

Структурный Анализ. МКЭ - CalculiX GraphiX, CalculiX CrunchiX Эффективное использование открытых пакетов SALOME, CalculiX, OpenFOAM для создания расчётных сеток в задачах МСС

Калиш С.А. (НИЦ «Курчатовский институт»)
Крапошин М.В. (НИЦ «Курчатовский институт»)
Тагиров А.М. (НИЦ «Курчатовский институт»)
Сибгатуллин И.Н. (НИИ механики МГУ им.
Ломоносова)
Стрижак С.В. (МГТУ им. Баумана)



ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЛЕКЦИИ

- CalculiX GraphiX — создание конечно-объёмных и конечно-элементных сеток, визуализация расчётов
- CalculiX CrunchiX — решение задач механики сплошных средствами метода конечных элементов



CalculiX GraphiX — Основные возможности

- В режиме пре-процессора:
 - Создание сеток в интерактивном режиме
 - Создание сеток в пакетном режиме (из блочного описания сетки)
 - Экспорт данных в сторонние форматы (ansys, openfoam, duns и пр.)
- В режиме постпроцессора:
 - Визуализация сеток
 - Визуализация результатов
 - Анимация результатов (например - собственные формы и частоты)



Работа с сетками в интерактивном режиме

- Запускаем cgx с параметром `-b <имя-файла>`
- С помощью группы команд `q<имя>` вводим геометрию
- '`g`' — создать примитив, '`q`' — закончить работу с группой, '`u`' — отменить последнюю операцию, '`b`' — начать создание примитива,
- '`1','2','3','4`' — выбор рёбер
- Результаты выполнения команд сохраняются в указанный fbd-файл (команда `save`)



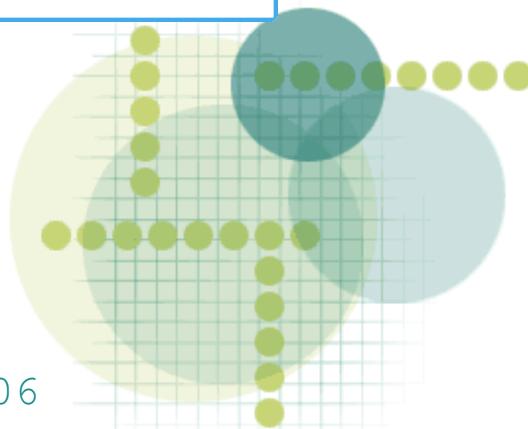
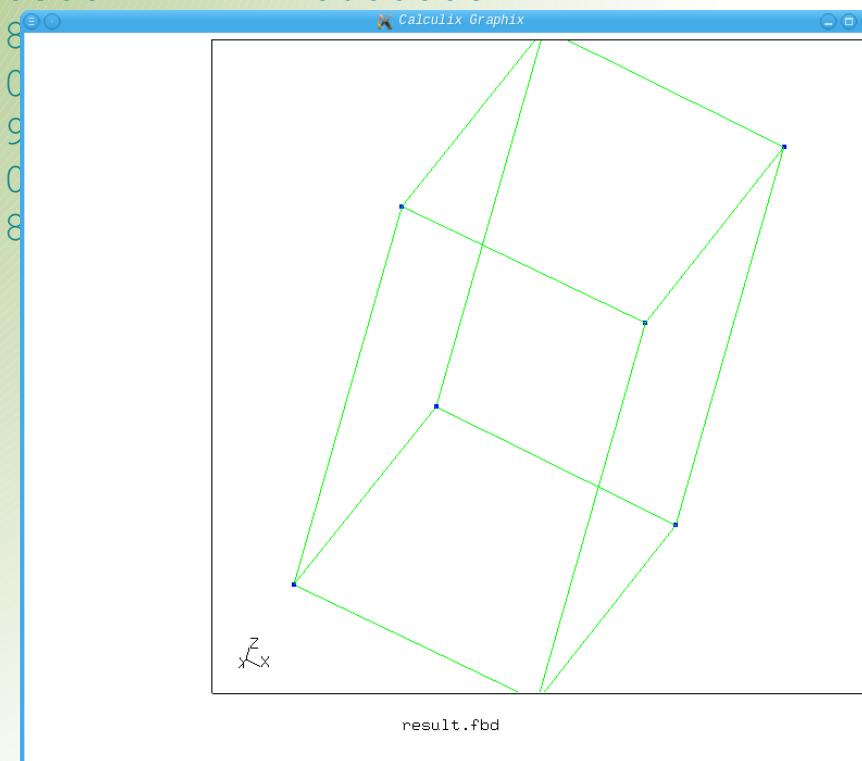
Создание примитивов в интерактивном режиме

- qpt - создание, изменение вершины (точки в пространстве)
- qlin - создание, изменение линии, ломаной или сплайна в пространстве
- qsur — создание/изменение поверхности в пространстве
- qadd — создание группы элементов
- copy — копирование группы и преобразования координат
- qbod — создание объёма (тела)



Пример работы в интерактивном режиме

```
PNT D001      0.28333      -0.40667      -0.00000
PNT D002      0.28833      -0.09333      -0.00000
PNT D003      0.02167      -0.40500      -0.00000
PNT D005      0.02500      -0.08000      -0.00000
PNT D006      0.28333      -0.40000      -0.00000
PNT D007      0.28833      -0.09000      -0.00000
PNT D008      0.02167      -0.40000      -0.00000
PNT D009      0.02500      -0.08000      -0.00000
LINE L001 D001 D002 104
LINE L002 D002 D005 104
LINE L003 D005 D003 104
LINE L004 D003 D001 104
LINE L005 D006 D007 104
LINE L006 D007 D009 104
LINE L007 D009 D008 104
LINE L008 D008 D006 104
LINE L009 D001 D006 104
LINE L00A D002 D007 104
LINE L00B D005 D009 104
LINE L00C D003 D008 104
GSUR A001 + BLEND + L004 + L001 + L002 + L003
GSUR A002 + BLEND + L008 + L005 + L006 + L007
GSUR A003 + BLEND - L00C + L004 + L009 - L008
GSUR A004 + BLEND - L009 + L001 + L00A - L005
GSUR A005 + BLEND - L00A + L002 + L00B - L006
GSUR A006 + BLEND - L00B + L003 + L00C - L007
GBOD B001 NORM - A001 + A002 + A005 + A004 + A003 + A006
```



Работа с сетками в пакетном режиме

- Принцип работы — как в blockMesh.
Пользователь вводит параметры блочной геометрии:

Вершины, соединяющие их рёбра,
поверхности, блоки, внешние поверхности
- В результате выполнения программы создаются файлы, содержащие информацию о сетке в заданном формате
- Каждая команда вводится с новой строки
- '*' - Символ строки-комментария



Создание геометрических примитивов

- Точка — PNT <ИМЯ> <DX> <DY> <DZ>
- Линия — LINE <ИМЯ> <ТОЧКИ> <РАЗБ>
- Поверхность — SURF <ИМЯ> <линии>
- Тело — BODY <ИМЯ> <ПОВЕРХНОСТИ>

Если вместо имени задать '!', то оно будет создано автоматически. При создании тела первая и вторая поверхности должны быть «верхней» и «нижней»

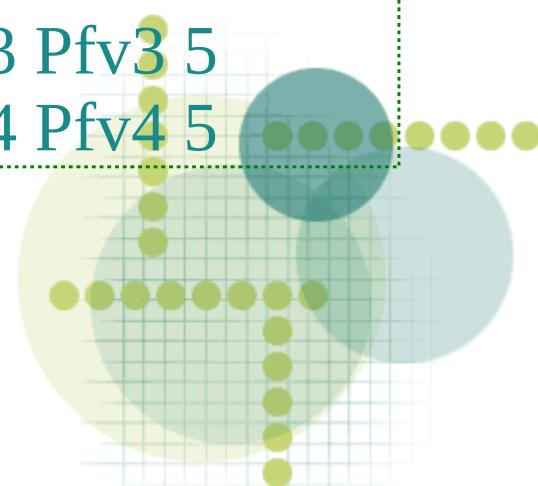


ПРИМЕР СОЗДАНИЯ БЛОКА

- PNT Pbv1 0.0 -0.5 -0.5
PNT Pbv2 10 -0.5 -0.5
PNT Pbv3 10 0.5 -0.5
PNT Pbv4 0.0 0.5 -0.5
PNT Pfv1 0.0 -0.5 0.5
PNT Pfv2 10 -0.5 0.5
PNT Pfv3 10 0.5 0.5
PNT Pfv4 0.0 0.5 0.5
- SURF SZ1 Lb1 Lb2 Lb3 Lb4
SURF SZ2 Lf1 Lf2 Lf3 Lf4

BODY B1 SZ1 SZ2

- LINE Lb1 Pbv1 Pbv2 50
LINE Lb2 Pbv2 Pbv3 5
LINE Lb3 Pbv3 Pbv4 50
LINE Lb4 Pbv4 Pbv1 5
LINE Lf1 Pfv1 Pfv2 50
LINE Lf2 Pfv2 Pfv3 5
LINE Lf3 Pfv3 Pfv4 50
LINE Lf4 Pfv4 Pfv1 5
LINE Lbf1 Pbv1 Pfv1 5
LINE Lbf2 Pbv2 Pfv2 5
LINE Lbf3 Pbv3 Pfv3 5
LINE Lbf4 Pbv4 Pfv4 5



РАБОТА С ГРУППАМИ ЭЛЕМЕНТОВ

- Создание группы / добавление
SETA <имя группы> <ключ> <имя элемента>
- Удаление элементов из группы
SETR <имя группы> <ключ> <имя элемента>
- Манипуляция группами:
SETC/SETO — Закрыть/Открыть группу
SETE — поиск групп, содержащие часть геометрии, заключённой в данной группе
SETI — поиск пересечения двух групп

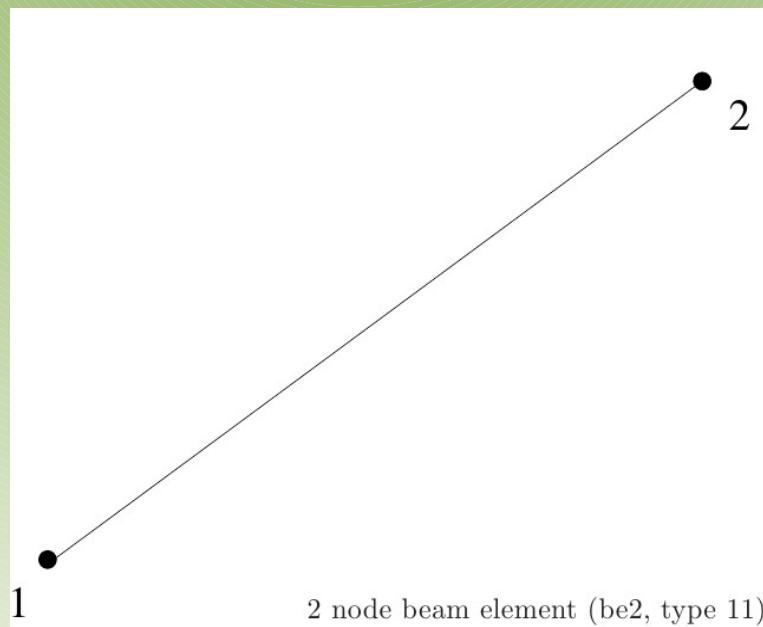


НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ РАЗБИЕНИЯ

- 1) Параметры разбиения рёбер указываются при создании линий (ключ LINE)
- 2) Выбор элементов осуществляется командой ELTY <группа> <тип элемента>
- 3) Процесс расчёта сетки запускается командой MESH <группа>
- 4) Группа по умолчанию — ALL
- 5) GraphiX строит только структурированные сетки, CrunchiX может работать и с неструктурированным

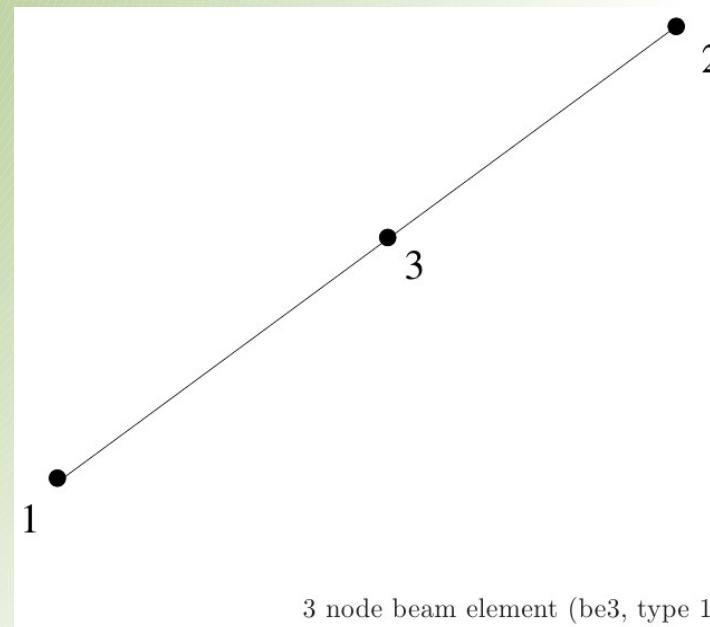


ТИПЫ ЭЛЕМЕНТОВ 1D



2 node beam element (be2, type 11)

Отрезок с двумя точками
(линейная сетка)
be2

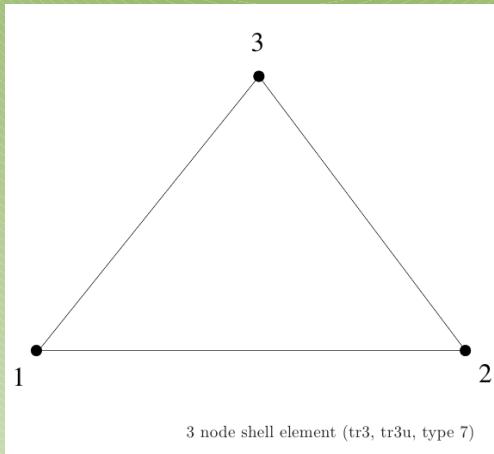


3 node beam element (be3, type 12)

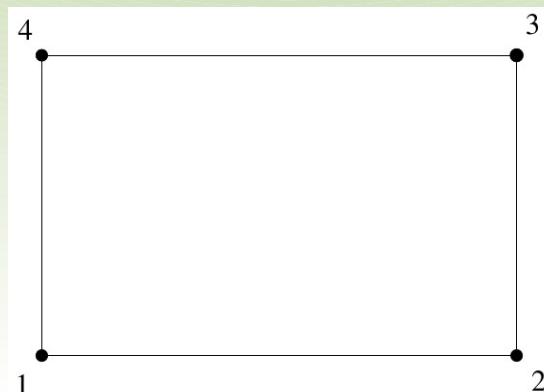
Отрезок с тремя точками
(квадратичная сетка)
be3



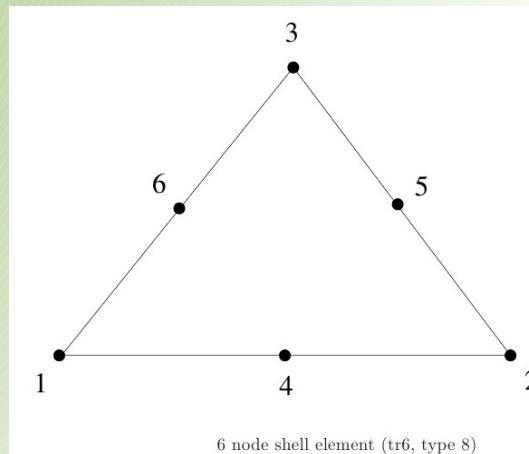
ТИПЫ ЭЛЕМЕНТОВ 2D



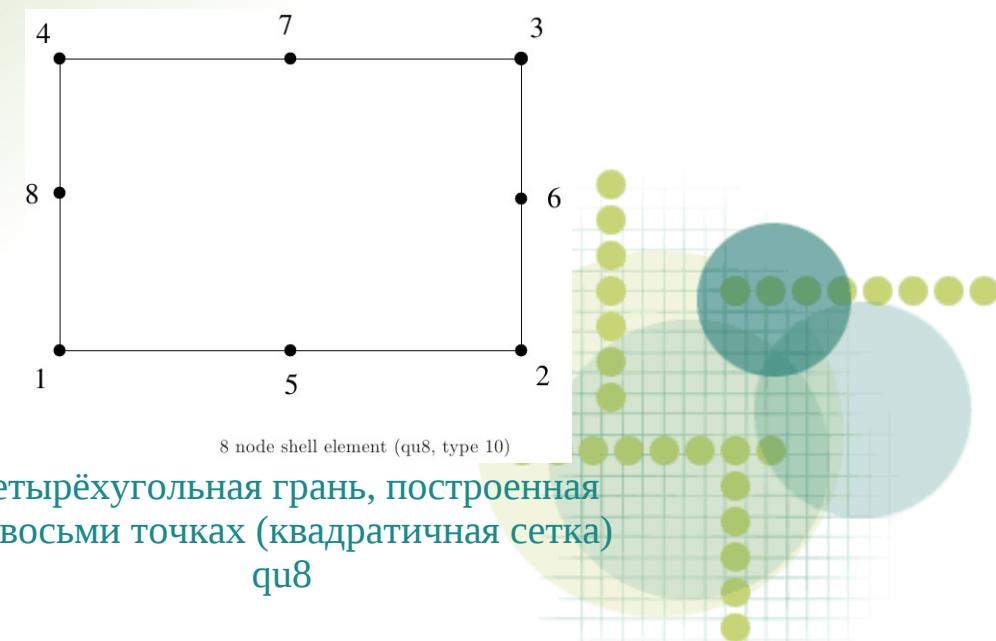
Треугольная грань, построенная на трёх точках (линейная сетка)
tr3



Четырёхугольная грань, построенная на четырёх точках (квадратичная сетка)
qu4

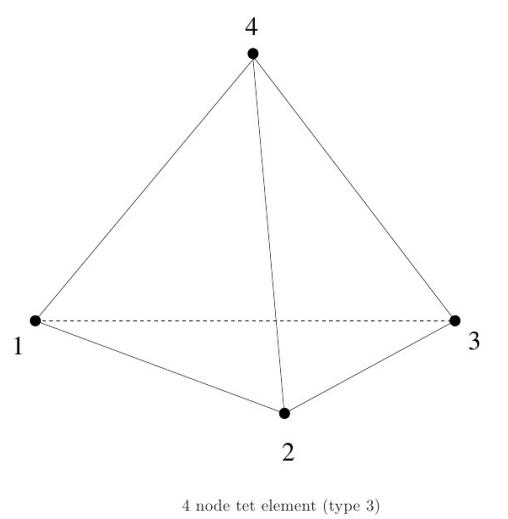


Треугольная грань, построенная на шести точках (квадратичная сетка)
tr6



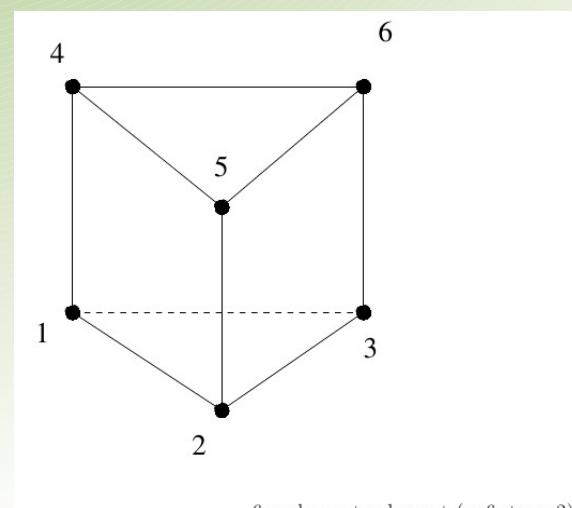
Четырёхугольная грань, построенная на восьми точках (квадратичная сетка)
qu8

ТИПЫ ЭЛЕМЕНТОВ 3D — ЛИНЕЙНАЯ СЕТКА



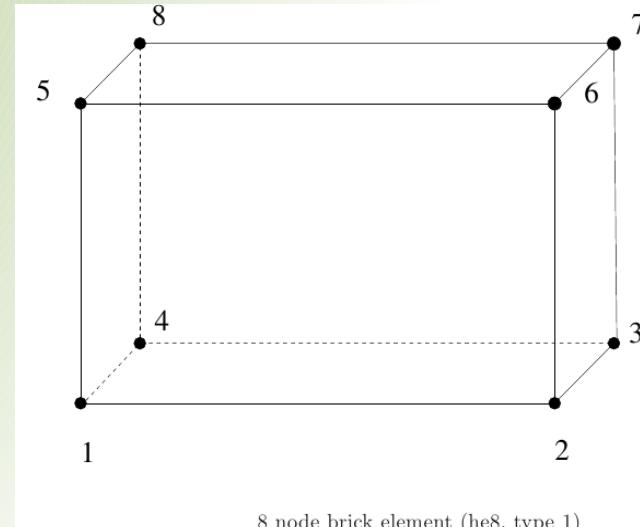
4 node tet element (type 3)

Тетраэдр, построенный по четырём точкам



6 node penta element (pe6, type 2)

Пентаэдр, построенный по шести точкам
реб

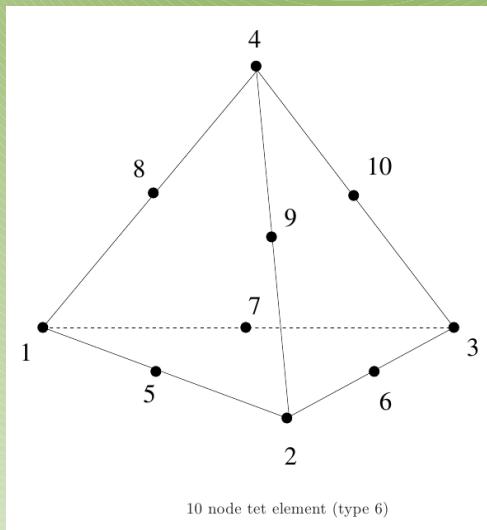


8 node brick element (he8, type 1)

Гексаэдр, построенный по восьми точкам
he8

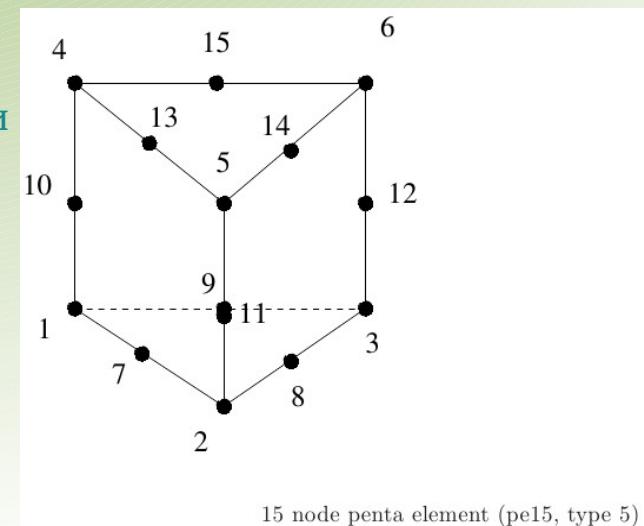


ТИПЫ ЭЛЕМЕНТОВ 3D — КВАДРАТИЧНАЯ СЕТКА



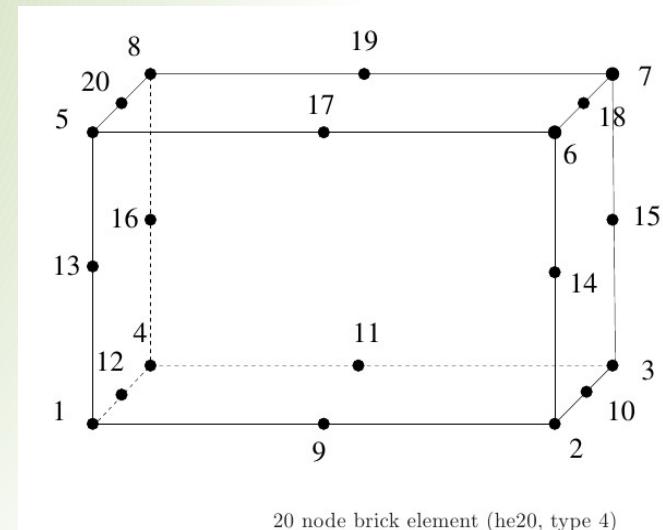
10 node tet element (type 6)

Тетраэдр, построенный по десяти точкам



15 node penta element (pe15, type 5)

Пентаэдр, построенный по пятнадцати точкам
pe15



20 node brick element (he20, type 4)

Гексаэдр, построенный по двадцати точкам
he20



Управление отображением объектов

- PLOT <ключ> <группа> - отображает указанные в ключе элементы группы (например — рёбра). Все остальные объекты скрываются
- PLUS <ключ> <группа> - добавляет к уже показанным элементам элементы указанной группы
- MINUS <ключ> <группа> - скрывает все выбранные элементы указанной группы



СОХРАНЕНИЕ ДАННЫХ НА ДИСК

- Для сохранения используется команда
SEND <группа> <формат>
- CalculiX GraphiX может сохранять в следующих форматах:
 - 1) ABQ — формат Abaqus, используется CCX
 - 2) STL — STL поверхности
 - 3) AST - Code_Aster
 - 4) ANS - Ansys
 - 5) FOAM - OpenFOAM
 - 6) NAS — Nastranи многие другие



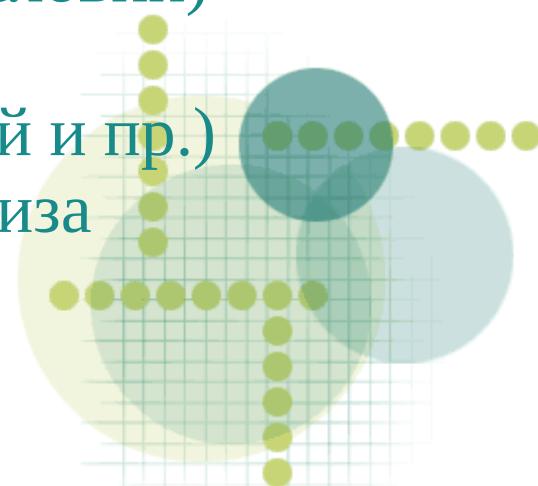
НАСТРОЙКА РАСЧЁТНОГО СЛУЧАЯ

- CalculiX CrunchiX позволяет решать широкий спектр задач механики сплошных сред:
 - Статический анализ
 - Частотный анализ, в том числе с учётом массовых сил
 - Анализ устойчивости
 - Динамический анализ (модальный и прямое интегрирование)
 - Квазистационарная динамика
 - Линейные и нелинейные задачи
 - Контактные задачи
 - Гидродинамика, Теплообмен
 - Электростатика
 - Акустика
 - И пр.



ФОРМАТ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

- Для описания исходных данных CalculiX используется формат, схожий с форматом коммерческого кода Abaqus. В большинстве случаев задача, сформулированная в пакете Abaqus, будет работать в CalculiX и наоборот.
- Всё описание следует располагать в текстовом файле с расширением '.inp'.
- Файл исходных данных содержит:
 - а) Описание сетки (вершины узлов и топологию)
 - б) Граничные условия (описание границ и условий)
 - в) Характеристики материалов
 - г) Описание типа анализа (статика, модальный и пр.)
 - д) Параметры расчёта выбранного типа анализа
 - е) Параметры записи на диск



ВВОД ДАННЫХ СЕТКИ

- Комментарии - '***' в начале строки
- Прописные и заглавные буквы не различаются
- Команды начинаются с '*', вершины узлов
***NODES**
- Ввод элементов (топологии) ***ELEMENTS**
- Параметры сетки можно расположить в
отдельном файле, например all.msh
- Подключение сторонних файлов:
***INCLUDE, INPUT=all.msh**
в названии файла прописные и заглавные
символы различаются



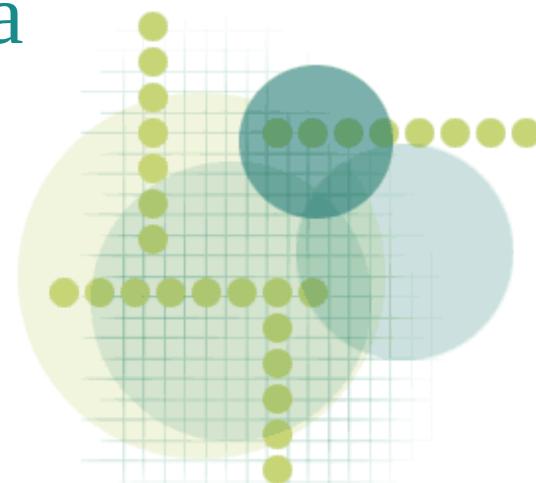
ВВОД ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

- Граничное условие на узлы вводится как и топология сетки: *Include, Input=fixed.msh
- Закрепление узлов:
`<ИМЯ ГРУППЫ>,[1-3]`
- Нагрузки вводятся при спецификации типа задачи:
 - Нагрузка на узлы:
`*CLOAD`
 - Нагрузка на элементы:
`*DLOAD`



ВВОД ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ

- Материал задаётся ключом *MATERIAL:
*MATERIAL, NAME=MATERIAL-1
- Плотность:
*DENSITY 7800.
- В случае решения упругой задачи:
*ELASTIC 2.0E+11 0.3
- Указание типа материала для набора элементов:
*SOLID SECTION , ELSET=EALL,
MATERIAL=MATERIAL-1



ВЫБОР ТИПА АНАЛИЗА

- Для выбора типа задачи используется ключ ***STEP**
 - Шагов может быть несколько
 - Статический анализ:
***STATIC**
+ нагрузки
 - Модальный анализ
***FREQUENCY <ЧИСЛО МОД>**
+ нагрузки
- Заканчивается ключом ***END STEP**



НАСТРОЙКА ВЫВОДА РАСЧЁТНЫХ ДАННЫХ

- Настройка вывода данных вводится между ключами *STEP и *END STEP:
 - 1) *NODE PRINT, NSET=NALL — вывод данных для точек из группы NALL
U — перемещения
 - 2) *EL PRINT, ELSET=EALL — вывод данных для элементов группы EALL
S — напряжения
 - 3) Данные из *NODE PRINT и *EL PRINT записываются в .dat файл
- Для записи данных, понятных для CalculiX GraphiX используются ключи:
 - 1) *NODE FILE
 - 2) *EL FILE

