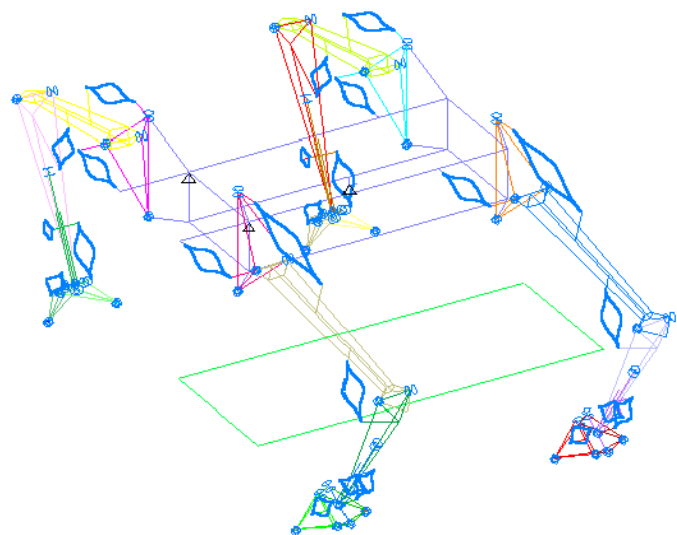
36

- Программа ФРУНД предназначена для моделирования динамики систем твёрдых и упругих тел
- ФРУНД – это программная система формирования решений уравнений нелинейной динамики, она позволяет по описанию расчётной схемы создавать уравнения математической модели динамики движения исследуемой конструкции и генерировать программу интегрирования этих уравнений, а так же производить их решение, обработку и вывод результатов.

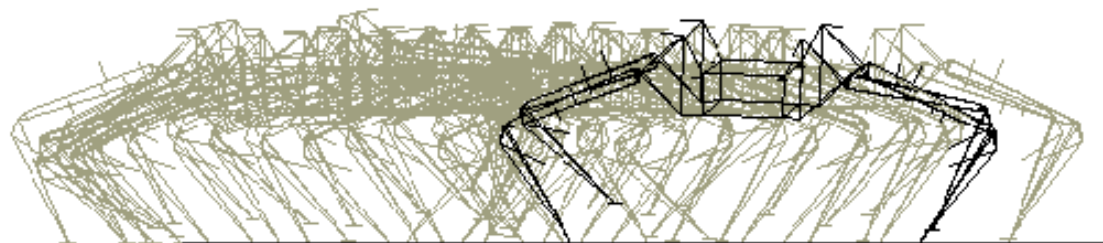
- Модели динамики систем тел для малых и больших перемещений
- Построение математических моделей и решение уравнений динамики конструкций машин и механизмов с учётом
 - / пространственного характера движений,
 - / упругих свойств отдельных тел,
 - / многомерности и нелинейности характеристик связей между телами,
 - / случайных и детерминированных нагрузок,
 - / динамического и кинематического способов возмущения

ФРУНД: пример использования

38



a)



б)

расчетная схема шагающего аппарата с двухпальцевой стопой (слева), программное (а) и управляемое (б) движение шагающего аппарата в поперечном направлении (справа)

- В качестве примеров использования ФРУНД можно также привести:
 - / задачу динамики маневрирования автомобилей,
 - / расчёт вибраций транспортных средств с учетом упругости несущих конструкций,
 - / кинематику подвески автомобилей,
 - / анализ поведения механизмов различной структуры, синтез управляемого движения многозвенных механизмов,
 - / расчёт системного удара.

Литература

40

- <http://ru.wikipedia.org/wiki/CalculiX> (CalculiX)
- <http://www.calculix.de/> (CalculiX, сайт разработчика)
- <http://www.onlinefeasolver.com/> (Online FEA Solver)
- <http://www.caelinux.org/wiki/downloads/docs/CAETutorials2011/GettingStarted.html> (CAELinux 2011)
- <http://ru.wikipedia.org/wiki/OpenFOAM> (OpenFOAM)
- <http://www.openfoam.com/> (OpenFOAM, сайт разработчика)
- <http://www.ispras.ru/ru/unicluster/conf/2011/docs/DSTU.Magomedov%20H.B.pdf> (В. Б. Мелехин, Х. Б. Магомедов. Исследование и применение методов численного моделирования в среде OpenFOAM для решения задач гидроэнергетики на базе высокопроизводительного кластера ДГТУ)

Литература

41

- <http://www.ispras.ru/ru/unicluster/workshop/2011/openfoam/docs/PermGU.GavrilovK.A.pdf> (К.А. Гаврилов, В.А. Демин, Использование пакета OpenFOAM для моделирования конвективных течений в ячейке Хелешоу)
- http://www.os-cfd.narod.ru/small_files/articleXP.pdf (М.В. Крапошин. Использование открытого кода OpenFOAM для проведения пространственных гидродинамических расчетов активной зоны ВВРД)
- <http://www.opencascade.org> (Open CASCADE)
- http://sourceforge.net/apps/mediawiki/free-cad/index.php?title=Main_Page (FreeCAD)
- <http://code.google.com/p/heekscad/> (HeeksCAD)
- <http://www.salome-platform.org/> (SALOME)

Литература

42

- http://www.caelinux.com/CMS/index.php?option=com_content&task=view&id=46&Itemid=40 (SALOME Meca)
- <http://www.code-aster.org/V2/spip.php?rubrique1> (Code Aster)
- <http://code-saturne.org/cms/> (Code Saturne)
- <http://www.laduga.ru/salome/salome.shtml> (уроки по SALOME)
- <http://www.geuz.org/gmsh/> (GMSH)
- <http://www.gidhome.com/> (GiD)
- <http://www.csc.fi/english/pages/elmer> (Elmer)
- http://impact.sourceforge.net/index_us.html (Impact)
- <http://frund.vstu.ru/> (ФРУНД, примеры)
- <http://frund.vstu.ru/wiki/doku.php/start> (ФРУНД, wiki)