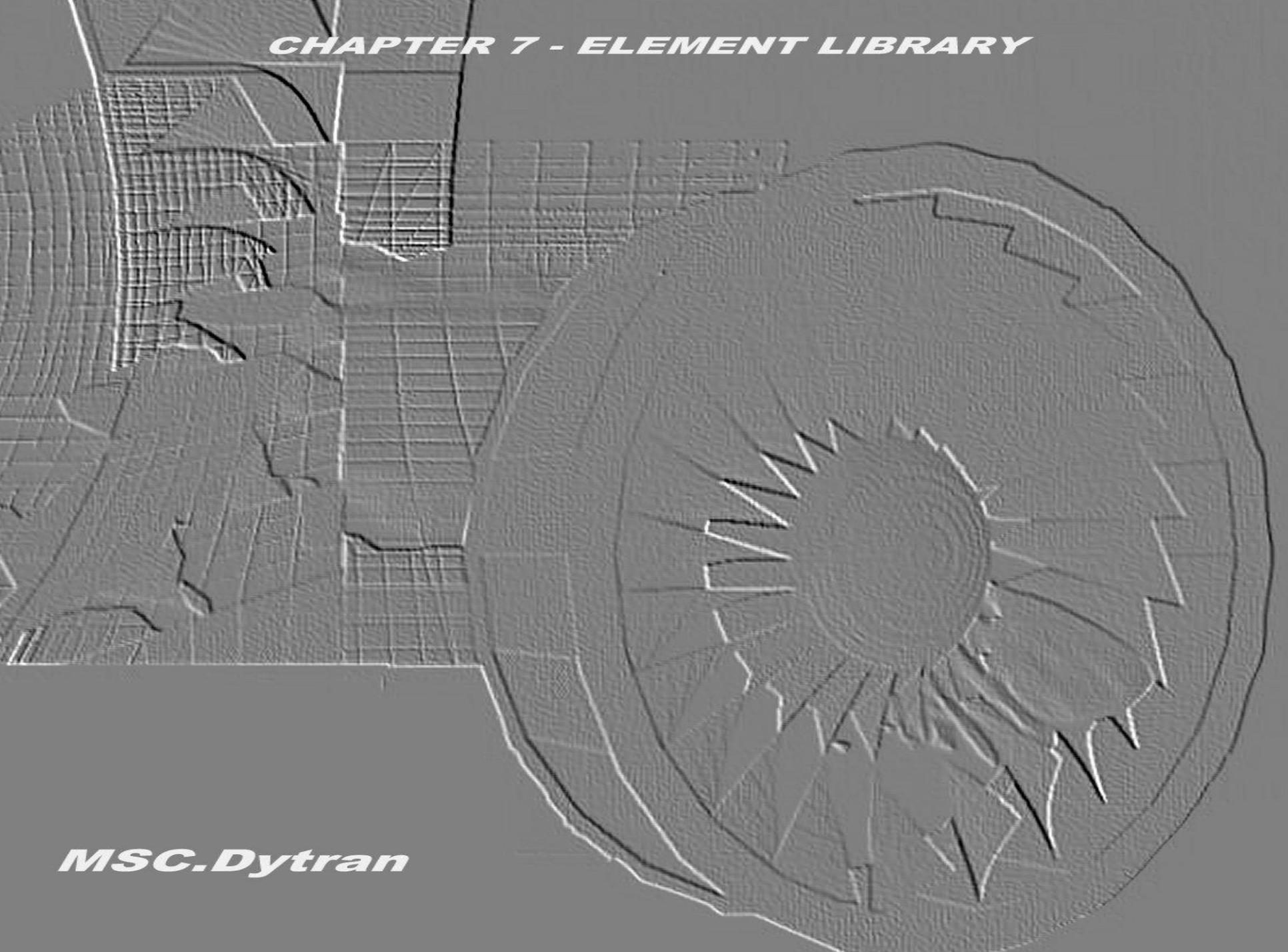


CHAPTER 7 - ELEMENT LIBRARY



MSC.Dytran

СОДЕРЖАНИЕ

- Назначение и типы элементов
- Описание элемента
- Координатные системы
- Объёмные элементы
- Оболочечные элементы
- Балочные и стержневые элементы
- Пружины и демпферы
 - Пружины
 - Демпферы
- Сосредоточенные массы

НАЗНАЧЕНИЕ И ТИПЫ ЭЛЕМЕНТОВ

- ❑ **Назначение:** используются для построения расчётных моделей
- ❑ **Типы элементов:**
 - Объёмные
 - Четырёхугольные оболочки
 - Треугольные оболочки
 - Треугольные мембраны
 - Балки
 - Стержни
 - Пружины и демпферы
 - Сосредоточенные массы
 - Жёсткие тела

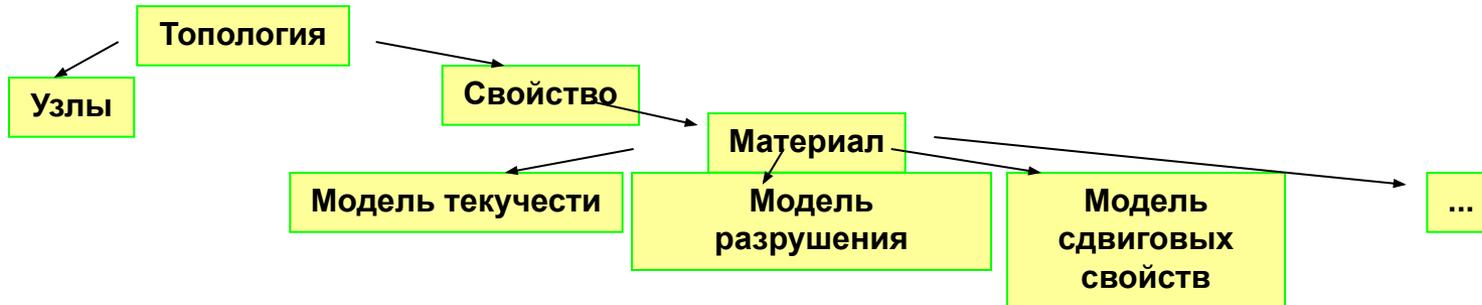
ОПИСАНИЕ ЭЛЕМЕНТА

- ❑ Для описания элемента необходимо задать:
 - Координаты узлов – задаются оператором GRID
 - Топологию элемента – задаётся оператором Sxx
 - Свойства элемента (математическую формулировку) – задаётся оператором Pxx
 - Материал – тип материала и его параметры задаются операторами DMATxx, DYMATxx или MATxx

- ❑ Каждый оператор должен иметь свой *уникальный* номер (ID). На этот номер (например, на номер оператора, описывающего свойство элемента, свойство материала и т.п.) можно ссылаться любое количество раз

ОПИСАНИЕ ЭЛЕМЕНТА

❑ “Дерево” ссылок с помощью номеров операторов (ID)



❑ Пример: описание треугольного оболочечного элемента

```

DMATER, 15, 7850., 210E9, .3
PSHELL, 5, 15, .1
CTRIA3, 55, 5, 1, 2, 10
GRID, 1, , 0., 1., 0.
GRID, 2, , 0., 2., 0.
GRID, 10, , 1., 1., 1.
  
```

Red arrows indicate cross-references: from '15' in DMATER to '5' in PSHELL; from '5' in PSHELL to '55' in CTRIA3; from '1' in CTRIA3 to '1' in GRID; from '2' in CTRIA3 to '2' in GRID; from '10' in CTRIA3 to '10' in GRID.

СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

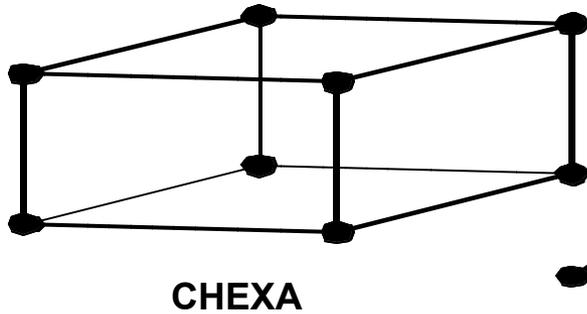
- ❑ **Основная (глобальная) система координат**
 - Это прямоугольная система координат (*система координат № 0*) используется *по умолчанию*. Все другие системы координат в конечном счёте определяются (задаются) по отношению к этой основной системе координат
 - Конфигурация элементов (по умолчанию) задаётся в основной системе координат
 - Вычисления выполняются в локальной системе координат элемента
 - Результаты расчётов по умолчанию представляются в основной системе координат

- ❑ **Локальная координатная система**
 - Расположение узлов может задаваться в локальной координатной системе, определяемой пользователем
 - Закрепления и нагрузки также могут задаваться в локальных системах координат
 - Типы координатных систем
 - ✓ Прямоугольная (x, y, z)
 - ✓ Цилиндрическая (R, Θ , Z)
 - ✓ Сферическая (R, Θ , φ)

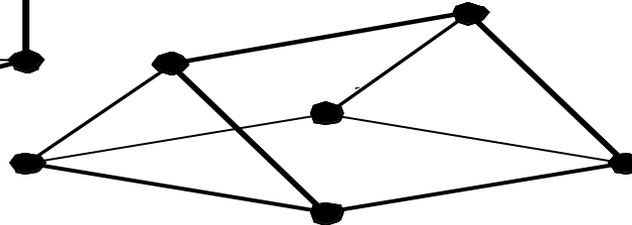
ОБЪЁМНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

- ❑ Используются для моделирования объёмных частей конструкции
- ❑ Базируются на 8-ми узлах (гексагональные элементы)
- ❑ Элементы PENTA и TETRA – редуцированные варианты восьми узлового элемента HEXA
- ❑ Уравнения, описывающие объёмные элементы, включают только три степени свободы узлов, сопряжённых с данными элементами
- ❑ Для *лагранжевых* объёмных элементов с ортотропными материалами вычисления ведутся в локальной системе координат

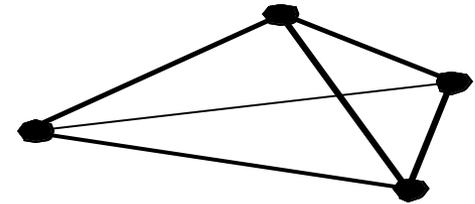
ОБЪЁМНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



HEXA



PENTA



TETRA

- ❑ **Свойства элементов задаются оператором PSOLID**
 - Пример: PSOLID, 10, 20
- ❑ **Объёмные элементы имеют одну Гауссову точку интегрирования и просты в использовании**
- ❑ **Рекомендуется избегать применения элементов PENTA и TETRA**
 - Элементы PENTA и TETRA – редуцированные формы элемента HEXA и характеризуются худшей точностью. К элементу TETRA это относится в наибольшей степени

ЗАДАНИЕ “СОЛИДНОЙ ГЕОМЕТРИИ”

- ❑ Для описания “солидной геометрии” используются операторы
 - GRID
 - CHEXA
 - PSOLID

- ❑ Пример описания объёмного лагранжева элемента 71 со свойством 100 и материалом 200

GRID, 1, , 0., 0., 0.

GRID, 2, , 1., 0., 0.

...описание узлов с 3-го по 8-ой...

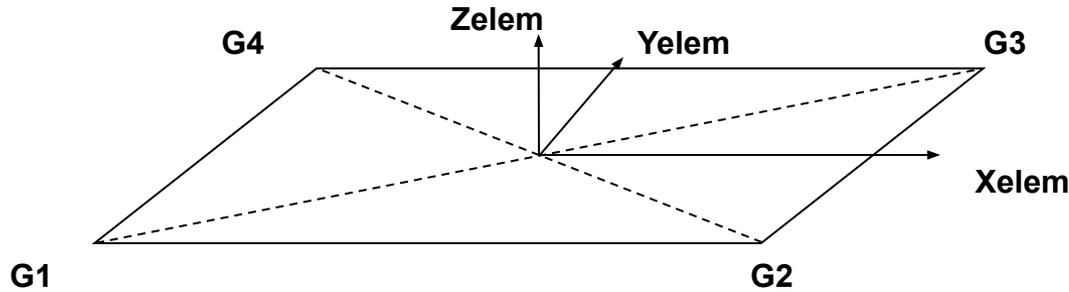
CHEXA, 71, 100, 1, 2, 3, 4, 5, 6, +

+, 7, 8

PSOLID, 100, 200

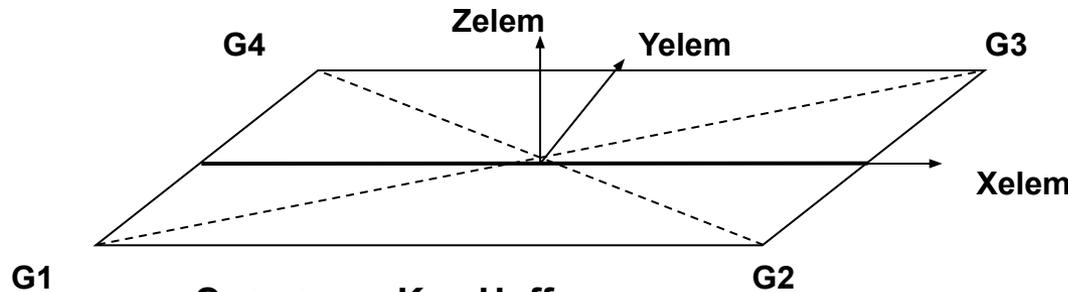
ОБОЛОЧЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

- ❑ Используются для моделирования частей исследуемой конструкции, у которых “толщина” существенно меньше “длины”
- ❑ Уравнения, описывающие оболочечные элементы, включают шесть степеней свободы узлов, сопряжённых с данными элементами
- ❑ Система координат оболочечного элемента



Элементы Belytschko-Tsay и Hughes-Liu

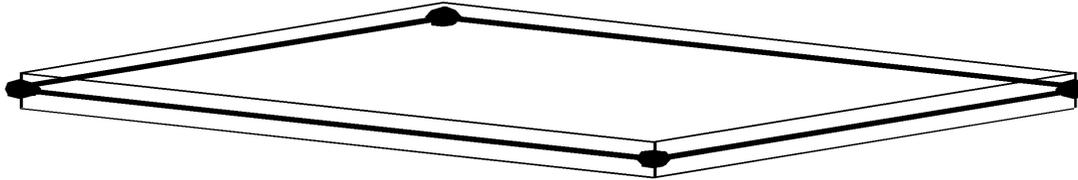
- ❑ Ось Z перпендикулярна диагоналям G1-G3 и G2-G4
- ❑ Ось X – параллельна стороне G1-G2
- ❑ Ось Y – перпендикулярна осям X и Z



Элементы Key-Hoff

- ❑ Ось Z перпендикулярна диагоналям G1-G3 и G2-G4
- ❑ Ось X параллельна линии, соединяющей середины сторон G1-G4 и G2-G3
- ❑ Ось Y – перпендикулярна осям X и Z

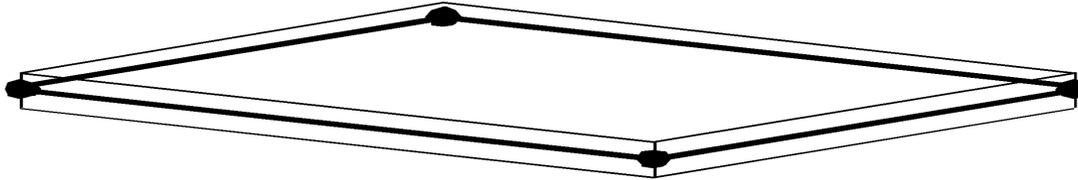
ОБОЛОЧЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



□ Элемент CQUAD4

- Элемент Belytschko-Tsay
 - ✓ Элемент базируется на оболочечной формулировке C^0 -Mindlin, имеет одну точку интегрирования и характеризуется постоянной величиной деформации
 - ✓ Очень эффективный элемент, позволяет получать хорошие результаты при больших изгибных деформациях
 - ✓ Предполагается, что элемент имеет плоскую форму и при “короблении” элемента результаты могут быть неточными
 - ✓ Толщина элемента постоянна по всей его плоскости
- Пример задания свойства элемента Belytschko-Tsay
PSHELL1, 10, 20, BLT, , , , , +
+, 0.8

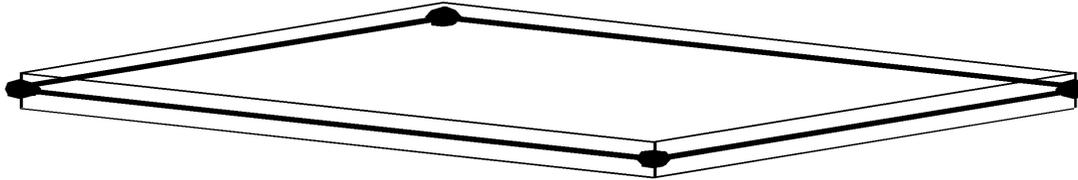
ОБОЛОЧЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



□ Элемент CQUAD4

- Элемент Hughes-Liu
 - ✓ Элемент базируется на оболочечной формулировке C^0 -Mindlin, имеет одну точку интегрирования и характеризуется постоянной величиной деформации
 - ✓ Более сложный и более вычислительно затратный по сравнению с элементом Belytschko-Tsay
 - ✓ Элемент может быть “неплоским”, однако при “короблении” элемента точность результатов может снижаться
 - ✓ Толщина по площади элемента может быть неравномерной
 - ✓ Особенно рекомендуется применять в случае использования упруго-пластической модели материала с разрушением
- Пример задания свойства элемента Hughes-Liu
PSHELL1, 10, 20, HUGHES, , , , , +
+, 0.8

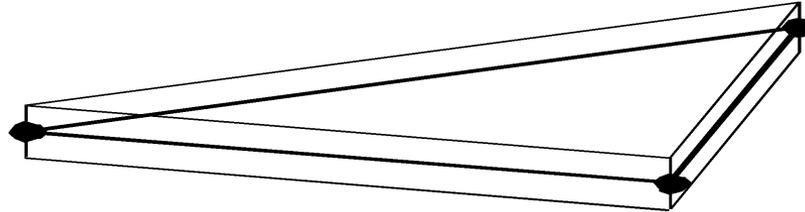
ОБОЛОЧЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



□ Элемент CQUAD4

- Элемент Key-Hoff
 - ✓ Элемент подобен элементу Belytschko-Tsay, но с некоторыми улучшениями
 - Допускается неплоскостность геометрии
 - Опция “сдвиговая жёсткость” обеспечивает учёт физически обоснованной жёсткости “коробления”
 - ✓ Высокая точность результатов при очень больших деформациях изгиба и при “короблении”
 - ✓ Не требуется контролировать бездеформационные моды деформации (деформации типа “песочные часы”) при “короблении” элементов
 - ✓ Примерно в два раза более вычислительно затратен по сравнению элементом Belytschko-Tsay
- Пример задания свойства элемента Key-Hoff
PSHELL1, 10, 20, KEYHOFF, , , , , +
+, 0.8
- При использовании оператора PSHELL для элементов CQUAD4 подразумевается формулировка Key-Hoff
PSHELL, 10, 20, 0.1

ОБОЛОЧЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



□ Элемент CTRIA3

- Элемент C0-triangle
 - ✓ Эффективный трёхузловой элемент, даёт хорошие результаты при изгибных деформациях. Этот элемент “жестче”, чем четырёхузловой элемент и вследствие этого должен применяться только в “переходных” зонах или в задачах с преобладанием изгибных деформаций
 - ✓ Пример задания свойства элемента CTRIA3
PSHELL1, 10, 20, C0-TRIA, , , , , +
+, 0.8
 - ✓ При использовании оператора PSHELL для элементов CTRIA3 предполагается формулировка C0-triangle
PSHELL, 10, 20, 0.8
- Элемент – мембрана
 - ✓ Пример описания свойств элемента – мембраны (элемент не “сопротивляется” изгибу)
PSHELL1, 10, 20, MEMB, , , , , +
+, 0.8

ЗАДАНИЕ “ОБОЛОЧЕЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ”

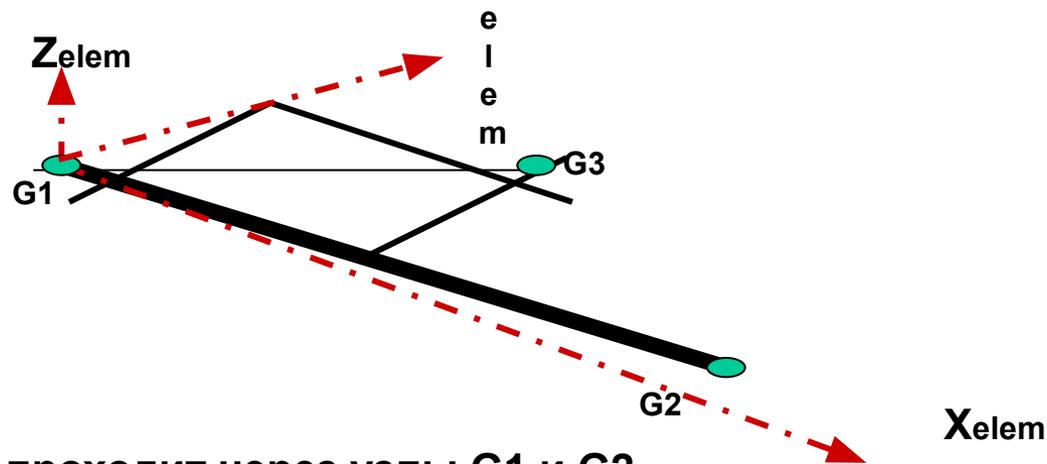
- ❑ Для описания “оболочечной геометрии” используются операторы
 - GRID
 - CQUAD / CTRIA
 - PSHELL / PSHELL1 / PCOMP

- ❑ Пример описания оболочечного элемента 71 (формулировка Belytschko-Tsay) со свойством 100 (толщина 0,1) и материалом 200

```
GRID, 1, , 0., 0., 0.  
GRID, 2, , 1., 0., 0.  
GRID, 3, , 0., 1., 0.  
GRID, 4, , 1., 1., 0.  
CQUAD4, 71, 100, 1, 2, 3, 4  
PSHELL1, 100, 200, BLT, , , , , +  
+, 0.1
```

БАЛОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

- ❑ Используются для моделирования протяжённых компонентов
- ❑ Элемент-балка сопрягается с двумя узлами (элемент 1D)
- ❑ Уравнения, описывающие балочные элементы, включают шесть степеней свободы узлов, сопряжённых с данными элементами
- ❑ Система координат элемента-балки



- Ось X проходит через узлы G1 и G2
- Положение плоскости XY определяется внешним узлом G3; ось Y перпендикулярна оси X
- Ось Z перпендикулярна осям X и Y

БАЛОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



□ Элементы CBAR и CBEAM

- Элемент Belytschko-Schwer (формулировка “по умолчанию”)
 - ✓ Эффективный балочный элемент, основанный на модели “*обобщённой*” пластичности: всё сечение балки одновременно переходит в состояние пластичности (это неприемлемо в случае важности точного моделирования “частично” пластического состояния балки)
 - ✓ Линейная зависимость изгибающего момента: переход в пластическое состояние может происходить на любом из концов
 - ✓ В отличие от MSC.Nastran, в MSC.Dytran нет разницы в формулировках между элементами CBAR и CBEAM

БАЛОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

□ Описание свойств балочных элементов

- Необходимо задание следующих свойств балочного элемента

- ✓ Площадь поперечного сечения: A
- ✓ Моменты инерции поперечного сечения: I_{yy}, I_{zz}
- ✓ Полярный момент инерции поперечного сечения: J
- ✓ Модули пластичности: Z_y, Z_z (только, если необходимо моделировать текучесть)

- Пример задания свойств элемента-балки:

PBAR, 10, 20, 49.3, 10054.0, 333.0, 5193.0

PBEAM1, 10, 20, BELY, , , , +

+, 49.3, 10054.0, 333.0, 5193.0, 651.8, 85.07

В примере с оператором PBEAM1 моделирование пластического состояния балки будет выполняться в предположении прямоугольной формы её сечения (параметр, определяющий форму сечения, имеет значение, принятое “по умолчанию”, т.е. RECT - прямоугольник)

БАЛОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



□ Элементы СВАР и СВЕАМ

- Элемент Hughes-Liu – модель “частичной” пластичности
 - ✓ Вычислительно более затратный (по сравнению с элементом Belytschko-Schwer), но обеспечивает моделирование пластического состояния части сечения и применение сложных моделей материала. Рекомендуется применять только при необходимости использования вышеуказанных возможностей
 - ✓ Изгибающий момент постоянен по длине элемента
 - ✓ Задаётся форма и размеры поперечного сечения элемента
 - ✓ Пример задания свойств элемента с прямоугольным сечением 200 мм × 100 мм (**Внимание: новый формат оператора!**):
PBEAM1, 10, 20, HLSECTS, DYTRAN, , , TSECT, , +
+, 200.0, 100.0, 0.0, 200.

БАЛОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



□ Элементы СВАР и СВЕАМ

- Композитная балка

- ✓ Форма поперечного сечения может быть произвольной, в состав балки могут входить различные материалы
- ✓ Формулировка элемента – Hughes-Liu
- ✓ Свойства элементов-композитных балок задаются оператором RBCOMP
- ✓ Пример задания свойств элемента с прямоугольным сечением (балка из трёх материалов):
RBCOMP, 10, 20, 2.9, , , , , +
+, , , , , , 1, , +
+, 0.50, 1.20, 1.0, 18, , , , , +
+, 0.20, 0.90, 1.0, 19

БАЛОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

□ Интегрирование уравнений, описывающих балочные элементы

- Два алгоритма интегрирования

- ✓ Гаусса (Gauss'a)

PBEAM1, 10, 20, HUGHES, GAUSS, , , , , +
+, 200.0, 200.0, 100.0, 100.0

- ✓ Лобатто (Lobatto)

PBEAM1, 10, 20, HUGHES, LOBATTO, , , , , +
+, 200.0, 200.0, 100.0, 100.0

В версии 2002 это не актуально (формат оператора изменился)

ЭЛЕМЕНТЫ - СТЕРЖНИ

□ Элементы CROD

- “Работают” только на растяжение-сжатие
- Высокоэффективный (в вычислительном плане) элемент. Необходимо задать только площадь поперечного сечения
- Пример задания элемента – стержня:
CROD, 1, 10, 2, 3
PROD, 10, 20, 10.73

ЗАДАНИЕ “ГЕОМЕТРИИ” ЭЛЕМЕНТОВ BEAM / ROD

- ❑ Для описания “геометрии” используются операторы
 - GRID
 - CBAR /CBEAM / CROD
 - PBAR / PBEAM / PBEAM1 / PROD

- ❑ Пример описания балочного элемента 71 со свойством 100 и материалом 200

GRID, 1, , 0., 0., 0.

GRID, 2, , 1., 0., 0.

GRID, 3, , 0., 0., 1.

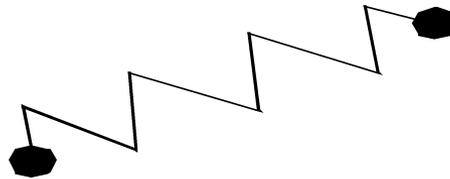
CBEAM, 71, 100, 1, 2, 3

PBEAM, 100, 200, 100., 25., 25., , 30.

ПРУЖИНЫ И ДЕМПФЕРЫ

- ❑ Используются для моделирования частей конструкции, поведение которых “напоминает” поведение пружин и демпферов
- ❑ Элементы “пружины” и “демпферы” сопрягаются с двумя узлами
- ❑ Элементы “пружины” и “демпферы” с линейными и нелинейными характеристиками
 - Пружины, имеющие ориентацию в пространстве – CSPR
 - Скалярные пружины – CELASn
 - Демпферы, имеющие ориентацию в пространстве – CVISC
 - Скалярные демпферы – CDAMPn

ЭЛЕМЕНТЫ - ПРУЖИНЫ



- **CSPR – пружины, имеющие ориентацию в пространстве**
 - Элементы CSPR сопрягаются с двумя узлами. Усилие в элементе всегда направлено вдоль прямой, соединяющей узлы, при вращении элемента соответственно поворачивается и направление действия силы

- **CELASn – скалярные пружины**
 - CELAS1 и CELAS2 могут сопрягаться с одним или двумя узлами. Направление действия силы задаётся при описании элемента и в дальнейшем не зависит от взаимного положения узлов.
 - Свойства элемента CELAS1 задаются оператором PELASn и могут линейными и нелинейными. Параметры (свойства) элемента CELAS2 указываются непосредственно в операторе, описывающем топологию элемента. Такой элемент может быть только линейным

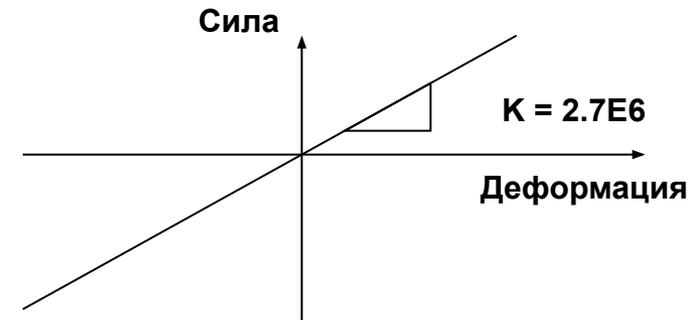
ЗАДАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ - ПРУЖИН



□ С помощью операторов PSPRn и PELASn могут быть заданы свойства трёх типов элементов – пружин

1. Линейные пружины (PSPR и PELAS)

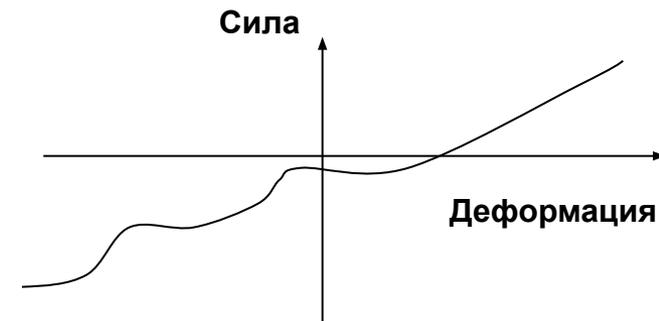
- ✓ Сила пропорциональна деформации
- ✓ Разрушение при растяжении/сжатии
- ✓ Пример: PSPR, 30, 2.7E6



2. Нелинейные пружины (PSPR1 и PELAS1)

- ✓ Нелинейная зависимость силы от деформации (она может быть любой “формы”)
- ✓ Зависимость силы от деформации задаётся таблицей TABLED1
- ✓ Пример задания пружины с нелинейными свойствами:

```
PELAS1, 30, 32
TABLED1, 32, , , , , , , +
+,-1., -1.E6, 0., 0., 1., 1.E9, ENDT
```



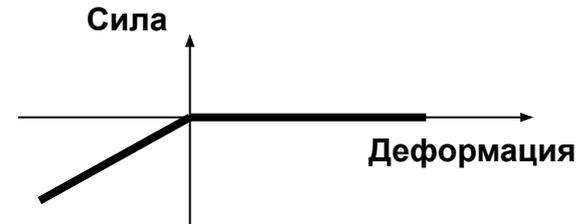
ЗАДАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ - ПРУЖИН

3. Свойства пружин, особым образом задаваемые пользователем (PSPREX, PELASEX)

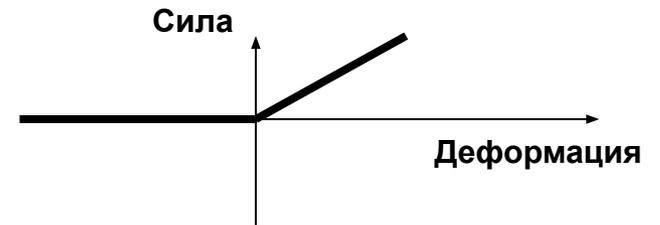
- ✓ Характеристики пружин задаются посредством *пользовательских подпрограмм*

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРУЖИН

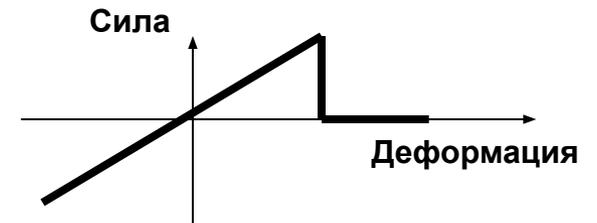
- **Моделирование зазора**
 PSPR1, 100, 110
 TABLED1, 110, , , , , , , +
 +, -1., -1.E6, 0., 0., 1., 0., ENDT



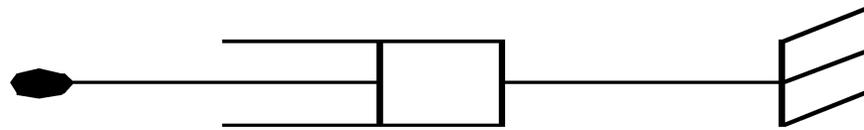
- **Моделирование тросов**
 PSPR1, 30, 32
 TABLED1, 32, , , , , , , +
 +, -1., 0., 0., 0., 1., 1.E6, ENDT



- **Разрушение компонента конструкции**
 PSPR1, 30, 32
 TABLED1, 32, , , , , , , +
 +, -1., -1.E6, 1., 1.E6, 1., 0., 2.0, 0., +
 +, ENDT



ЭЛЕМЕНТЫ - ДЕМПФЕРЫ



- **CVISC – демпферы, имеющие ориентацию в пространстве**
 - Элементы CVISC сопрягаются с двумя узлами. Усилие в элементе всегда направлено вдоль прямой, соединяющей узлы, при вращении элемента соответственно поворачивается и направление действия силы

- **CDAMPn – скалярные демпферы**
 - CDAMP1 и CDAMP2 могут сопрягаться с одним или двумя узлами. Направление действия силы задаётся при описании элемента и в дальнейшем не зависит от взаимного положения узлов.
 - Свойства элемента CDAMP1 задаются оператором PDAMPn и могут линейными и нелинейными. Параметры (свойства) элемента CDAMP2 указываются непосредственно в операторе, описывающем топологию элемента. Такой элемент может быть только линейным

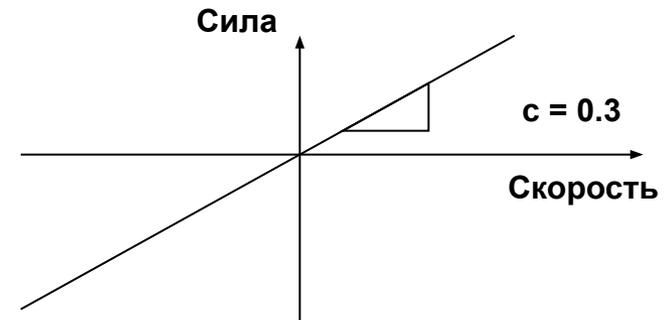
ЗАДАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ - ДЕМПФЕРОВ



□ С помощью операторов PVISCn и PDAMP могут быть заданы свойства трёх типов элементов – демпферов

1. Линейные демпферы (PVISC, PDAMP)

- ✓ Сила пропорциональна скорости деформации
- ✓ Разрушение при растяжении/сжатии
- ✓ Пример: PDAMP, 30, 2.7E6



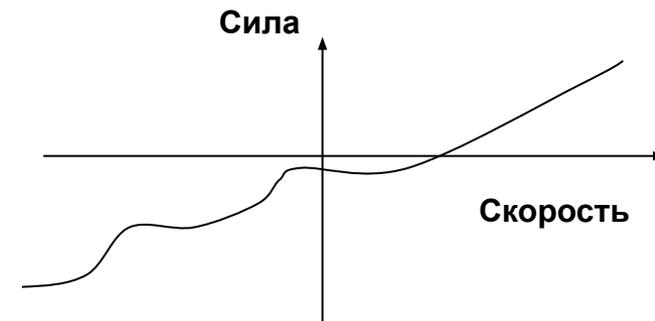
2. Нелинейные демпферы (PVISC1)

- ✓ Нелинейная зависимость силы от скорости деформации (она может быть любой “формы”)
- ✓ Зависимость силы от скорости деформации задаётся таблицей TABLED1
- ✓ Пример задания демпфера с нелинейными свойствами:

PVISC1, 30, 32

TABLED1, 32, , , , , , , +

+, -1., -1.E6, 0., 0., 1., 1.E9, ENDT



ЗАДАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ - ДЕМПФЕРОВ

3. Свойства демпферов, особым образом задаваемые пользователем (PVISCEX)

- ✓ Характеристики демпферов задаются посредством *пользовательских подпрограмм*

ЭЛЕМЕНТЫ – СОСРЕДОТОЧЕННЫЕ МАССЫ

□ Элементы CONM2

- Используются для “добавления” массы или инерции узлам лагранжевой сетки
 - ✓ Все узлы должны иметь отличную от нуля массу – либо вследствие задания соответствующих свойств элементов, сопрягающихся с данным узлом, либо за счёт использования элемента CONM2 (опять же сопрягаемого с данным узлом)
- Пример описания элемента CONM2 №7, увеличивающего на 0,1 массу, ассоциированную с узлом 9:
CONM2, 7, 9, , 0.1

ПОМНИТЕ: МАССИВНЫЕ СВОЙСТВА В MSC.DYTRAN НАДО ЗАДАВАТЬ ТОЛЬКО В ЕДИНИЦАХ МАССЫ (И НИ В КОЕМ СЛУЧАЕ НЕ В ЕДИНИЦАХ ВЕСА)!!!!

РАСПРОСТРАНЁННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

- **Использование клавиши TAB при создании входного файла**