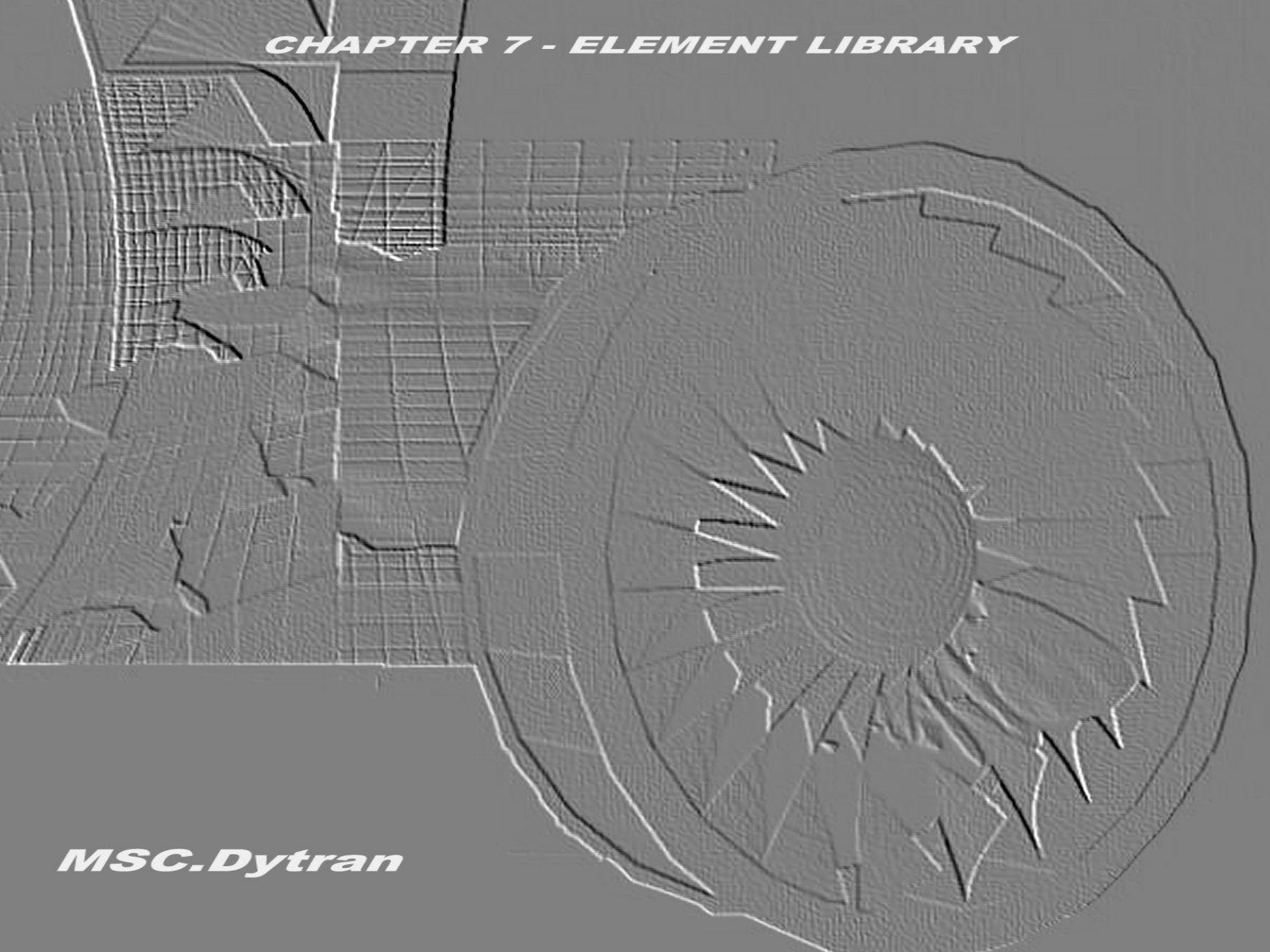


***CHAPTER 7 - ELEMENT LIBRARY***



***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

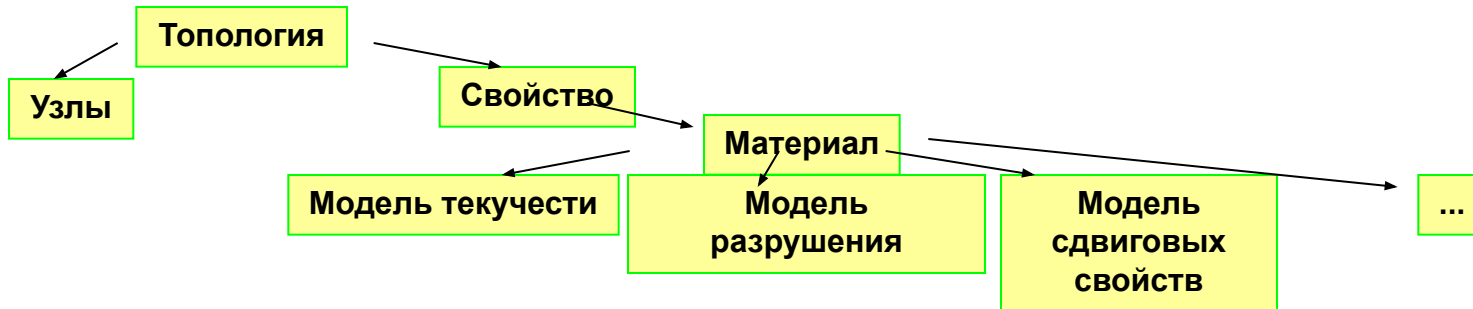
- ❑ **Назначение:** используются для построения расчётных моделей
- ❑ **Типы элементов:**
  - Объёмные
  - Четырёхугольные оболочки
  - Треугольные оболочки
  - Треугольные мембраны
  - Балки
  - Стержни
  - Пружины и демпферы
  - Сосредоточенные массы
  - Жёсткие тела

## 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,  $\Theta$ , Z)
  - ✓ Сферическая (R,  $\Theta$ ,  $\varphi$ )

## 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

CHEXA

CTETRA

CPENTA

- ❑ **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...

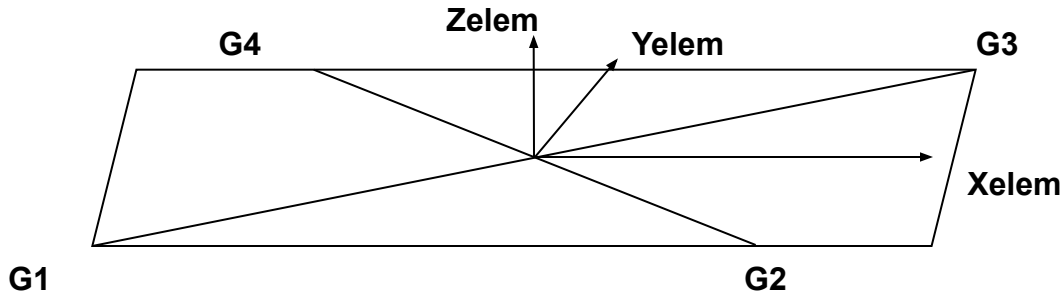
CHEXA, 71, 100, 1, 2, 3, 4, 5, 6, +

+, 7, 8

PSOLID, 100, 200

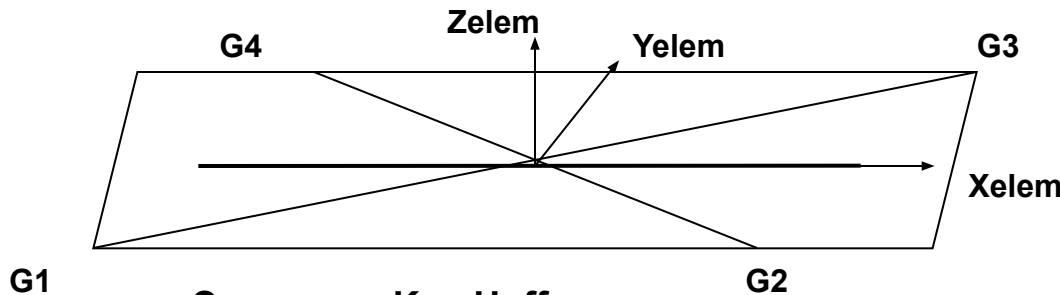
## ОБОЛОЧЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

- ❑ 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

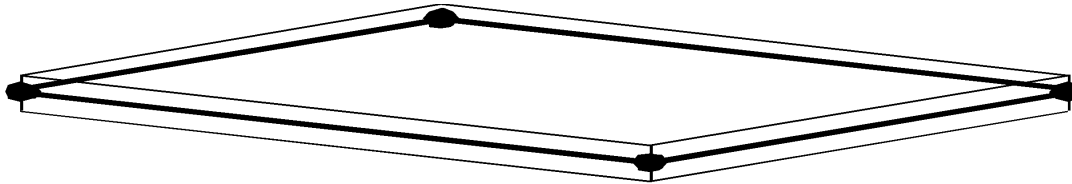
- ❑ Ось Z перпендикулярна диагоналям G1-G3 и G2-G4
- ❑ Ось X – параллельна стороне G1-G2
- ❑ Ось Y – перпендикулярна осям X и Z



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

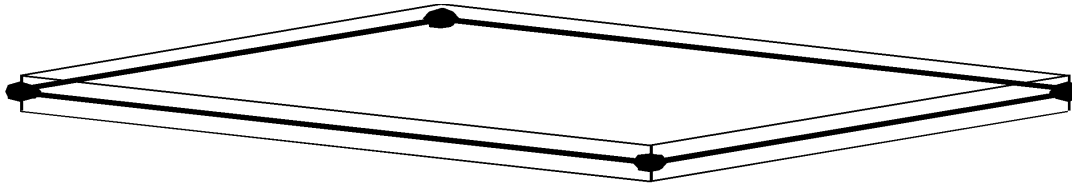
## ОБОЛОЧЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



### □ 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

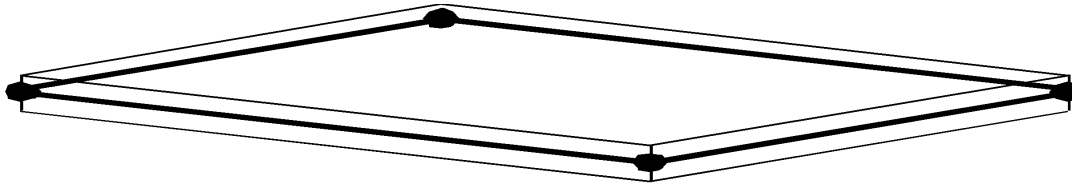
- Элемент Hughes-Liu

- ✓ 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



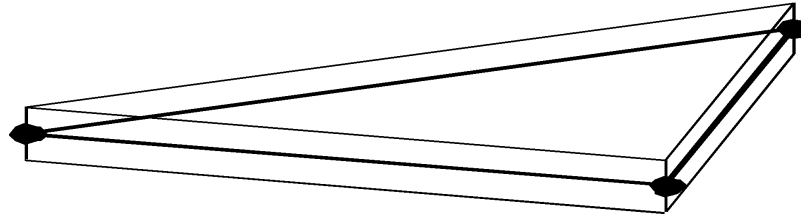
### □ Элемент CQUAD4

- 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`

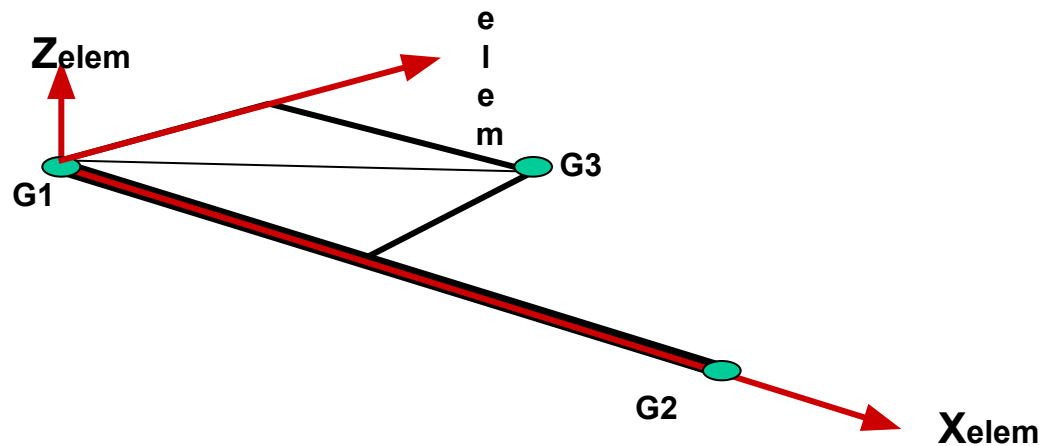
## ЗАДАНИЕ “ОБОЛОЧЕЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ”

- ❑ 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

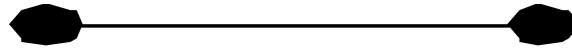
- ❑ Используются для моделирования протяжённых компонентов
- ❑ Элемент-балка сопрягается с двумя узлами (элемент 1D)
- ❑ Уравнения, описывающие балочные элементы, включают шесть степеней свободы узлов, сопряжённых с данными элементами
- ❑ Система координат элемента-балки



- 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: **Zy, Zz** (только, если необходимо моделировать текучесть)

- Пример задания свойств элемента-балки:

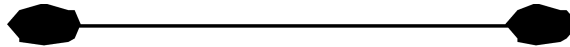
**PBAR, 10, 20, 49.3, 10054.0, 333.0, 5193.0**

**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)

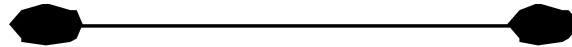
## БАЛОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



### □ 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

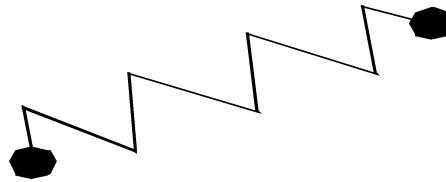
PBEAM, 100, 200, 100., 25., 25., , 30.

## 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

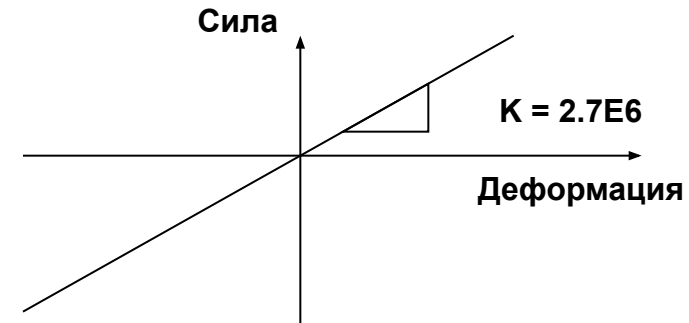
## ЗАДАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ - ПРУЖИН



□ 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



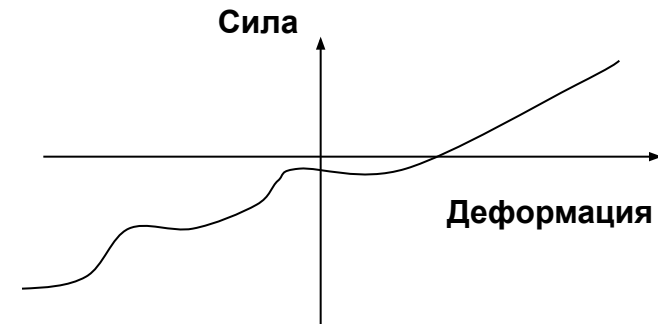
### 2. Нелинейные пружины (PSPR1 и PELAS1)

- ✓ 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



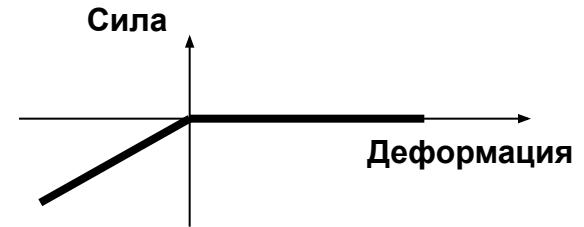
## ЗАДАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ - ПРУЖИН

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

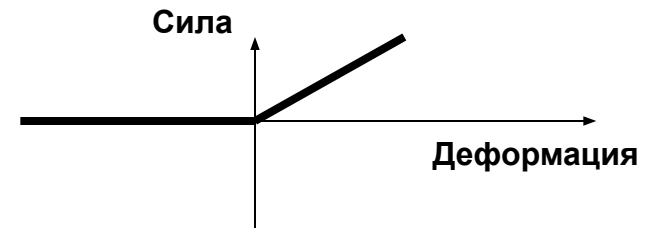
- ✓ Характеристики пружин задаются посредством *пользовательских подпрограмм*

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРУЖИН

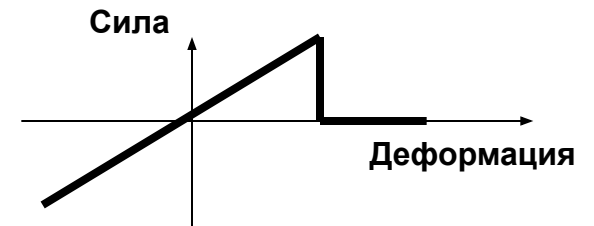
- **Моделирование зазора**  
 PSPR1, 100, 110  
 TABLED1, 110, , , , , , , +  
 +, -1., -1.E6, 0., 0., 1., 0., ENDT



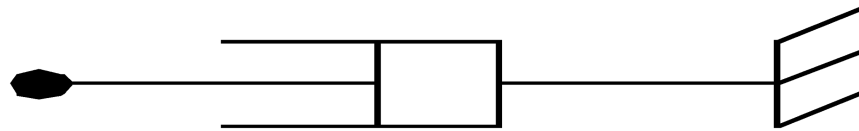
- **Моделирование тросов**  
 PSPR1, 30, 32  
 TABLED1, 32, , , , , , , +  
 +, -1., 0., 0., 0., 1., 1.E6, ENDT



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

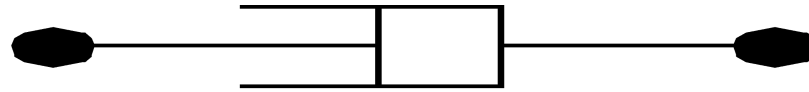


## ЭЛЕМЕНТЫ - ДЕМПФЕРЫ



- **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

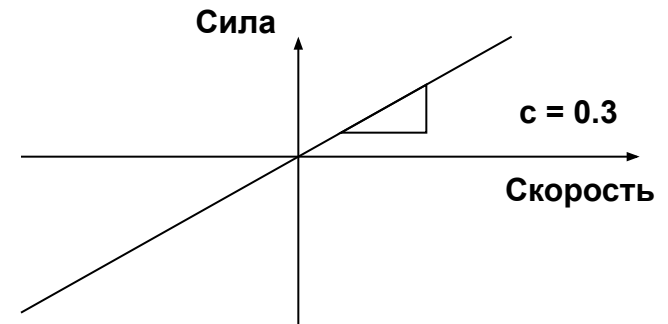
## ЗАДАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ - ДЕМПФЕРОВ



□ 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



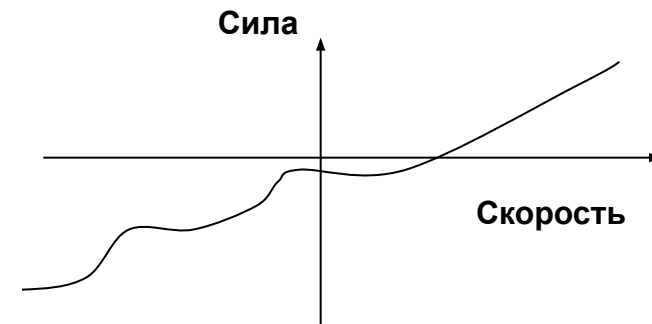
### 2. Нелинейные демпферы (PVISC1)

- ✓ 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**