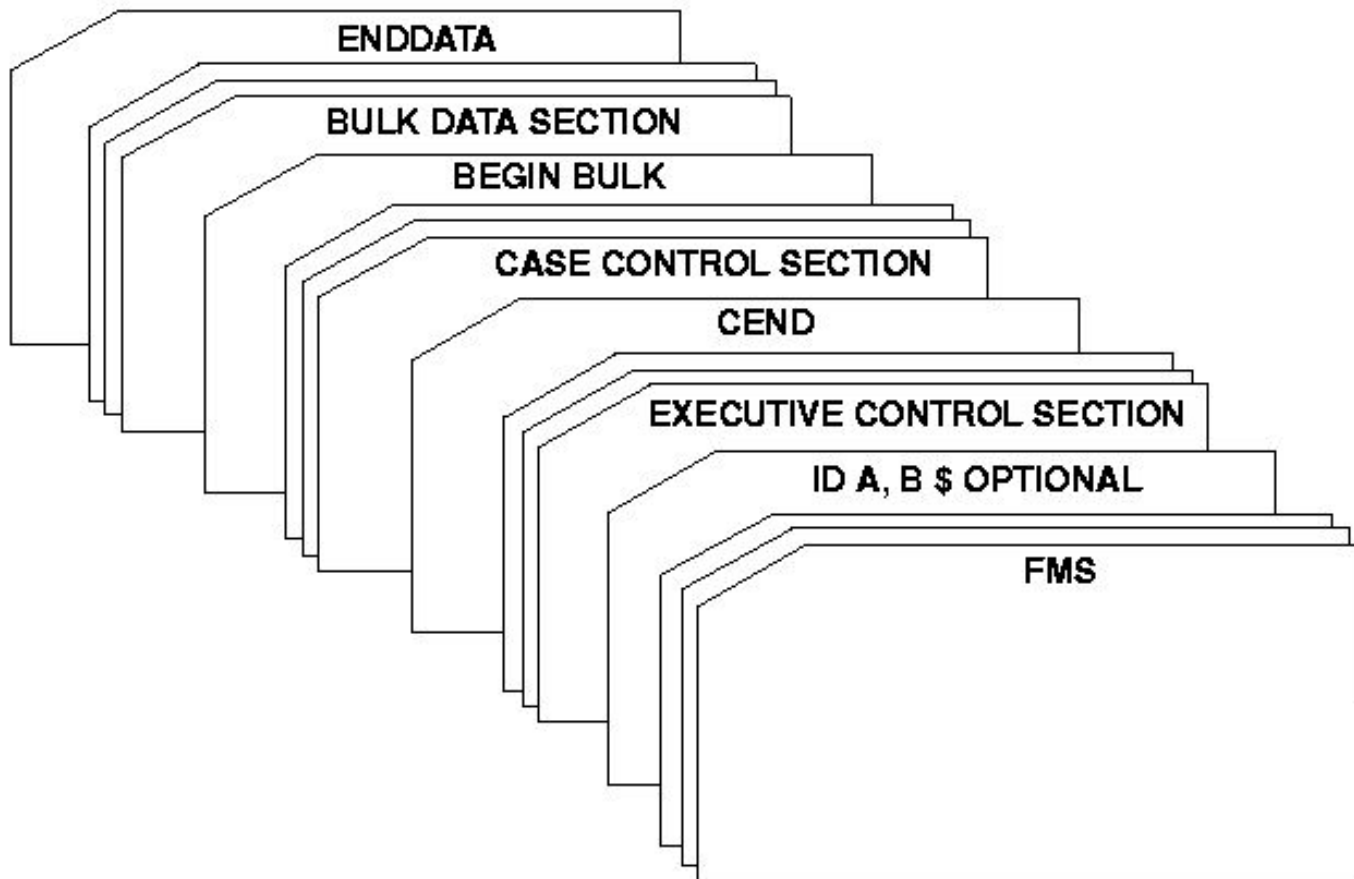


# Раздел 4

## Описание модели

# Входной файл MSC.Nastran



# Входной файл MSC.Nastran

- Секция FILE MANAGEMENT (FMS) - необязательная:
  - Развертывание файлов, контроль рестартов, работа с базой данных;
- Секция EXECUTIVE CONTROL:
  - Тип решения, предоставляемое время и системная диагностика;
- Секция CASE CONTROL:
  - Требования к выходным данным и выбор из секции BULK DATA вариантов нагрузки и закрепления.
- Секция BULK DATA:
  - Описание модели и условия решения.

# Входной файл MSC.Nastran (продолжение)

- Секция Bulk Data – это основная часть входного файла, содержащая непосредственно КЭ модель, включая нагрузки и граничные условия
- Как упоминалось выше, секция Executive Control обеспечивает общее управление решением, а секция Case Control обеспечивает индивидуальное управление условиями нагружения и результатами расчета

# Введение в секцию Bulk Data

- Секция BULK DATA содержит в себе все данные, необходимые для описания модели
- В секции Bulk Data определяются:
  - Геометрия
    - Пользовательские системы координат
    - Геометрическое положение узловых точек
  - Закрепления
  - Свойства материалов
  - Свойства элементов
  - Нагрузки
- Записи в секции BULK DATA не требуется вводить в каком-либо определенном порядке. Данные автоматически сортируются (в алфавитном порядке) перед началом анализа.

# Формат Bulk Data

- Формат секции Bulk Data:
  - Имеет до 80 символов в строке
  - Разделяется на 10 полей
- Каждый пункт, описанный в секции Bulk Data, называется «Entry» (запись)
- Каждая запись может содержать несколько строк
- Формат каждой записи определен заранее и подробно описывается в *MSC.Nastran Quick Reference Guide (QRG)*, раздел 5
- В данном разделе будут рассмотрены только основные записи, используемые при выполнении расчетов
- Для каждой рассматриваемой записи не будут детализироваться все опции, поэтому для полного описания записей, смотри QRG

# Пример записи Bulk Data

Rod элемент

CROD

Данная запись определяет ROD элемент

Формат:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CROD	EID	PID	G1	G2					

Пример:

CROD	12	13	21	23					
------	----	----	----	----	--	--	--	--	--

## Поле

## Содержание

EID	Идентификатор (номер) элемента	
PID	Идентификатор записи свойств PROD	(целое число > 0, по умолчанию EID)
G1, G2	Идентификационные номера узлов, входящих в элемент (целое число > 0, G1≠G2)	

# Формат записей Bulk Data

## □ Типы данных в полях записей:

- Integer (целое) 5
- Real (вещественное) 1.0E+7
- BCD (набор символов)

} Используются в основном для ввода данных

## □ Тип данных в каждом поле заранее определен

## □ Данные в поля необходимо вносить в строгом соответствии с их типом

## □ Целые числа вводятся без десятичной точки

## □ Примеры:

1  
134  
267



# Формат записей Bulk Data (продолжение)

- ❑ Вещественные данные имеют десятичную точку и могут содержать показатель степени
- ❑ Существует несколько способов задания одного числа
- ❑ Например, вещественное число 123.45 может быть представлено любым из следующих способов:
  - 123.45
  - 1.2345+2
  - 12.345E+01
  - .12345E3
- ❑ Все они представляют одно и то же число

# Формат записей Bulk Data (продолжение)

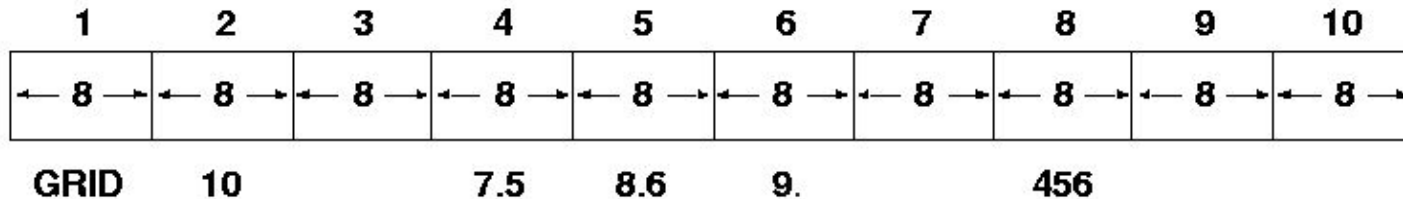
- ❑ Поле BCD (или набор символов) представляет собой текст
- ❑ Это поле обязательно должно начинаться с буквы от A до Z.
- ❑ Поле может также содержать и цифры (от 0 до 9) внутри текста
- ❑ Длина поля должна быть не более 8 символов
- ❑ Набор символов не должен содержать пробелы
- ❑ Примеры:
  - TEST123
  - X32
  - DUM1

# Формат записей Bulk Data (продолжение)

- ❑ Первое поле в записи это всегда ее имя
- ❑ Все последующие поля содержат различные данные, содержание которых зависит от типа записи
- ❑ Если запись содержит более чем одну строку, то она переносится на следующую путем использования специальных символов продолжения
- ❑ Каждая строка входных данных использует один из трех форматов:
  - ❑ Свободный формат
  - ❑ Малый формат
  - ❑ Большой формат

# Поле малого формата

- При использовании малого формата каждая строка разделяется на 10 полей
- Каждое поле содержит 8 позиций
- Этот формат используется в большинстве программ подготовки данных при записи входного файла MSC.Nastran
- Пример записи с использованием малого формата:



- Выравнивание в каждом поле данных может быть любое (по правому краю, по левому краю, по центру)

# Поле свободного формата

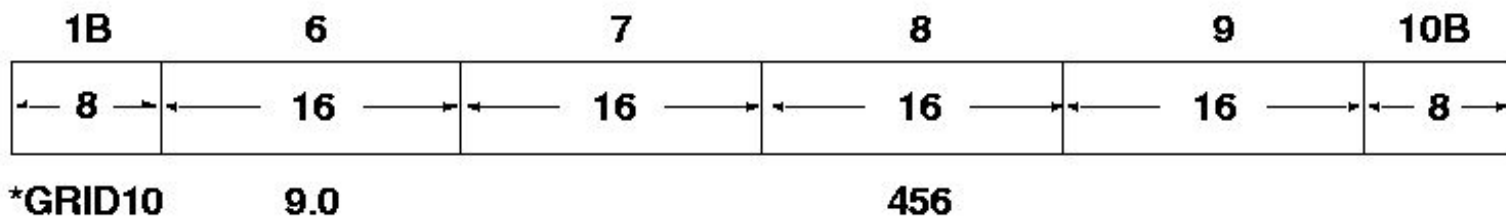
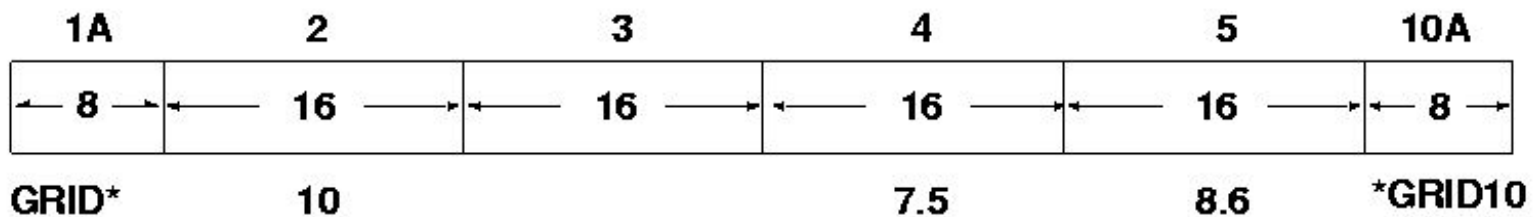
- Поля записей в свободном формате могут разделяться запятыми или пробелами (практика показывает, что для разделения полей лучше пользоваться запятыми).
- Правила:
  - Для пропуска поля используйте две запятые подряд.
  - Целые числа или текстовые поля размером более восьми символов приводят к фатальной ошибке.
  - Вещественные числа длиной более восьми символов усекаются и округляются с некоторой потерей точности. Например: 1.2345E+2 будет прочитано как 123.45, а 1.2345678+2 будет прочитано как 123.4568. Если необходимо более восьми символов, используйте большой формат поля записи.
- Пример строки из предыдущего примера:  
**GRID,10,,7.5,8.6,9.,,456**

# Поле большого формата

- В этом случае запись, как правило, занимает две строки
- Правила использования:
  - Первое и последнее поля каждой строки занимают восемь позиций, остальные - занимают по 16 позиций (четыре поля на строку исходя из длины строки в 80 символов).
  - Поле большого формата отмечается добавлением звездочки (\*) после имени записи в области 1А первой строки записи и второй знак ставится в первой колонке 1В второй строки.
- Пример поля большого формата приведен на следующем слайде

# Поле большого формата (продолжение)

## □ Пример записи большого формата



# Правила использования полей ВХОДНЫХ ДАННЫХ

- ❑ Ошибки возникают если элемент входных данных шире, чем поле для его записи
- ❑ Элементы входных данных в первом и десятом полях должны быть выровнены по левому краю. Способ выравнивания данных в полях со второго по девятое не имеет значения.
- ❑ Поля записи не должны содержать пробелы внутри себя.

Example: (free field)

G	R	I	D	,	1	0	,	,	7	.	5	,	8		.	6	,	9	.	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---	---



Одиночный пробел является разделителем, MSC.Nastran воспримет это как целое 8 вместо заданного вещественного числа 8.6. Поскольку для задания координат требуются вещественные числа, то результатом будет фатальная ошибка



# Правила использования полей входных данных (продолжение)

- ❑ Все вещественные числа, включая ноль, должны содержать десятичную точку.
- ❑ ВНИМАНИЕ - ОТСУТСТВИЕ ДЕСЯТИЧНОЙ ТОЧКИ В ВЕЩЕСТВЕННОМ ЧИСЛЕ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННАЯ ОШИБКА!
- ❑ Пустое поле интерпретируется как целое или вещественное число, в зависимости от того, как этого требует формат данных и в этом случае используется значение по умолчанию.

# Записи с продолжением

- ❑ Записи с продолжением используются, когда требуется более, чем 72 символа для того, чтобы ввести одну запись в секции BULK DATA.
- ❑ Записи с продолжением могут восприниматься системой автоматически, если записи находятся в отсортированном порядке. В этом случае исходная (порождающая) запись должна содержать пробелы в позициях 74-80 (поле 10), а строки продолжения должны содержать пробелы в позициях 2-8 (поле 1). Для записей малого формата, первая позиция строки продолжения может быть пробелом или содержать знак «+». Для большого формата - первая позиция строки продолжения должна содержать символ «\*».

# Записи с продолжением (продолжение)

## □ Правила ввода:

- Если записи не отсортированы, то «+» или «\*» необходимы в первой позиции первого поля записи продолжения, а метки записи в первом поле строки продолжения и в десятом поле первичной записи (позиции 2-8 в каждом из этих полей) должны быть идентичны.
- Любой символ в первой колонке десятого поля в первичной записи переопределяется записью продолжения.
- В одной записи данных с продолжением можно использовать одновременно и большой и малый форматы.

## □ Пример для записи в свободном формате с продолжением приведен на следующем слайде

# Записи с продолжением (продолжение)

**Начало записи:** PVAR,10,20,1.25,,,,,+PB10

**Знак плюс является необязательным. Первая позиция десятого поля в первичной строке игнорируется.**

**Продолжение записи:** +PB10,2.0,5.0,-2.0,-5.0

**Знак плюс обязательно ставится в первой позиции первого поля продолжения записи.**

# Ручная генерация / копирование

- Для экономии времени при вводе данных вручную в секции BULK DATA, повторяющиеся поля можно сгенерировать из одной определяющей записи. Правила управления этой возможностью таковы:
  - Дублирование поля из предыдущей записи осуществляется введением символа «=» в соответствующем поле.
  - Дублирование всех оставшихся полей из предыдущей записи осуществляется введением символа «==» в первом из повторяющихся полей.
  - Генерация значения с приращением относительно первоначальной записи определяется кодом \*X или \*(X), где X - целое или вещественное значение приращения. Круглые скобки являются необязательными.
  - Повторное копирование обозначается кодом = n или = (n) в первом поле, где n количество записей, которые будут сгенерированы с использованием приращения из предыдущей записи.

# Ручная генерация / копирование (продолжение)

- ❑ Правила генерации/копирования применимы ко всем записям секции **BULK DATA** если иное не оговорено в соответствующих описаниях записей в *QRG*.
- ❑ В случае использования какого-либо препроцессора такие подходы к записи входного файла не применяются.
- ❑ В этом и других семинарах будет часто использоваться такой подход для того, чтобы сократить входной файл и показать его полностью, без удаления каких-либо частей.

# Генерация записей с продолжением

- Поля продолжения (поля 1 и 10) могут быть сгенерированы с использованием следующих соглашений:
  - Могут быть использованы только целые числа и буквы алфавита. Это последовательность символов 0, 1, 2,...,8, 9, A, B,...,Z, которая позволяет закодировать 36 строк.
  - Первый символ в поле 1 или 10 не увеличивается.
  - MSC.Nastran увеличивает поля продолжения на единицу. Данные, введенные пользователем в эти поля игнорируются.
  - Число символов в размножаемом поле не возрастает. Например, если в поле продолжения в первой записи стоит 0, то в поле продолжения в 37-ой записи будет также 0 - в результате получаем неверное дублирование. Способ решения этой проблемы состоит в том, чтобы в поле продолжения в первой записи поставить 00. Это обеспечит 36 уникальных полей переноса.
  - Примеры использования этих правил для записей в большом и малом форматах приведены в разделе 3.5.1 *MSC.Nastran Handbook for Linear Analysis*.

# Примеры генерации / копирования

INPUT BULK DATA DECK ECHO

```
.      1 .. 2 .. 3 .. 4 .. 5 .. 6 .. 7 .. 8 .. 9 .. 10
.
GRID,1,,1.,0.,0.
=,*(1),,*(1.),== $GRID GENERATION CARD
=(3)           $GRID REPLICATION CARD
CBEAM,100,1,1,2,0.,1.,0.
=,*10,=,*1,*1,== $CBEAM GENERATION CARD
=2           $CBEAM REPLICATION CARD
PBEAM,1,1,24.,72.,32.
,3.,-2.,3.,2.,-3.,2.,-3.,-2. $PBEAM CONTINUATION CARD
,YESA,0.2 $PBEAM CONTINUATION CARD
,=,*0.2 $GENERATION OF PREVIOUS CARD
=3 $REPLICATION OF PREVIOUS CARD
EIGR,10,MGIV,,30.
,MASS $EIGR CONTINUATION CARD
$
ENDDATA
INPUT BULK DATA CARD COUNT =      15
```



# Пример генерации / копирования (продолжение)

S O R T E D B U L K D A T A E C H O

CARD	COUNT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1-	CBEAM	100	1	1	2	0.	1.	0.				
2-	CBEAM	110	1	2	3	0.	1.	0.				
3-	CBEAM	120	1	3	4	0.	1.	0.				
4-	CBEAM	130	1	4	5	0.	1.	0.				
5-	EIGR	10	MGIV		30.						+000008	
6-	++000008MASS										+000009	
7-	GRID	1		1.	0.	0.						
8-	GRID	2		2.	0.	0.						
9-	GRID	3		3.	0.	0.						
10-	GRID	4		4.	0.	0.						
11-	GRID	5		5.	0.	0.						
12-	PBEAM	1	1	24.	72.	32.					+000001	
13-	++0000013.		-2.	3.	2.	-3.	2.	-3.	-2.		+000002	
14-	++000002YESA		0.2								+000003	
15-	++000003YESA		.4								+000004	
16-	++000004YESA		.6								+000005	
17-	++000005YESA		.8								+000006	
18-	++000006YESA		1.0								+000007	
	ENDDATA											
	TOTAL COUNT=											19

# Распространенные ошибки в формате записей

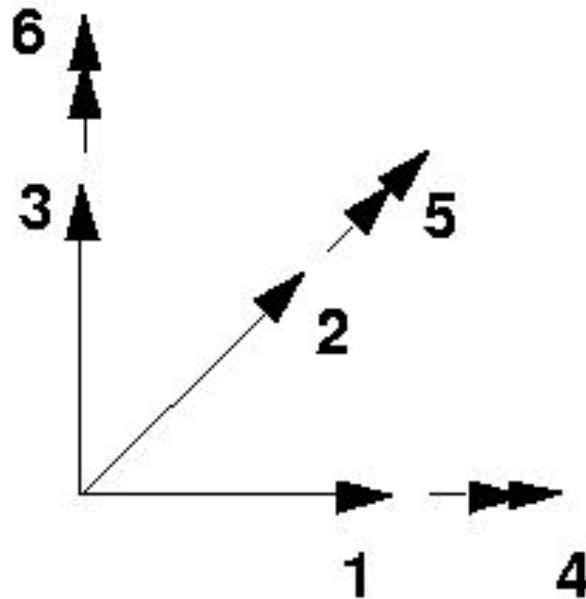
- Следующие ошибки являются наиболее распространенными, приведем способы как их избежать:
  - Неправильная постановка разделителей (особенно при пользовании пробелами) в записях при пропуске полей - причина фатальной ошибки. Удостоверьтесь, что вы поставили правильное количество пробелов, а лучше поставьте необходимое количество запятых для пропуска полей данных.
  - Не допускайте ошибок при вводе целых и вещественных чисел там, где они необходимы. Смотрите формат каждой записи в *MSC.Nastran QRG*.
  - Удостоверьтесь, что вы заполнили все необходимые поля в записях секции BULK DATA.

# Узловые точки

- После того как мы рассмотрели существующие форматы записей, перейдем непосредственно к описанию основных записей:
- Узловые точки определяют:
  - Геометрию конструкции
  - Степени свободы конструкции
  - Точки, в которых запрещены перемещения или приложены нагрузки
  - Места вывода результатов расчета
- Каждая запись GRID ссылается на две системы координат. Одна для определения положения узла и другая для задания системы координат перемещений узла, которая определяет для данного узла направления перемещений (степеней свободы), закреплений и векторов решения.

# Система координат перемещений

- Шесть степеней свободы (DOF) идентифицируются как 1, 2, 3, 4, 5, 6



# Система координат перемещений (продолжение)

- Здесь и далее следующие обозначения используются для определения компонент движения узлов:

DOF 1 = T1 =  $u_1$  - движение в направлении 1

DOF 2 = T2 =  $u_2$  - движение в направлении 2

DOF 3 = T3 =  $u_3$  - движение в направлении 3

DOF 4 = R1 =  $\Theta_1$  - вращение вокруг направления 1

DOF 5 = R2 =  $\Theta_2$  - вращение вокруг направления 2

DOF 6 = R3 =  $\Theta_3$  - вращение вокруг направления 3

- Каждая узловая точка может использовать для расчета отдельную систему координат, с которой и ассоциируются степени свободы T1-R3

# Запись GRID

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GRID	ID	CP	X1	X2	X3	CD	PS	SEID	
GRID	101	0	5.0	10.0	2.0	1	123		

## Поле

## Содержание

**ID** Идентификатор (номер) узла

**CP** Идентификатор системы координат, в которой задано положение точки (целое число  $\geq 0$  или пробел) (по умолчанию базовая система координат)

**X1, X2, X3** Координаты узла в системе координат CP (веществ.)

**CD** Идентификатор системы координат, в которой определяются перемещения, степени свободы, ограничения и вектор решения для данного узла. (Целое число  $\geq 0$  или пробел, по умолчанию базовая система координат)

**PS** Постоянные закрепления (граничные условия для одиночной точки), связанные с узлом (цифры от одного до шести не разделенные пробелами)

**SEID** Идентификатор суперэлемента

# Запись GRID (продолжение)

- Еще раз обратим внимание на то, что в записи GRID есть ссылки на две координатные системы:
  - CP = “позиция” - определяет положение узла в пространстве
  - CD = “перемещения” - относительно нее рассчитываются перемещения узла, в также задаются граничные условия
- Эти координатные системы могут быть прямоугольными, цилиндрическими и сферическими.
- Системы координат задаются записями CORD1R, CORD2R, CORD1S, CORD2S, CORD1C, и CORD2C
- В записях CORDxx: R=прямоугольная, C=цилиндрическая, S=сферическая

# Системы координат

- Системы координат необходимы для определения положения узловых точек в пространстве и для ориентации векторов перемещений в каждой узловой точке.
- В MSC.Nastran могут использоваться следующие системы координат:
  - Базовая система координат - по умолчанию все координаты задаются в прямоугольной системе координат (система координат 0). Ориентация этой системы определяется пользователем с помощью компонент координат узловых точек.
  - Альтернативные (локальные) системы координат. Для облегчения ввода положения точек могут быть определены альтернативные системы. Каждая локальная система должна быть прямо или косвенно связана с базовой системой координат.



# Системы координат (продолжение)

- ❑ Записи CORD1R, CORD1C и CORD1S определяют локальную систему координат, ссылаясь на идентификаторы трех уже имеющихся узловых точек. Остерегайтесь того, что при модификации модели или изменении положения опорных точек, будет также изменена ориентация системы координат.
- ❑ Записи CORD2R, CORD2C и CORD2S определяют локальную систему координат, по координатам трех точек.
- ❑ Глобальная система - совокупность всех систем координат на которые есть ссылки в записях GRID. (Заметим, что некоторые конечноэлементные системы используют термин "Глобальная система координат" для ссылки на эквивалент базовой системы координат MSC.Nastran).
- ❑ Все угловые координаты вводятся в градусах. Вывод угловых величин осуществляется в радианах.

# Прямоугольная система координат

- Задается с помощью записей CORD1R или CORD2R
- A, B, и C - точки, используемые для определения локальной системы координат (смотри след. слайд)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CORD2R	CID	RID	A1	A2	A3	B1	B2	B3	
	C1	C2	C3						

Пример:

CORD2R	3	17	-29	10	00	36	00	10	
	5.2	1.0	-29						

## Поле

## Содержание

**CID** Идентификатор (номер) координатной системы

**RID** Идентификатор системы координат, относительно

которой определяется данная система координат (целое

число, по умолчанию 0, что

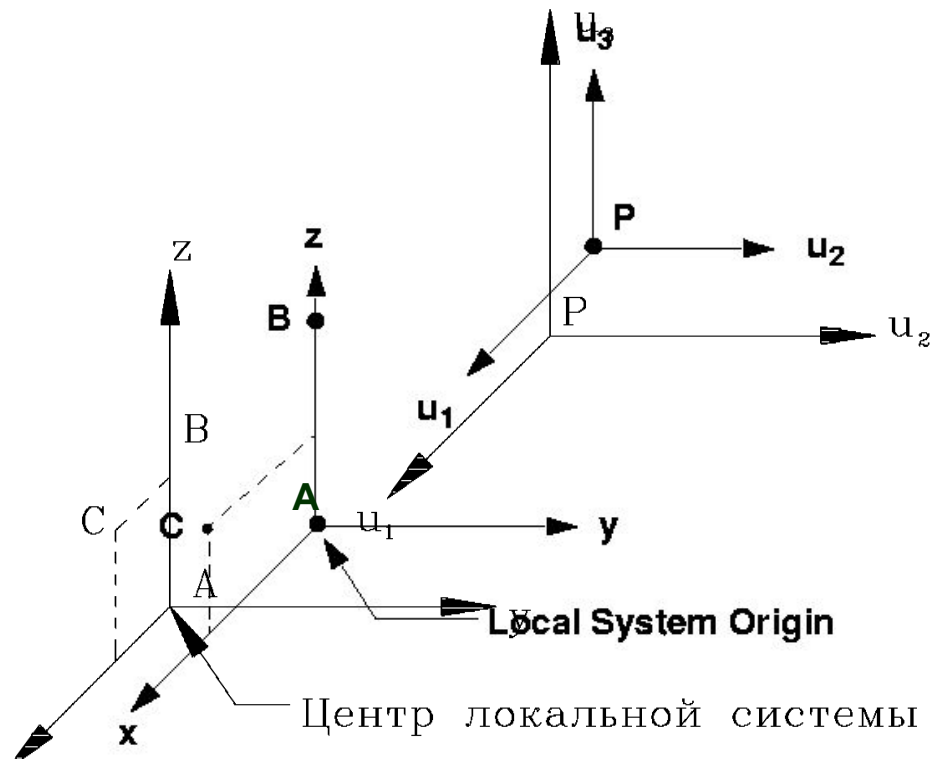
означает - базовая

система координат)

**A<sub>i</sub>, B<sub>i</sub>, C<sub>i</sub>** Координаты трех точек в системе координат RID

(веществ.)

# Прямоугольная система координат (продолжение)



$U_1$  = направлению  $x$   
 $U_2$  = направлению  $y$   
 $U_3$  = направлению  $z$

# Прямоугольная система координат (продолжение)

- Если положение узла определяется с использованием локальной системы, то компоненты ( $X_1$ ,  $X_2$ , и  $X_3$ ) задаются в локальных направлениях  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  этой системы (относительно ее начала).
- Если эта система используется как CD (выходная система) в записи GRID, тогда локальные  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$  просто параллельны осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  этой системы координат

# Цилиндрическая система координат

- Задается с помощью записей CORD1C или CORD2C
- A, B, и C - точки, используемые для определения локальной системы координат (смотри след. слайд)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CORD2C	CID	RID	A1	A2	A3	B1	B2	B3	
	C1	C2	C3						

Пример:

CORD2C	3	17	-29	1.0	0.0	36	0.0	1.0	
	52	1.0	-29						

Поле

Содержание

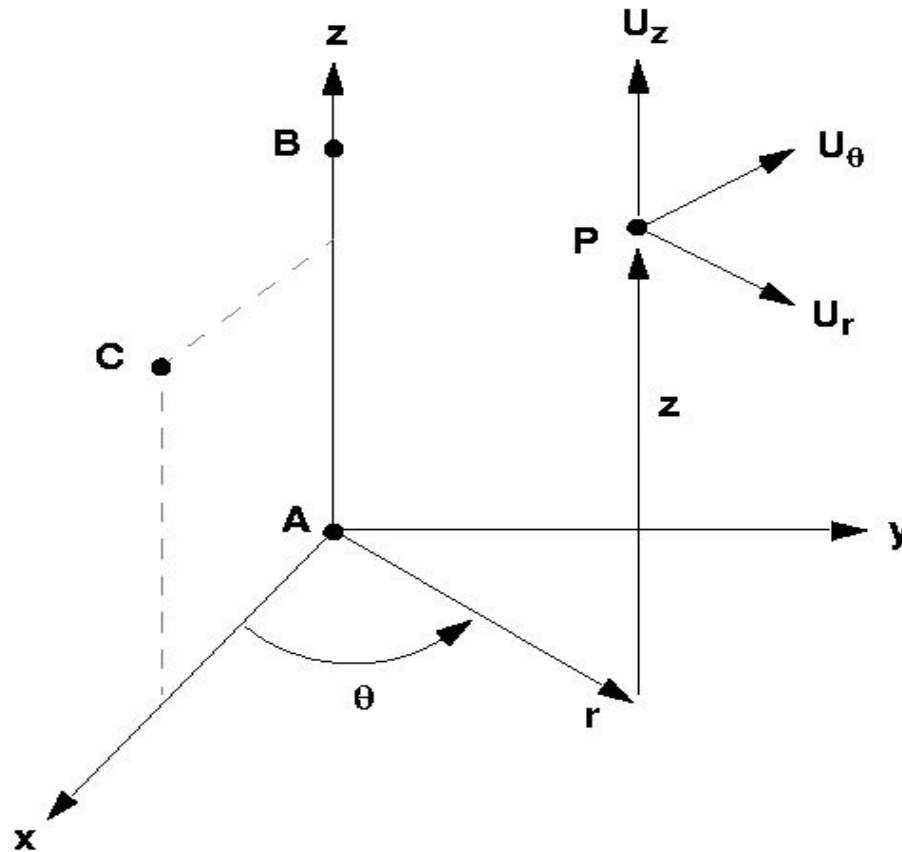
CID Идентификатор (номер) координатной системы

RID Идентификатор системы координат, относительно которой определяется данная система координат (целое число, по умолчанию 0, что означает - базовая система координат)

A<sub>i</sub>, B<sub>i</sub>, C<sub>i</sub> Координаты трех точек в системе координат RID (веществ.)

# Цилиндрическая система координат (продолжение)

Локальная цилиндрическая система координат  $(r, \theta, z)$



# Цилиндрическая система координат (продолжение)

- Если положение узла (GRID) определяется с использованием такой системы координат, то компоненты ( $X_1$ ,  $X_2$ , и  $X_3$ ) будут в локальных направлениях  $R$ ,  $\theta$  и  $Z$  этой системы (относительно ее начала).
- Если эта система используется как CD в записи GRID, тогда локальные  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$  определяются следующим образом:
  - $U_1$  – компонента параллельна радиус-вектору
  - $U_3$  – компонента параллельна оси  $Z$
  - $U_2$  – компонента определяется по правилу правой руки (положительна в направлении  $T\theta A$ )
- Это значит, что при использовании цилиндрической системы координат, система перемещений может быть разной для каждого из узлов

# Сферическая система координат

- Задается с помощью записей CORD1S или CORD2S
- A, B, и C - точки, используемые для определения локальной системы координат (смотри след. слайд)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CORD2S	CID	RID	A1	A2	A3	B1	B2	B3	
	C1	C2	C3						

Пример:

CORD2S	3	17	-29	1.0	0.0	3.6	0.0	1.0	
	52	1.0	-29						

Поле

Содержание

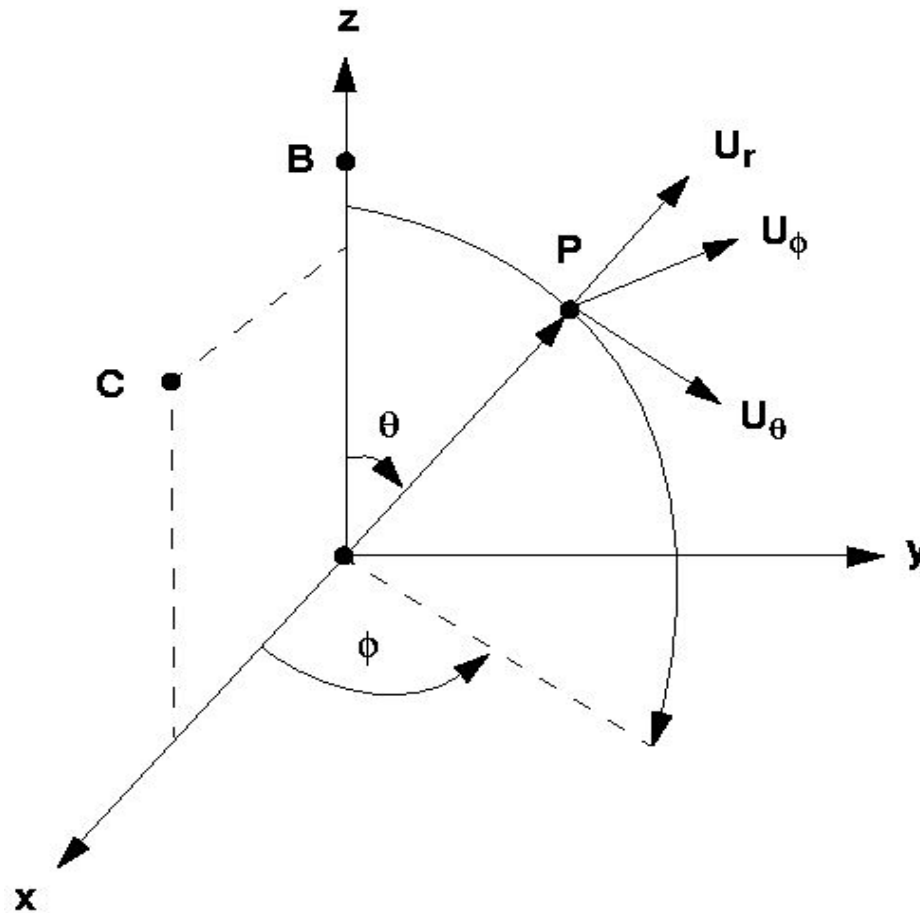
CID Идентификатор (номер) координатной системы

RID Идентификатор системы координат, относительно которой определяется данная система координат (целое число, по умолчанию 0, что означает - базовая система координат)

A<sub>i</sub>, B<sub>i</sub>, C<sub>i</sub> Координаты трех точек в системе координат RID (веществ.)



# Сферическая система координат (продолжение)



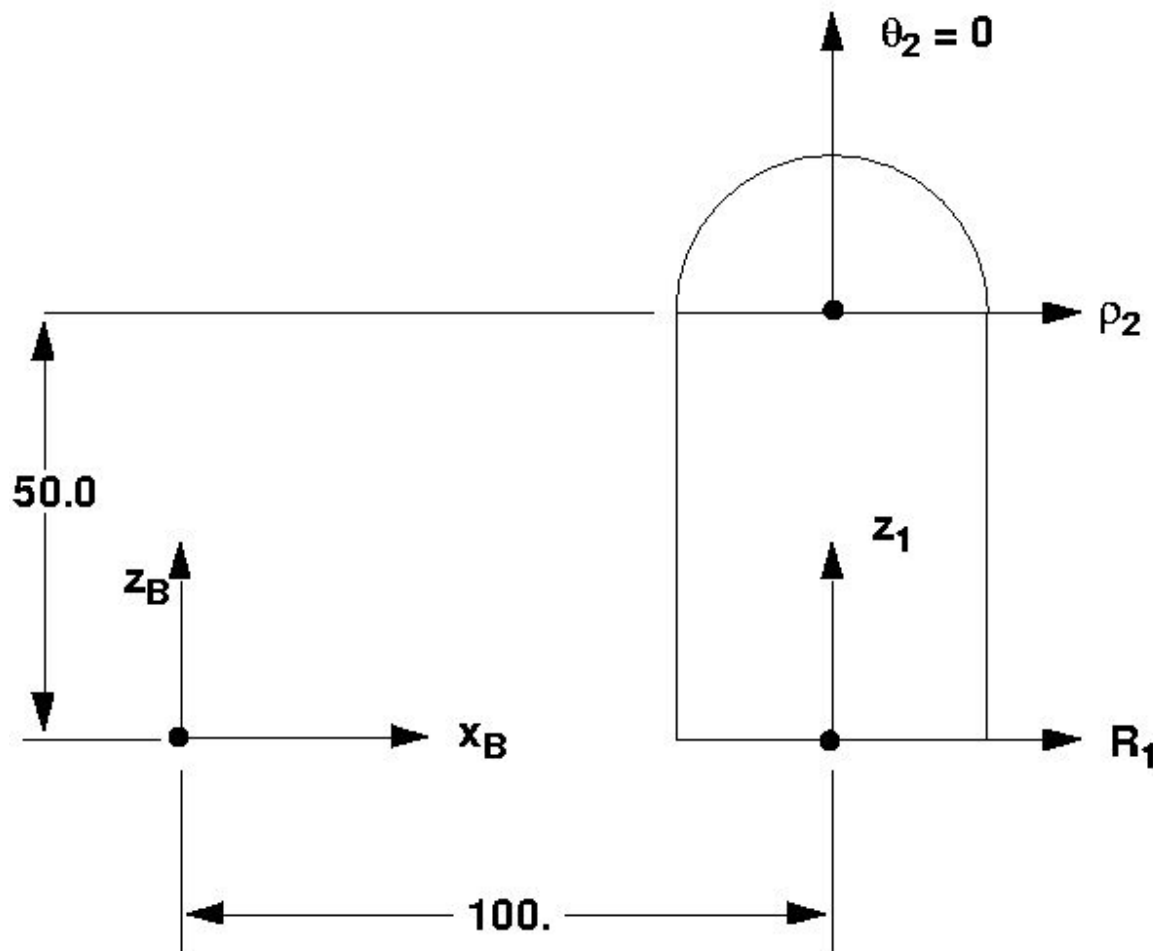
# Сферическая система координат (продолжение)

- Если положение узла (GRID) определяется с использованием этой системы, компоненты ( $X_1$ ,  $X_2$ , и  $X_3$ ) будут в локальных направлениях  $R$ ,  $\theta$  и  $\Phi$  этой системы (относительно ее начала).
- Если эта система используется как CD в записи GRID, тогда локальные  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$  определяются следующим образом:
  - $U_1$  - компонента параллельна радиус-вектору
  - $U_2$  -  $U_\theta$
  - $U_3$  -  $U_\phi$
- Это значит, что при использовании сферической системы координат, система перемещений может быть разной для каждого из узлов

# Пример использования локальных систем координат

- Предположим, что необходимо провести статический анализ цилиндрического силосохранилища со сферическим куполом. Использование локальных систем координат значительно упростит эту задачу.

# Пример использования локальных систем координат (продолжение)



# Пример использования локальных систем координат (продолжение)

- Будем использовать локальную цилиндрическую систему для стен и сферическую систему для купола.
- Начало координат цилиндрической системы будет иметь координату  $X=100$ . в базовой системе координат
- Определим **CORD2C** - локальную цилиндрическую систему координат 1 для стен силосохранилища.

Ссылка на идентификатор системы координат (базовая или другая локальная)

**CORD2C,1,0,100.,0.,0.,100.,0.,1.,+C1**

**+C1,101.,0.,1.**

Точка А = начало координат

Точка В = направление оси Z

Точка С = в плоскости R-Z

# Пример использования локальных систем координат (продолжение)

- Начало координат сферической системы (для купола) будет иметь координаты  $X=100.$ ,  $Z=50.$  в базовой системе координат и  $(R=0., Z=50.$  в системе 1)
- Следующая запись CORD2S определит систему 2

Ссылка на идентификатор базовой системы координат

CORD2S,2,0,100.,0.,50.,100.,0.,51.,+C1

+C1,101.,0.,51.

Точка А = Начало координат

Точка В = направление оси Z

Точка С = в азимутальной плоскости от начала координат

# Пример использования локальных систем координат (продолжение)

- Если мы определим систему координат купола относительно системы 1, то это позволит нам легко передвигать всю конструкцию простым перемещением координатной системы 1.
- Следующая строка определяет сферическую координатную систему 2 относительно цилиндрической координатной системы 1.

Ссылка на идентификатор системы координат 1

**CORD2S,2,1,0.,0.,50.,0.,0.,51.,+C1**

**+C1,1.,0.,51.**

Точка А =  
начало координат

Точка В = направление оси Z

Точка С = в азимутальной плоскости  
от начала координат

# Использование систем координат в записи GRID

- ❑ После того, как мы создали системы 1 и 2, они могут быть использованы для задания положения узловых точек и измерения их перемещений
- ❑ Зададим две узловые точки на окружности, используя цилиндрическую систему координат 1 для задания местоположения точек и базовую систему координат для измерения их перемещений:

GRID,10,1,10.,45.,0.]

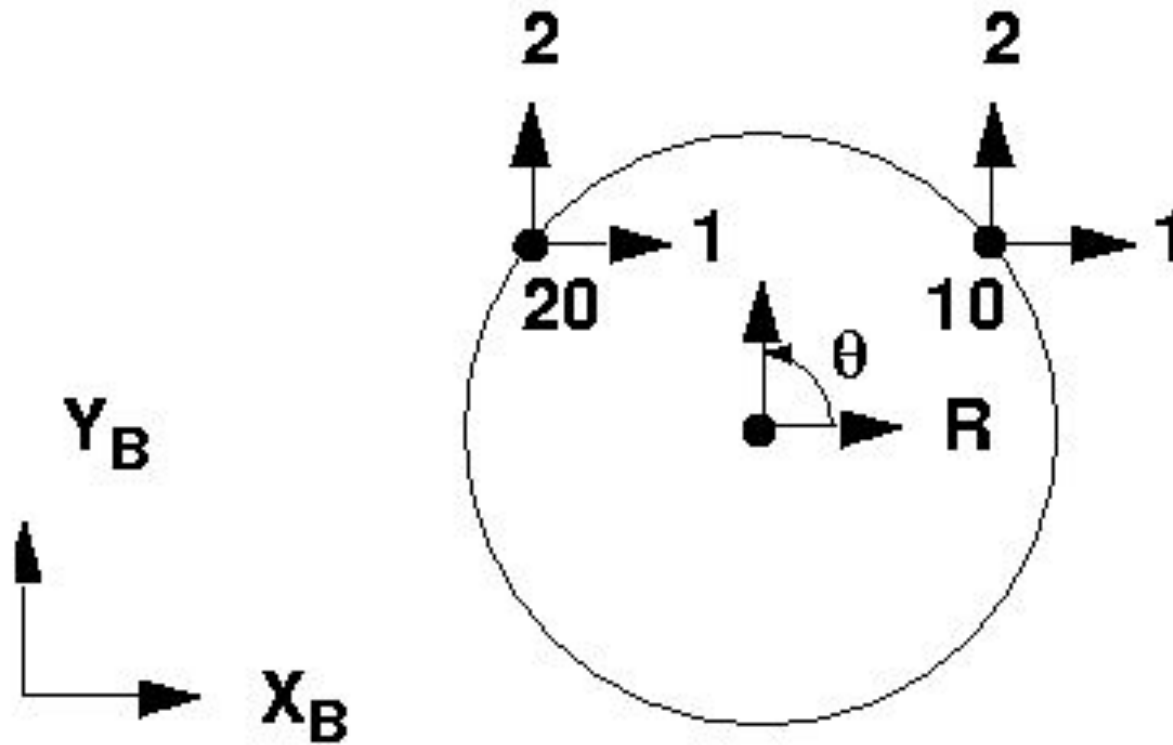
GRID,20,1,10.,135.,0.]

Так как CD не определено, используется базовая система координат

- ❑ Эти точки лежат на окружности в одной плоскости ( $Z=0$ ), с радиусом 10 единиц и углами: 45 градусов (узел 10), 135 градусов (узел 20)
- ❑ В соответствии с этим описанием все выходные параметры точек 10 и 20 будут ориентированы, как показано ниже.



# Использование систем координат в записи GRID (продолжение)



# Использование систем координат в записи GRID (продолжение)

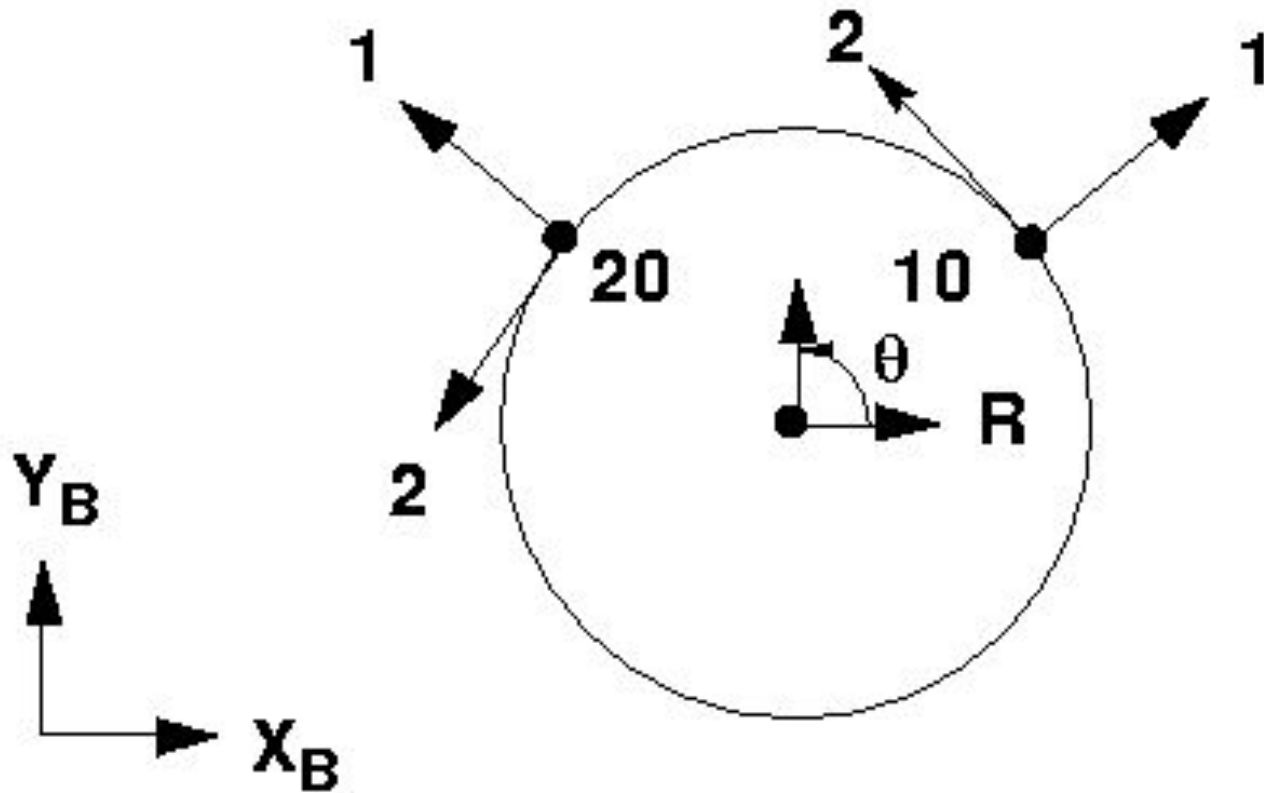
- Теперь изменим характеристики этих двух узлов, таким образом, чтобы перемещения узлов определялись относительно координатной системы 1 (вместо базовой системы по умолчанию)

GRID,10,1,10.,45.,0.,1

GRID,20,1,10.,135.,0.,1

- Эти два узла имеют те же самые координаты, что и в предыдущем случае, но их перемещения теперь будут измеряться и выводиться относительно системы 1 (цилиндрической), т.е. в радиальных и тангенциальных составляющих.
- Изменения проиллюстрированы на следующем слайде:

# Использование систем координат в записи GRID (продолжение)



# Запись SPOINT

- ❑ Запись SPOINT задает скалярную точку
- ❑ Скалярная точка имеет только одну ассоциированную с ней степень свободы, которая не имеет расположения и ориентации в пространстве.
- ❑ Обычно используется для представления степеней свободы, не связанных с поведением конструкции (температура окружающей среды, добавление дополнительной степени свободы для SBEAM и др.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SPOINT	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	

Пример:

SPOINT	3	18	1	4	16	2			
--------	---	----	---	---	----	---	--	--	--

Пример другого формата:

SPOINT	ID1	"THRU"	ID2						
SPOINT	5	THRU	649						

# Запись GRDSET

- ❑ Определяет значения по умолчанию для полей 3(CP), 7(CD), 8(PS) и 9 (SEID) для всех записей GRID
- ❑ Может быть переопределен путем непосредственного ввода в этих полях информации в любой записи GRID
- ❑ Только одна команда GRDSET может быть во входном файле
- ❑ Полезно использовать для минимизации ввода повторяющихся чисел в этих полях

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GRDSET		CP				CD	PS	SEID	

Пример:

GRDSET		16				32	3456		
--------	--	----	--	--	--	----	------	--	--

# Граничные условия

- Граничные условия для одиночных узлов (single-point constraint или SPC) - это закрепления, накладываемые на компоненты перемещений узла или скалярной точки. SPC применяются для:
  - Закрепления конструкции
  - Приложения симметричных или асимметричных граничных условий посредством запрещения движения по степеням свободы, перемещения по которым должны быть нулевыми, для того, чтобы задача удовлетворяла условиям симметрии или асимметрии
  - Удаления сингулярных степеней свободы
  - Задания нулевых или ненулевых принудительных перемещений в узлах

# Граничные условия (продолжение)

- **SPC могут быть заданы как:**
  - **Постоянные закрепления - определенные в записи GRID**
  - **Запрашиваемые пользователем в секции CASE CONTROL с помощью SPC=SID. Задаются в секции BULK DATA записями SPC, SPC1 или SPCD**
  - **Автоматические - PARAM, AUTOSPC, YES**
- **Силы реакции в узлах с SPC могут быть получены с помощью запроса SPCFORCES=ALL в секции CASE CONTROL**

# Граничные условия (продолжение)

- Постоянные закрепления
- Одним из методов для постоянного удаления степеней свободы, связанных с определенным узлом, является указание этих степеней свободы в поле 8 записи GRID.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GRID	ID	CP	X1	X2	X3	CD	PS	SEID	
GRID	2	3	1.0	-2.0	3.0		245		

Любые граничные условия, указанные в поле 8 будут постоянными

- Этот тип закрепления автоматически включается при анализе, т.е. он не выбирается в секции CASE CONTROL.



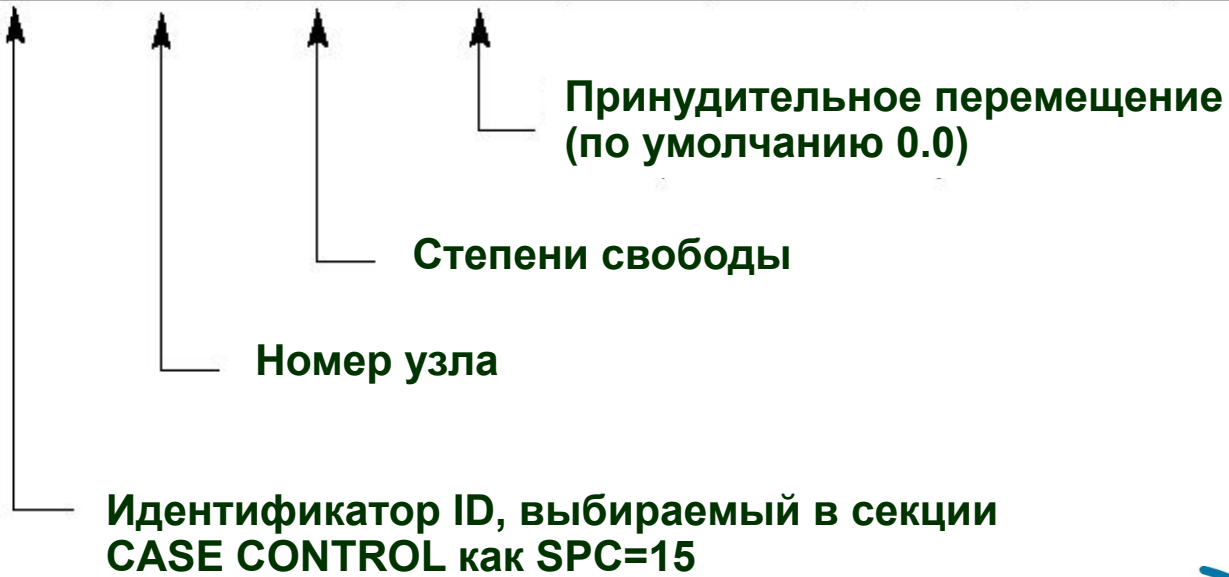
# Граничные условия SPC и SPC1

- ❑ Граничные условия, которые можно выбрать в секции Case Control, задаются с помощью записей SPC и SPC1
- ❑ Выбор производится с помощью команды SPC=i в секции Case Control
- ❑ Эти граничные условия прикладываются только тогда, когда на них сделан запрос
- ❑ Таким образом такие граничные условия могут быть разными в каждом SUBCASE

# Граничные условия – запись SPC

- Используется для задания нулевых или ненулевых принудительных перемещений. Полезно при задании небольшого количества принудительных перемещений

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SPC	SID	G	C	D	G	C	D		
SPC	15	1501	123		1502	456	0.0		



# Граничные условия – запись SPC1

- Используется для определения только нулевых перемещений. Полезно, когда задается большое число нулевых перемещений. Идентификатор SPC1 выбирается в секции CASE CONTROL.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SPC1	SID	C	G1	G2	G3	G4	G5	G6	
SPC1	3	2	1	3	10	9	6	5	ABC
	G7	68	G8	G9	-etc.-				
+BC	2	8							

Другая форма:

SPC1	SID	C	GID1	"THRU"	GID2				
SPC1	313	12456	6	THRU	32				

# Граничные условия SPC и SPC1

SPC задаются в выходной системе координат узла для которого они определяются. Помните, что эта система координат задается в поле 7 записи GRID.

# Граничные условия – запись SPCD

- ❑ Используется для задания ненулевых принудительных перемещений. Выбирается в секции CASE CONTROL с помощью LOAD=SID. Полезно при задании большого числа ненулевых принудительных перемещений.
- ❑ Узлы и степени свободы на которые ссылается эта запись, должны также быть повторены в записях SPC или SPC1 (а они, в свою очередь, выбраны в CASE CONTROL).
- ❑ Запись SPCD вычисляет эквивалентные нагрузки, требуемые для того, чтобы обеспечить заданные перемещения.
- ❑ Использование записи SPCD позволяет получить различные принудительные перемещения для различных вариантов (SUBCASE), без декомпозиции матрицы жесткости для каждого варианта.

# Граничные условия – запись SPCD (продолжение)

Набор SPC



SPC1	SID	C	G1	G2	G3	G4	G5	G6	
SPC1	2	1	13	14					
SPCD	SID	G	C	D	G	C	D		
SPCD	11	13	1	.05	14	1	.07		

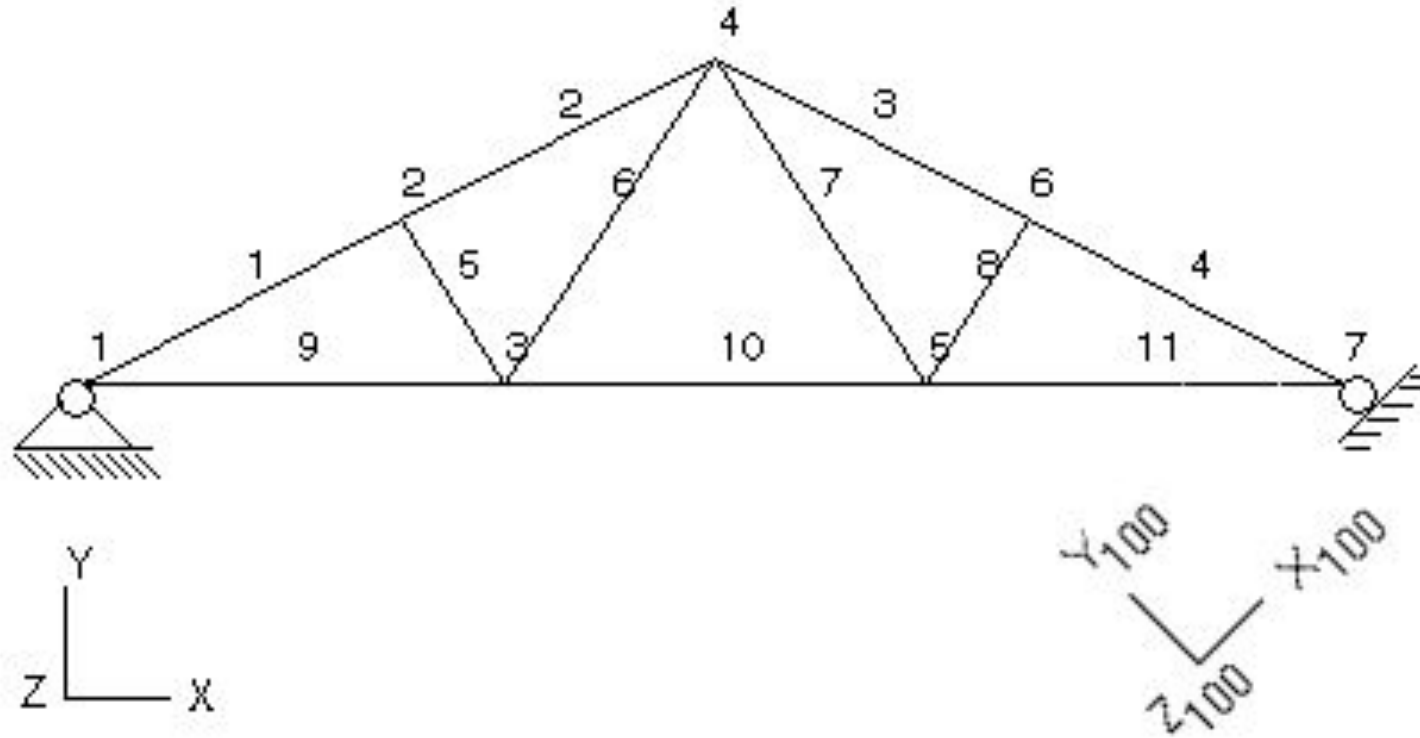


Набор статических сил

# Пример – системы координат и граничные условия

- Используя модель фермы, изменим граничные условия и добавим четвертый вариант нагружения
- Новые граничные условия на правом крае фермы будут в виде «ролика» на поверхности, наклоненной под 45 градусов (узел 7)
- К дополнительным условиям нагружения относится:
  - ▣ Приложение перемещения (0.05 единицы) по нормали к наклонной поверхности
- Чтобы это сделать, необходимо задать координатную систему «перемещений» (CORD2R 100) для узла 7  
CORD2R,100,,576.,0.,0.,576.,0.,1.  
,577.,1.,0.

# Пример - КЭМ





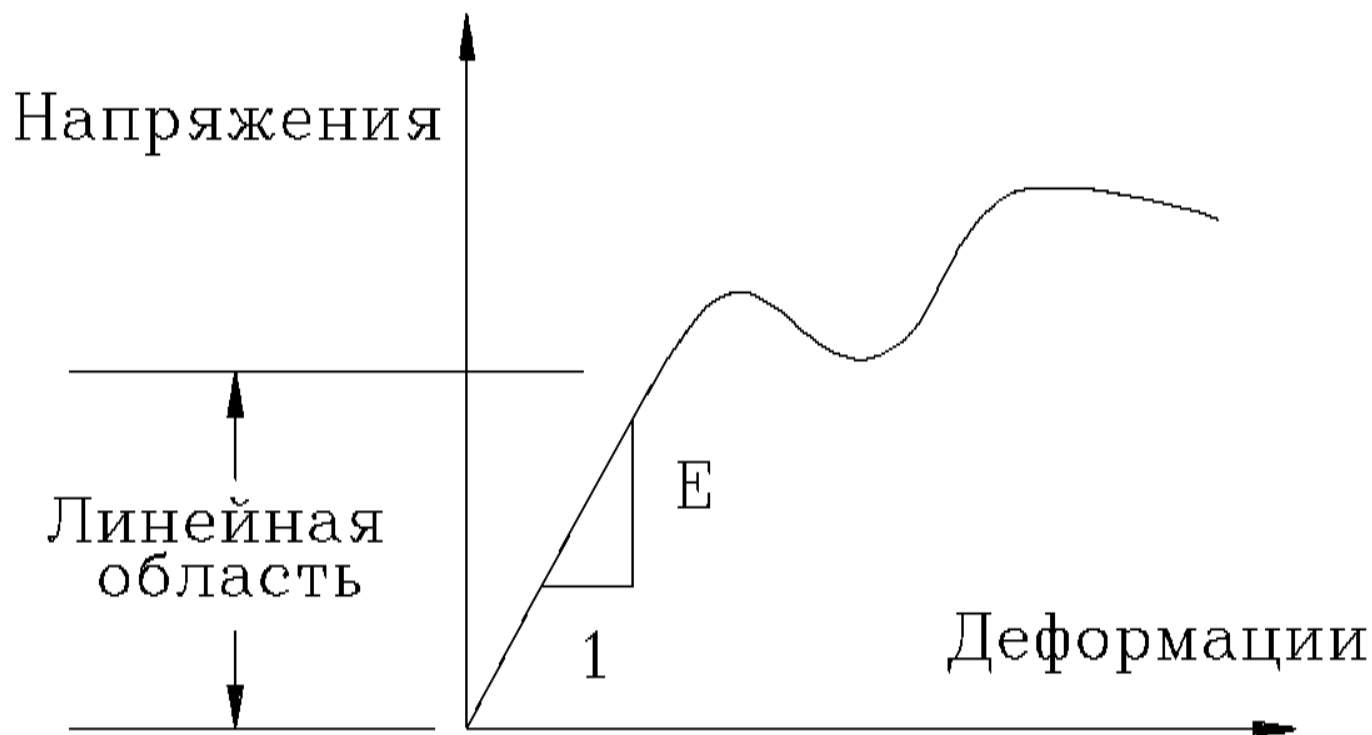
# Изменения в Case Control и Bulk Data для данного примера

TITLE = GARAGE ROOF FRAME  
SUBTITLE = WOOD AND STEEL MEMBERS  
DISPLACEMENT = ALL  
SPCFORCES = ALL  
STRESS = ALL  
SPC = 10  
SUBCASE 1  
SUBTITLE=TRUSS\_LBCS  
LOAD = 1  
SUBCASE 20  
SUBTITLE = THERMAL LOAD  
TEMP(INIT) = 20  
TEMP(LOAD) = 26

SUBCASE 30  
SUBTITLE = GRAVITY LOAD  
LOAD = 30  
SUBCASE 40  
SUBTITLE = SUPPORT SETTLING  
LOAD = 40  
BEGIN BULK  
CORD2R,100,,576.,0.,0.,576.,0.,1.  
,577.,1.,0. - Координатная система перемещений  
SPCD,40,7,2,-.05  
\$ modified GRID 7 - displacement coordinate  
Модифицированная запись GRID (указана система координат перемещений)  
GRID 7 576.0 0.0 0.0 100 345

# Свойства материалов

Кривая зависимости напряжений от деформаций  
(типичная конструкционная сталь)



# Свойства материала (продолжение)

- Некоторые из типов материалов, которые можно задавать в MSC.Nastran:
  - Изотропный MAT1
  - Двумерно анизотропный MAT2
  - Осесимметричный ортотропный MAT3
  - Двумерно ортотропный MAT8
  - Трехмерно анизотропный MAT9
- Зависимость свойств материала от температуры определяется в записях MATTi.

# Свойства материала - MAT1

- В рамках этого семинара мы рассмотрим только запись MAT1
- Данная запись определяет свойства изотропного материала
- Минимальные требуемые свойства:
  - E - Модуль Юнга – Модуль для растяжения и изгиба
  - G – Модуль для кручения и поперечного сдвига
  - $\nu$  – Коэффициент Пуассона
  - Можно задавать любые 2 из вышеуказанных величин, 3-я будет вычислена из выражения:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

- Для расчета теплонапряженного состояния:
  - A – коэффициент теплового расширения

# Свойства материала - MAT1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAT1	MID	E	G	NU	RHO	A	TREF	GE	
MAT1	3	2.9+7		0.33		6.5E-6	50.0		+M1

## Поле

## Содержание

MID	Идентификатор материала (целое > 0)
E	Модуль Юнга (вещественное или пробел)
G	Модуль сдвига (вещественное или пробел)
NU	Коэффициент Пуассона ( $-1.0 < \nu \leq 0.5$ или пробел)
RHO	Массовая плотность (вещественное)
A	Коэффициент теплового расширения (вещественное)
TREF	Температура относительно которой рассчитывается тепловое расширение (вещественное)
GE	Коэффициент конструкционного демпфирования, связанный с материалом

# Свойства материала - MAT1 (продолжение)

	ST	SC	SS	MCSID					
+M1	36000.								

**ST, SC, SS** Предельные напряжения для растяжения, сжатия и сдвига (**НЕОБЯЗАТЕЛЬНЫ:** используются только для вычисления запасов прочности для некоторых типов элементов)

**MCSID** Идентификатор системы координат материала (целое $\geq$ 0 или пробел)

# Библиотека конечных элементов

- Включает более 50-ти элементов
  - Одномерные
  - Двумерные
  - Трехмерные
  - Скалярные
  - Осесимметричные
  - Жесткие
  - Масса и демпфирование
  - Элементы для теплопередачи
  - Элементы, определяемые пользователем
  - Взаимодействие «жидкость-конструкция»
  - p-элементы
  - Контактные

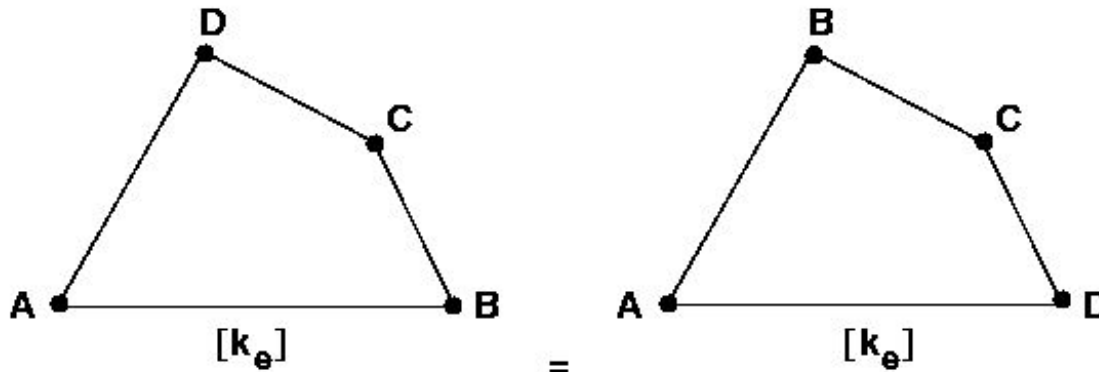
# Наиболее часто используемые элементы

Одномерные элементы	Оболочечные элементы	Объемные элементы	Другие элементы
СВАР	СQUAD4	СТЕТРА	СВУШ
СВЕАМ	СТРИА3	СHEXA	СЕЛАС <sub>i</sub> (i = 1, 2, 3, 4)
СРОД	СQUAD8	СPENTA	
СОНРОД	СТРИА6		
СВЕНД	СSHEAR		
СТУБЕ			



# Элементы в MSC.Nastran

- ❑ Степени свободы - это компоненты перемещений и углов поворота.
- ❑ Матрица жесткости не зависит от порядка нумерации узлов.



- ❑ Элементы различного типа совместимы.

# Элементы в MSC.Nastran (продолжение)

## □ Полный набор возможностей

- Жесткость
- Масса
- Демпфирование
- Дифференциальная (геометрическая) жесткость
- Анизотропия
- Температура
- Внутренние нагрузки
- Вывод напряжений

# Системы координат элементов

- Все элементы используют систему координат элемента
- Система координат элемента необходима для:
  - Ориентации компонент сил и напряжений
  - Ориентации некоторых свойств элементов (линейные элементы)
  - Ориентации давлений (оболочечные элементы)
- Каждый элемент имеет свою собственную систему координат, которая определяется топологией элемента или другими топологическими данными. Положительное направление оси  $Z$  в системе координат элемента всегда соответствует правилу правой руки.
- Оболочечные и объемные элементы также имеют необязательные системы координат для материала, которые могут использоваться для ориентации ортотропных и анизотропных свойств материала. Система координат материала определяется топологией элемента или в записях свойств.

# Системы координат элементов (продолжение)

- В дополнение к системам координат элемента и материала, для вывода напряжений может применяться любая система координат, определенная пользователем, и запрашиваемая командой GPSTRESS в секции CASE CONTROL.

Помните, что в большинстве случаев:

Информация об узлах выводится в глобальной системе, а информация об элементах выводится в системе координат элемента.

# Одномерные элементы

- ❑ **ROD, CONROD, TUBE:** Стержень с шарнирами на концах - 4 степени свободы
- ❑ **BAR:** Призматическая балка - 12 степеней свободы
- ❑ **BEAM:** Прямая балка с перекосом сечения сечения - 14 степеней свободы
- ❑ **BEND:** Криволинейная балка или труба - 12 степеней свободы.

12

# Одномерные элементы (продолжение)

- Общие свойства элементов CROD, CONROD и TUBE:
  - Связывают два узла
  - Компоненты сил: осевая сила  $P$   
крутящий момент  $T$
  - Компоненты перемещения:  $u_i$   
 $\theta_i$
  - Прямые, призматического сечения
  - Матрица жесткости элемента содержит коэффициенты только для осевых перемещений углов поворота от кручения.

# Одномерные элементы (продолжение)

- ❑ Различия CROD, CONROD и CTUBE
- ❑ CROD Топология элемента определяется записью CROD. Свойства определяются записью PROD. Удобно, когда определяются несколько стержневых элементов, имеющих одинаковые свойства
- ❑ CONROD Топология и свойства элемента определяются записью CONROD. Полезно, когда надо задать несколько стержневых элементов с различными свойствами.
- ❑ CTUBE Используется для задания труб. Задается внутренним и внешним диаметрами, которые задаются записью PTUBE.
- ❑ Из этих элементов наиболее часто применяется CROD

# Одномерные элементы (продолжение)

## □ Геометрия ROD элемента



Ось  $X$  стержневого элемента ( $X_e$ ) направлена вдоль линии, соединяющей конец  $A$  с концом  $B$ .

Примечание: Крутящий момент  $T$  вокруг оси  $X$  стержневого элемента подчиняется правилу правой руки. Осевая сила  $P$  показана в положительном (растягивающем) направлении.



# BAR элемент

- ❑ Соединяет два узла
- ❑ Формулировки исходят из классической теории балок (плоские сечения остаются плоскими после деформации)
- ❑ Могут иметь сдвиговую податливость
- ❑ Компоненты сил
  - ❑ Осевая сила  $P$
  - ❑ Кручение  $T$
  - ❑ Изгибающие моменты в двух перпендикулярных плоскостях  $M_i$
  - ❑ Сдвиг в двух перпендикулярных плоскостях  $V_i$
- ❑ Компоненты перемещений
  - ❑ Три перемещения и три вращения на каждом конце балки

# BAR элемент (продолжение)

- ❑ **Нейтральная ось может иметь отступ от узлов (создается внутренняя жесткая связь).**
- ❑ **Главные оси инерции не обязаны совпадать с осью элемента.**
- ❑ **Возможность задания шарниров используется для представления звеньев и т.п.**
- ❑ **Принципиальные ограничения**
  - ❑ **Постоянная призматическая форма (т.е. свойства не зависят от длины)**
  - ❑ **Центр сдвига и нейтральная ось должны совпадать (поэтому не рекомендуется для моделирования швеллеров)**
  - ❑ **Эффект повышения жесткости при кручении за счет коробления поперечных сечений не учитывается.**
- ❑ **Элемент CBEAM обладает этими дополнительными возможностями**
- ❑ **Для получения более подробной информации об элементах CBAR см. раздел 4.1 *MSC.Nastran Handbook for Linear Analysis* и раздел 5.2.2 *MSC.Nastran Reference Manual*.**

# BEAM элемент

- Соединяет два узла
- Компоненты сил
  - Осевая сила  $P$
  - Крутящий момент  $T$
  - Крутящий момент, деформирующий поперечное сечение  $T_w$
  - Изгибающие моменты в плоскостях 1 и 2  $M_i$
  - Перерезывающие силы в плоскостях 1 и 2  $V_i$
- Компоненты перемещений
  - $u_i$
  - $\theta_i$
  - $(d\theta/dx)_i$  (представляются через SPOINT)

# BEAM элемент (продолжение)

- **Элементы BEAM включают в себя все возможности BAR элементов, а также некоторые дополнительные возможности, как то:**
  - **Характеристики сечения элемента могут быть заданы на обоих концах элемента и в девяти точках по его длине.**
  - **Нейтральная ось и ось центра сдвига могут не совпадать.**
  - **Учет эффекта коробления сечения при кручении.**
  - **Учет конусности при действии перерезывающей силы.**

# BEAM элемент (продолжение)

## □ Формат ввода:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CBEAM	EID	PID	GA	GB	X1,G0	X2	X3		
CBEAM	2	39	7	3	13				123

	PA	PB	W1A	W2A	W3A	W1B	W2B	W3B	
+23		513			3.0				234

	SA	SB							
+34	8	5							

# BEAM элемент (продолжение)

<u>Поле</u>	<u>Содержание</u>
EID	Идентификатор элемента (целое $> 0$ ).
PID	Идентификатор карты свойства PBEAM.
GA,GB	Идентификаторы узлов на концах элемента.
X1,X2,X3	Компоненты вектора $V$ на конце A, задаваемые с учетом смещения на конце A в системе координат перемещений для узла GA.
G0	Идентификатор узла, для альтернативного задания X1, X2, X3.
PA,PB	Флаги шарниров для концов A и B (в системе координат элемента).

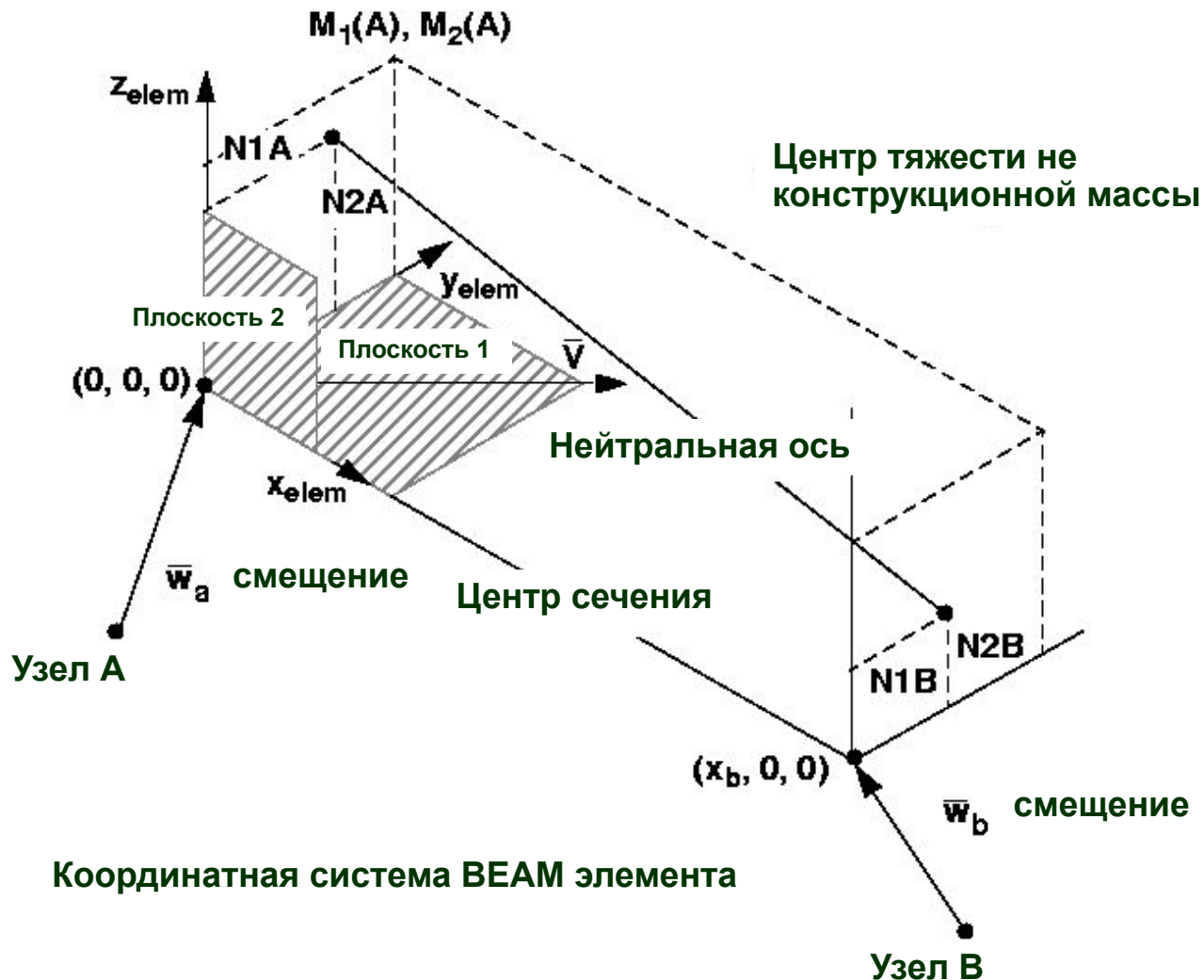
# BEAM элемент (продолжение)

$W1A, W2A, W3A,$     Компоненты векторов смещений  
 $W1B, W2B, W3B$     центра сечения от узлов GA и GB,  
задаваемые в системах координат  
перемещений для соответствующих    узлов  
(вещественные числа или    пустое поле).

$SA, SB$     Идентификаторы скалярных точек или  
узлов для концов A и B    соответственно.

Степени свободы в    этих точках определяют  
значения     $d\theta/dx$ .

# BEAM элемент (продолжение)





# Свойства ВЕАМ элемента

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PBEAM	PID	MID	A(A)	I1(A)	I2(A)	I12(A)	J(A)	NSM(A)	
PBEAM	39	6	2.9	3.5	5.97				123
	C1(A)	C2(A)	D1(A)	D2(A)	E1(A)	E2(A)	F1(A)	F2(A)	
+23			2.0	-4.0					+34
	S0	X/XB	A	I1	I2	I12	J	NSM	
+34	YES	1.0	5.3	56.2	78.6				345
	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	
+45			2.5	-5.0					+56
	K1	K2	S1	S2	NSI(1)	NS1(2)	CW(A)	CW(B)	
+56			1.1				0.21		567
	M1(A)	M2(A)	M1(B)	M2(B)	N1(A)	N2(A)	N1(B)	N2(B)	
+67					0.5		0.0		

# Свойства ВЕАМ элемента (продолжение)

<u>Поле</u>	<u>Содержание</u>	<u>Значение по умолчанию</u>
PID	Идентификатор карты свойств.	Задается
MID	Идентификатор карты материала.	Задается
A(A)	Площадь сечения на конце A.	Задается
I1(A)	Момент инерции сечения вокруг нейтральной оси на конце A в плоскости 1 (вокруг Z).	Задается
I2(A)	Момент инерции сечения вокруг нейтральной оси на конце A в плоскости 2 (вокруг Y).	Задается
I12(A)	Центробежный момент инерции конце A $(I_1 I_2 - I_{12}^2 > 0)$	0.0

# Свойства BEAM элемента (продолжение)

<u>Поле</u>	<u>Содержание</u>	<u>Значение по умолчанию</u>
J(A)	Параметр жесткости на кручение на конце A. ( $J > 0.0$ , если присутствует коробление)	0.0
NSM(A)	Неконструкционная масса на единицу длины для конца A (веществ.).	0.0
Ci(A), Di(A), Ei(A), Fi(A)	Координаты Y и Z (в системе координат элемента) точек для вывода напряжений на конце A	$Y_i = Z_i = 0.0$
SO	Запрос на вывод напряжений (BCD)  YES: Напряжения рассчитываются в точках C, D, E, F определяемых в следующей записи продолжения  YESA: Напряжения рассчитываются в точках с теми же координатами Y и Z, как на конце A  NO: Напряжения не рассчитываются	Задается

# Свойства BEAM элемента (продолжение)

<u>Поле</u>	<u>Содержание</u>	<u>Значение по умолчанию</u>
X/XB	Отношение расстояния (X в системе координат элемента) от конца A к длине элемента (XB)	Задается
A, I1, I2, I12, J, NSM	Площадь, моменты инерции, параметр жесткости на кручение, не конструкционная масса для сечения расположенного на расстоянии X (J>0.0 если присутствует коробление)	
Ci, Di, Ei, Fi	Координаты Y и Z (в системе координат элемента) точек для вывода напряжений для сечения X/XB.	
K1, K2	Коэффициенты сдвиговой жесткости в плоскостях 1 и 2	1.0, 1.0
S1, S2	Коэффициенты ослабления сдвига в плоскостях 1 и 2	0.0, 0.0

# Свойства BEAM элемента (продолжение)

<u>Поле</u>	<u>Содержание</u>	<u>Значение по умолчанию</u>
NSI(1), NSI(2)	Момент инерции не конструкционной массы (вокруг не конструкционного центра тяжести сечений A и B) на единицу длины.	0.0, такой же как в A.
CW(A), CW(B)	Коэффициент коробления для концов A и B.	0.0, такой же как в A.
N1(A), N2(A), N1(B), N2(B)	Координаты Y и Z нейтральной оси для концов A и B	0.0 (нет смещения от центра сдвига), такой же как в A.
M1(A), M2(A), M1(B), M2(B)	Координаты Y и Z центра тяжести не конструкционной массы для концов A и B	0.0 (нет смещения от центра сдвига), такой же как в A.

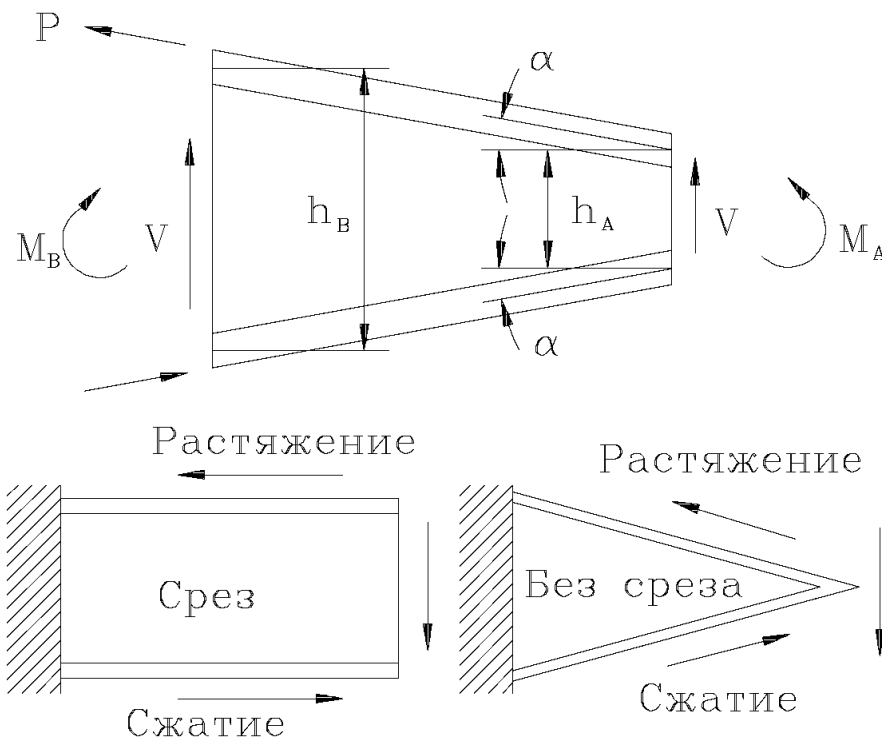
# Свойства ВЕАМ элемента (продолжение)

- A(I), J(I), I1(I), I2(I), I12(I)
- Эти свойства должны быть заданы на конце A (кроме I12, который по умолчанию равен 0.0)
- По умолчанию точка B будет иметь точно такие же свойства, что и точка A
- Свойства для промежуточных сечений будут найдены линейной интерполяцией между свойствами в точках A и B

# Свойства ВЕАМ элемента (продолжение)

## Кoeffициент ослабления сдвига (S1, S2)

- Фактор ослабления сдвига учитывает тот факт, что в конических балках, фланцы только частично испытывают поперечный сдвиг. Эта ситуация иллюстрируется ниже:



# Свойства BEAM элемента (продолжение)

- Значение коэффициента для конической балки с мощными фланцами, испытывающим моментную нагрузку можно записать так:

$$S_1 = \frac{2(h_A - h_B)}{(h_A + h_B)}$$

- Для более подробной информации смотри *MSC.Nastran Reference Manual*, раздел 5.2.1.



# Свойства ВЕАМ элемента (продолжение)

## Коробление сечения - коэффициенты $CW(A)$ , $CW(B)$

- В незамкнутых сечениях, таких как швеллера, при изгибе их перерезывающей силой, не проходящей через центр сдвига сечения, возникает крутящий момент.
- В следствие кручения искажается поперечное сечение балки так, что плоские сечения не остаются плоскими после деформации, в результате чего появляются осевые напряжения. Данный процесс описывается следующим дифференциальным уравнением кручения балки вокруг оси, проходящей через центр сдвига (на следующем слайде).

# Свойства ВЕАМ элемента (продолжение)

## Коробление сечения - коэффициенты CW(A), CW(B)

$$G \frac{d}{dx} J \left( \frac{d\theta}{dx} \right) - E \frac{d^2}{dx^2} \left( C_w \frac{d^2\theta}{dx^2} \right) = m$$

- где
- E** - Модуль Юнга
  - C<sub>w</sub>** - Константа коробления
  - G** - Модуль сдвига
  - J** - Постоянная кручения
  - θ** - Угол поворота сечения
  - m** - Крутящий момент на единицу длины

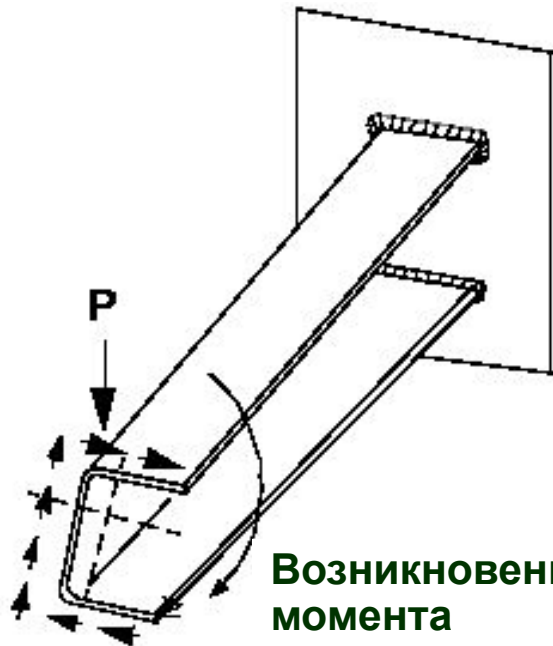
# Свойства ВЕАМ элемента (продолжение)

## Коробление сечения - коэффициенты $CW(A)$ , $CW(B)$

- Примечание: Константа коробления  $C_w$  имеет размерность (длина)<sup>6</sup>. Решение уравнения приведенного выше и методы определения констант  $C_w$  представлены в литературе. (См., например, Timoshenko and Gere, *Theory of Elastic Stability*, McGraw Hill Book Company, 1961. Значения  $C_w$  для различных сечений см. в книге Roark & Young, *Formulas for Stresses and Strain*.)

# Свойства ВЕАМ элемента (продолжение)

## Смещение нейтральной оси от центра сдвига (N1, N2)

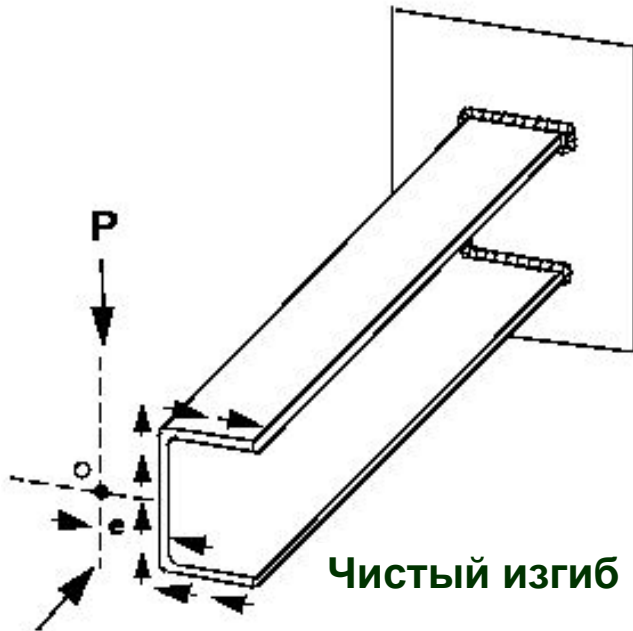


Возникновение крутящего момента

В несимметричном сечении (например швеллере) при поперечной нагрузке внутренние касательные напряжения создают в сечении крутящий момент.

# Свойства ВЕАМ элемента (продолжение)

## Смещение нейтральной оси от центра сдвига (N1, N2)



Если нагрузка приложена в центре сдвига, то внешний крутящий момент будет равен и противоположен по знаку внутреннему моменту. В этом случае будет только изгиб.

Вертикальная ось сдвига

- Поля  $N1$  и  $N2$  в записи  $PVEAM$  позволяют пользователю задавать смещение нейтральной оси от центра сдвига.

# Свойства ВЕАМ элемента - РВЕАМЛ

- Данная запись определяет свойства ВЕАМ элемента, путем использования размеров поперечного сечения

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PBEAML	PID	MID	GROUP	TYPE					
	DIM1(A)	DIM2(A)	-etc.-	DIMn(A)	NSM(A)	SO(1)	X(1)XB	DIM1(1)	
	DIM2(1)	-etc.-	DIMn(1)	NSM(1)	SO(2)	X(2)XB	DIM1(2)	DIM2(2)	
	-etc.-	DIMn(2)	-etc.-	NSM(m)	SO(m)	X(m)XB	DIM1(m)	-etc.-	
	DIMn(m)	NSM(m)	SO(B)	1.0	DIM1(B)	DIM2(B)	-etc.-	DIMn(B)	

**Пример:**

PBEAML	99	21		T					
	12.	14.8	2.5	2.6		NO	0.4	6.	
	7.	1.2	2.6		YES	0.6	6.	7.8	
	5.6	2.3		YES					

# Свойства BEAM элемента - PBEAML

## Поле

## Содержание

<b>PID</b>	Идентификационный номер свойства
<b>MD</b>	Идентификационный номер материала
<b>Group</b>	Группа поперечного сечения (по умолчанию="MSCBML0")
<b>TYPE</b>	Форма поперечного сечения. Смотри прим.4.. (Тип: "ROD", "TUBE", "L", "I", "CHAN", "T", "BOX", "BAR", "CROSS", "H", "T1", "I1", "CHAN1", "Z", "CHAN2", "T2", "BOX1", "HEX", "HAT" для GROUP="MSCBML0")
<b>DIMi(A)...</b>	Размеры поперечного сечения на конце A и B. (веществ. > 0.0 для GROUP="MSCBML0")
<b>DIMi(B)</b>	
<b>NSM(A)...</b>	Не конструкционная масса на единицу длины
<b>NSM(B)</b>	

# Свойства BEAM элемента - PBEAML

## Поле

## Содержание

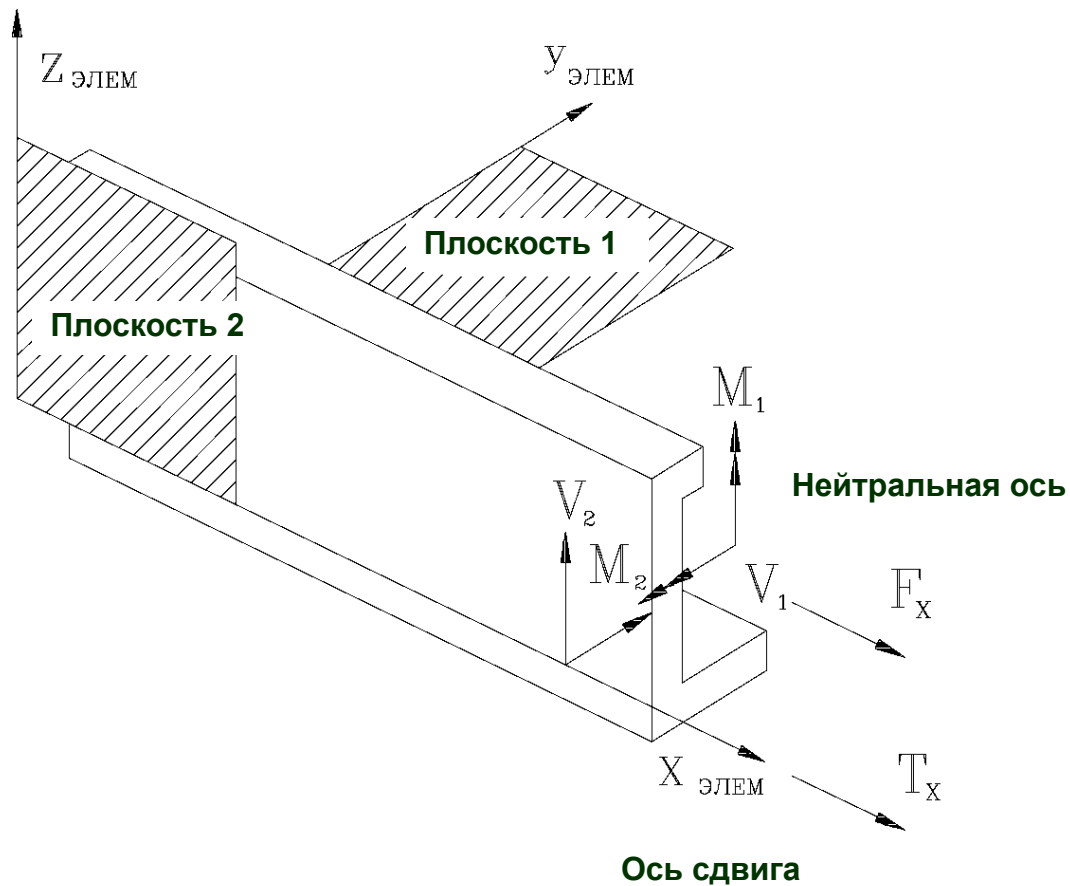
<b>SO(j)</b>	<b>Опция запроса вывода напряжений для сечения (j) YES = будет выполнен расчет напряжений NO = не будет выполнен расчет напряжений</b>
<b>X(j)/XB)</b>	<b>Расстояние от конца A до промежуточного сечения (j) поделенное на длину элемента</b>
<b>NSM(j)</b>	<b>Не конструкционная масса на единицу длины сечения (j)</b>
<b>DIMi(j)</b>	<b>Размер поперечного сечения (j)</b>

**Для более подробной информации смотри QRG, раздел 5 (или V69 Release Notes)**



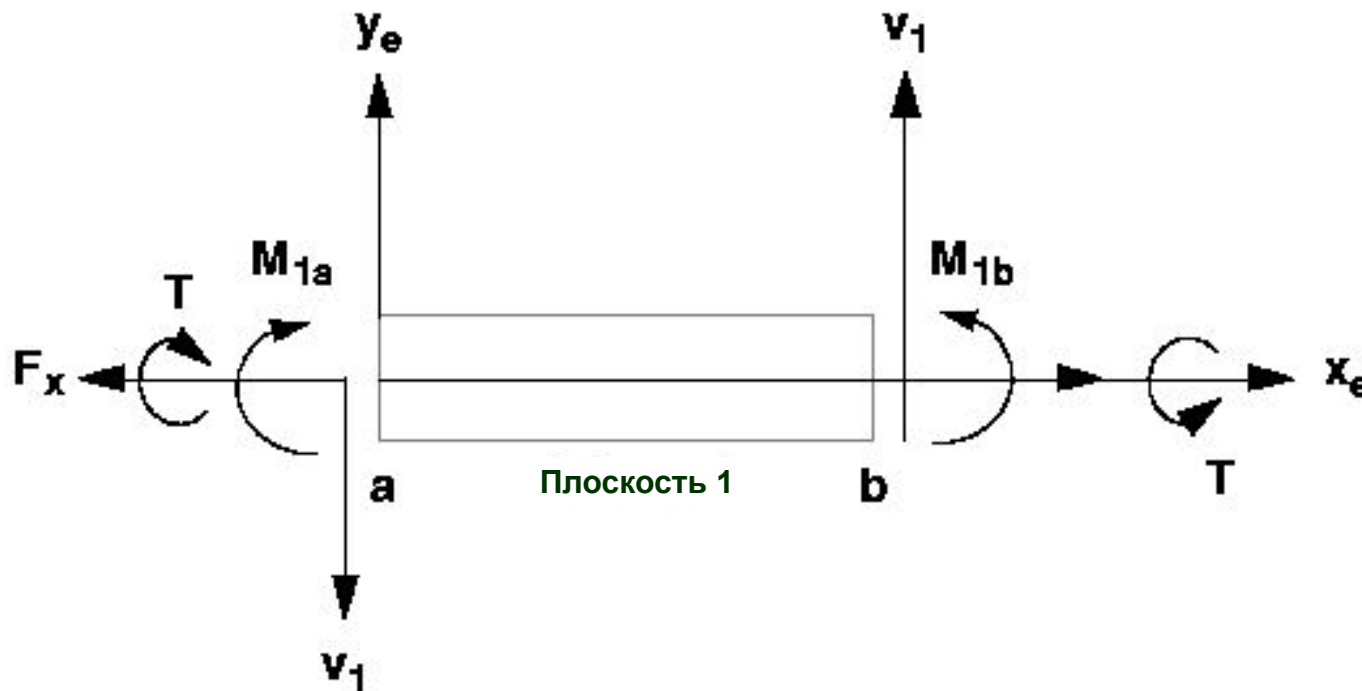
# Представление результатов для BEAM элемента

## □ Внутренние силы и моменты балочного элемента



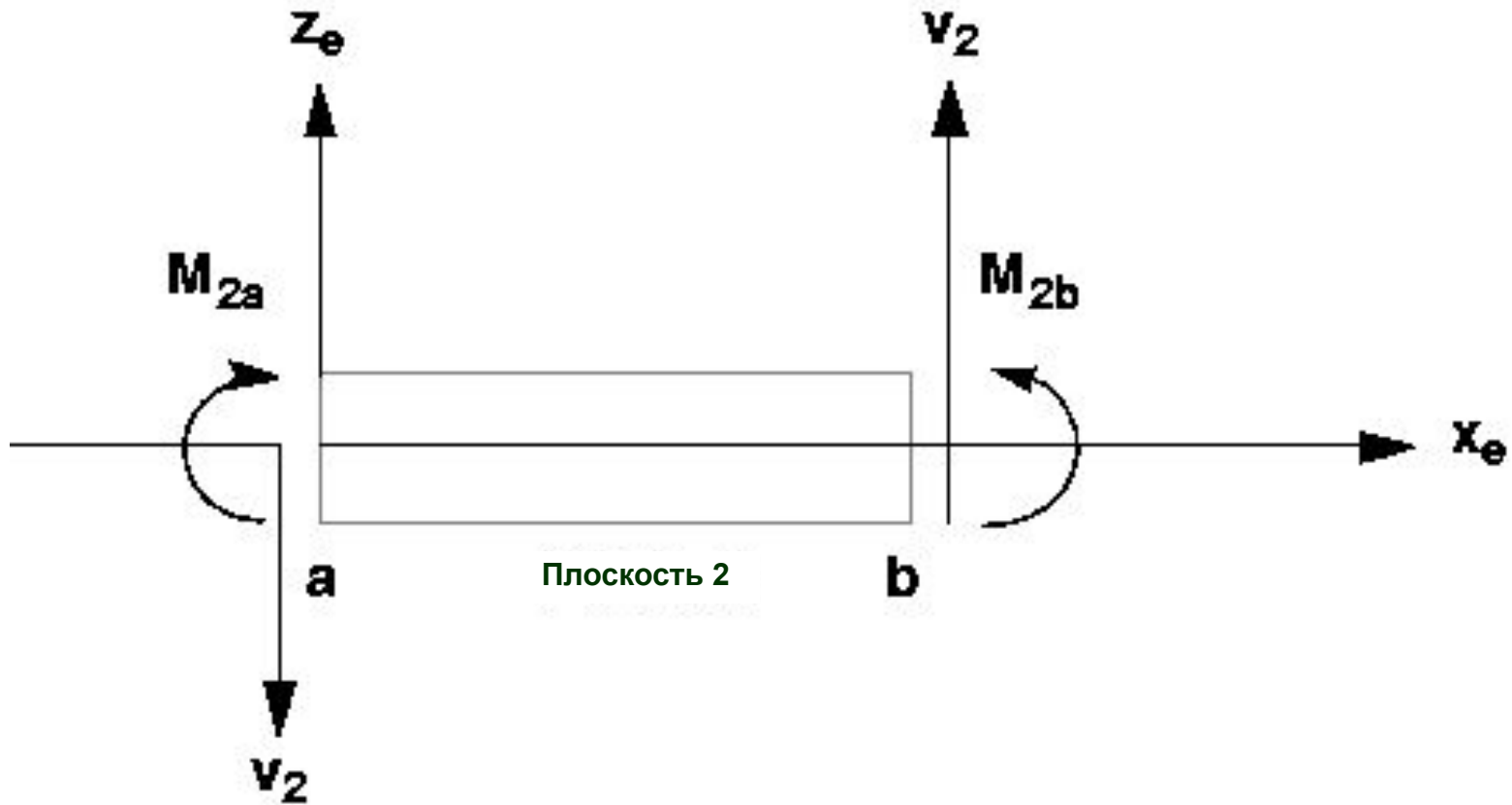
# Представление результатов для BEAM элемента (продолжение)

- Это можно представить так (в плоскости 1):



# Представление результатов для BEAM элемента (продолжение)

- Это можно представить так (в плоскости 2):



# Пример СВЕАМ элемента

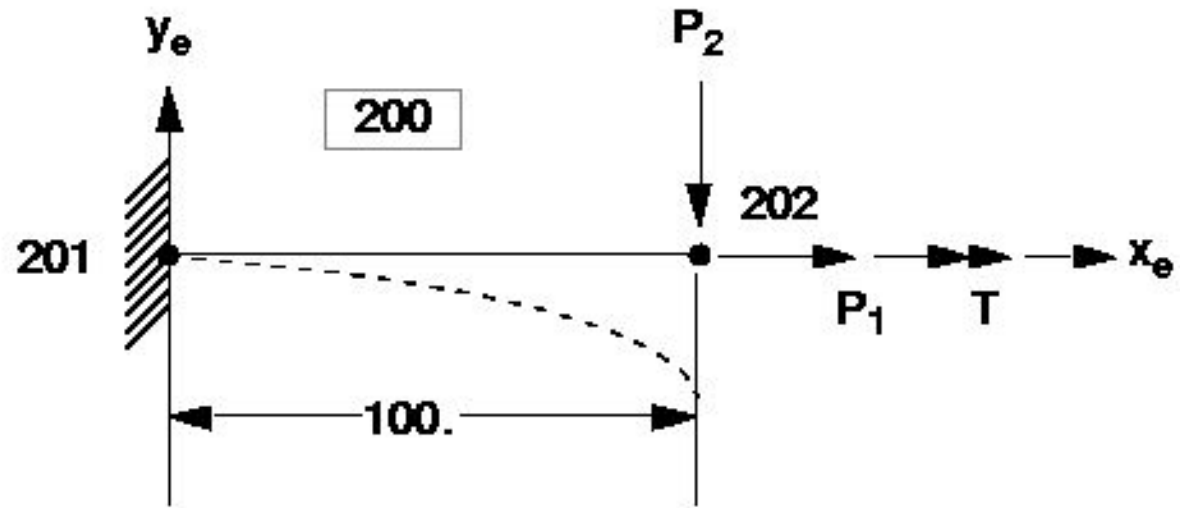
## □ Консольное закрепление балки

### Прикладываемая нагрузка

$$P_1 = 2.4E+4$$

$$P_2 = 5000. \text{ lb.}$$

$$T = 4.0E+4$$



# Пример СВЕАМ элемента (продолжение)

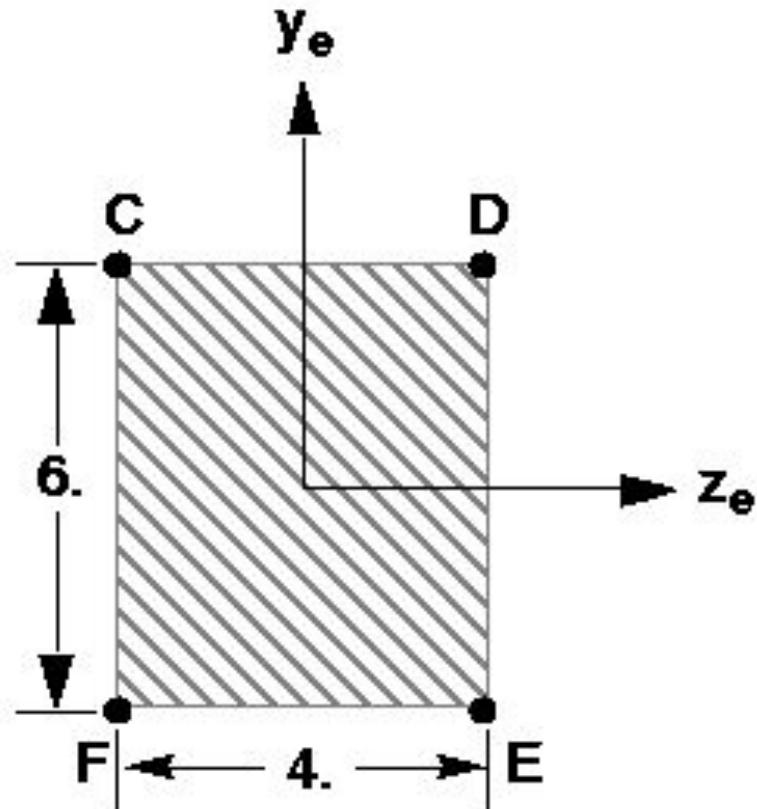
## Свойства элемента

$$A = 24.$$

$$I_1 = I_{zz} = 72.$$

$$I_2 = I_{yy} = 32.$$

$$J = 75.12$$



# Пример СВЕАМ элемента (продолжение)

## □ Свойства материала:

- $E = 30 \cdot 10^6$
- $\nu = 0.3$
- Предел текучести = 36000.
- $G$  = рассчитывается программой

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 11.54E + 6$$

# Пример СВЕАМ элемента (продолжение)

## □ Входные данные ВЕАМ элемента

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СВЕАМ	200	1	201	202	0.	1.	0.			
GRID	201		0.	0.	0.		123456			
GRID	202		100.	0.	0.					
PBEAM	1	1	24.	72.	32.		75.12			+PB1A
+PB1A	3.	-2.	3.	2.	-3.	2.	-3.	-2.		+PB1B
+PB1B	YESA	1.0								
MAT1	1	30.+6		0.3						+M1
+M1	36000.									

# Пример СВЕАМ элемента (продолжение)

- Альтернативный вариант задания свойств ВЕАМ элемента

PBEAML	1	1		BAR					+PB1A
+PB1A	4.	6.		YES	1.				



# Результаты расчета

BEAM ELEMENT--CANTILEVERED WITH CONCENTRATED TIP LOADS  
ONE ELEMENT, OUTPUT AT ENDS OF ELEMENT ONLY

MARCH 30,1992 MSC/NASTRAN 10/ 2/1991

## DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
201	G	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
202	G	-3.333333E-03	-7.734105E-01	0.0	4.614838E-03	0.0	-1.157407E-02

# Результаты расчета (продолжение)

## FORCES IN BEAM ELEMENTS (CBEAM)

ELEMENT-ID	GRID	STAT DIST/ LENGTH	- BENDING MOMENTS -		- WEB SHEARS -		AXIAL FORCE	TOTAL TORQUE	WARPING TORQUE
			PLANE 1	PLANE 2	PLANE 1	PLANE 2			
200									
	201	0.000	-5.000000E+05	0.0	-5.000000E+03	0.0	-2.400000E+04	4.000000E+04	0.0
	202	1.000	1.455192E-11	0.0	-5.000000E+03	0.0	-2.400000E+04	4.000000E+04	0.0

# Вывод результатов (продолжение)

## STRESSES IN BEAM ELEMENTS (CBEAM)

ELEMENT-ID	GRID	STAT DIST/	SXC	SXD	SXE	SXF	S-MAX	S-MIN	M.S.-T	M.S.-C
		LENGTH								
200										
	201	0.000	1.983333E+04	1.983333E+04	-2.183333E+04	-2.183333E+04	1.983333E+04	-2.183333E+04	8.2E-01	6.5E-01
	202	1.000	-1.000000E+03	-1.000000E+03	-1.000000E+03	-1.000000E+03	-1.000000E+03	-1.000000E+03		

Суммарные напряжения от осевой силы и изгиба

Максимальные и минимальные суммарные напряжения в точках

C, D, E и F

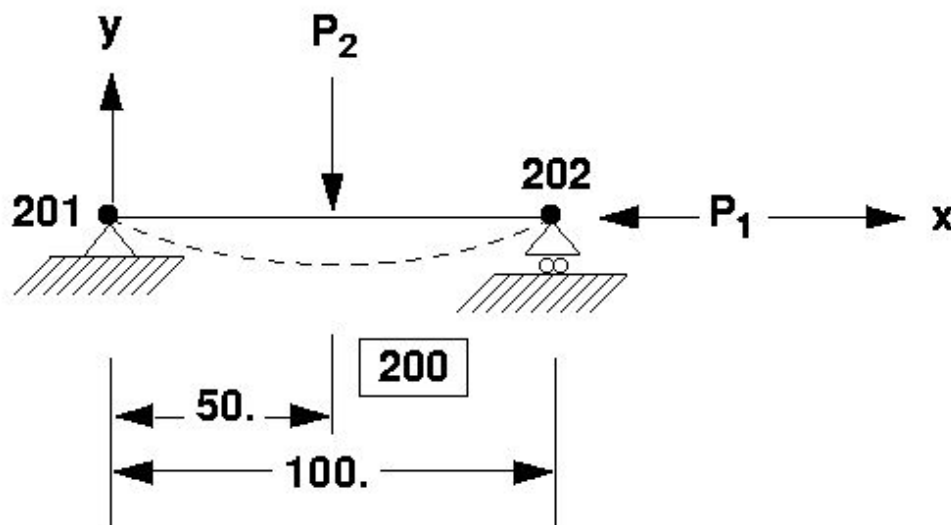
# BEAM элемент с промежуточными сечениями

- Для следующего примера создадим BEAM элемент с запросом вывода результатов в точках 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 по длине (используя то же поперечное сечение, что и до этого)

## Прикладываемая нагрузка

$$P_1 = 2.4E+4$$

$$P_2 = 1000.$$



- Примечание. Стык 202 закреплён в направлении  $y$ , но не в направлении  $x$ .

# BEAM элемент с промежуточными сечениями (продолжение)

□ Запись PBEAM с промежуточными сечениями:

PBEAM	1	1	24.	72.	32.		75.12		+PB1A
+PB1A	3.	-2.	3.	2.	-3.	2.	-3.	-2.	+PB1B
+PB1B	YESA	.25							+PB1C
+PB1C	YESA	.5							+PB1D
+PB1D	YESA	.75							+PB1E
+PB1E	YESA	1.							

# BEAM элемент с промежуточными сечениями (продолжение)

□ Запись PBEAML с промежуточными сечениями:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PBEAML	1	1			BAR					
	4.	6.			YES	.25				
	YES	.5					YES	.75		
				YES	1.0					

# BEAM элемент с промежуточными сечениями (продолжение)

BEAM ELEMENT--CANTILEVERED WITH CONCENTRATED TIP LOADS  
ONE ELEMENT, OUTPUT AT INTERMEDIATE STATIONS

MARCH 30, 1992 MSC/NASTRAN 10/ 2/91

## DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
201	G	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.835957E-04
202	G	-3.333333E-03	0.0	0.0	0.0	0.0	2.835955E-04

# BEAM элемент с промежуточными сечениями (продолжение)

## FORCES IN BEAM ELEMENTS (CBEAM)

ELEMENT-ID	GRID	STAT DIST/ LENGTH	- BENDING MOMENTS -		- WEB SHEARS -		AXIAL FORCE	TOTAL TORQUE	WARPING TORQUE
			PLANE 1	PLANE 2	PLANE 1	PLANE 2			
200									
	201	0.000	7.812500E-03	0.0	-4.999999E+02	0.0	-2.400000E+04	0.0	0.0
	0	0.250	1.250001E+04	0.0	-4.999999E+02	0.0	-2.400000E+04	0.0	0.0
	0	0.500	2.500000E+04	0.0	-4.999999E+02	0.0	-2.400000E+04	0.0	0.0
	0	0.750	1.250000E+04	0.0	5.000001E+02	0.0	-2.400000E+04	0.0	0.0
	202	1.000	0.0	0.0	5.000001E+02	0.0	-2.400000E+04	0.0	0.0

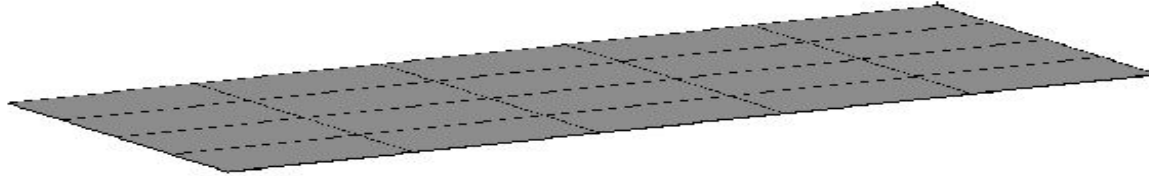


# BEAM элемент с промежуточными сечениями (продолжение)

## STRESSES IN BEAM ELEMENTS (CBEAM)

ELEMENT-ID	GRID	STAT DIST/	SXC	SYD	SXE	SXF	S-MAX	S-MIN	M.S.-T	M.S.-C
		LENGTH								
200										
	201	0.000	-1.000000E+03	-1.000000E+03	-9.999997E+02	-9.999997E+02	-9.999997E+02	-1.000000E+03		
	0	0.250	-1.520834E+03	-1.520834E+03	-4.791664E+02	-4.791664E+02	-4.791664E+02	-1.520834E+03		
	0	0.500	-2.041667E+03	-2.041667E+03	4.166684E+01	4.166684E+01	4.166684E+01	-2.041667E+03	8.6E+02	1.7E+01
	0	0.750	-1.520833E+03	-1.520833E+03	-4.791666E+02	-4.791666E+02	-4.791666E+02	-1.520833E+03		
	202	1.000	-1.000000E+03	-1.000000E+03	-1.000000E+03	-1.000000E+03	-1.000000E+03	-1.000000E+03		

# Двумерные элементы - пластины и оболочки



- Пластина (или оболочка) - это элемент конструкции, у которого один размер мал, а два других - большие.
- Для моделирования таких конструкций и применяются двумерные элементы.
- Тонкой называется пластина у которой толщина гораздо меньше чем другие размеры (отношение примерно 1/15).

# Двумерные элементы - пластины и оболочки (продолжение)

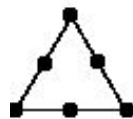
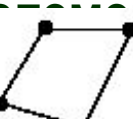
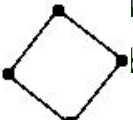
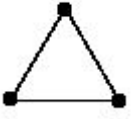
- Для линейных типов анализа MSC.Nastran использует классические допущения о поведении тонких пластин.
  - Отклонение срединной поверхности мало по сравнению с толщиной.
  - Срединная поверхность не деформируется (нейтральна) во время изгиба (это относится к нагрузке не лежащей в плоскости элемента).
  - Нормаль к срединной поверхности остается нормалью к этой поверхности в процессе изгиба.

# Двумерные элементы - пластины и оболочки (продолжение)

- **Примечание:** оболочечные элементы не имеют жесткости по вращательной степени свободы в плоскости элемента. Поэтому, если к оболочке присоединяются балочные элементы – это может потребовать в некоторых случаях специальных подходов к моделированию.
- **Литература по теории пластин:**
  - ▣ 1.Тимошенко С. Войновский-Кригер С. Теория пластин и оболочек.
  - ▣ 2.Stress in Plates and Shells, by A. C. Ugural, McGraw Hill, 1981

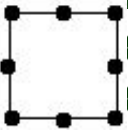
# Двумерные элементы в MSC.Nastran

- TRIA3** Треухзловой изопараметрический плоский элементны. Обычно используется для сгущения сеток. **Может** повышенную жесткость особенно при **мембранных** мациях.
- QUAD4** Четырехзловой изопараметрический плоский элемент пластины. Хорошо себя ведет при нерегулярной сетке, **хорошие** результаты получаются если углы элемента **больше 45 градусов**.
- QUADR** Четырехзловой элемент только для расчета сдвига и растяжения. Используется для анализа тонких **подкрепленных** пластин и оболочек. Обычно используется **вместе со стержневыми** элементами для анализа **тонкостенных поверхностей в** етостроении (лучше **если элемент прямоугольный**).
- TRI6** Изопараметрический треугольный элемент с тремя узлами на вершинах и тремя узлами на сторонах. Применяется для сгущения сеток в искривленных областях.

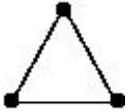


# Двумерные элементы в MSC.Nastran (продолжение)

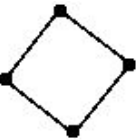
- **QUAD8** Изопараметрический элемент с четырьмя узлами в углах и четырьмя узлами на сторонах. Удобен для моделирования поверхностей с одинарной кривизной (таких как цилиндр). Для лучше использовать QUAD4. Для лучше



- **TRIAR** Трехузловой изопараметрический плоский элемент. Совместим с элементом QUADR.

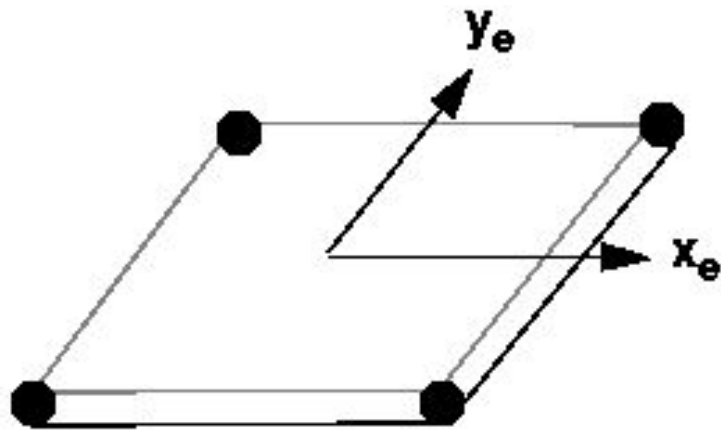


- **QUADR** Четырехузловой изопараметрический плоский элемент пластины без учета совместности мембранно-изгибных деформаций. Менее чувствителен к искажениям и экстремальным значениям коэффициента Пуассона, чем QUAD4. Не рекомендуется использовать для искривленных поверхностей.

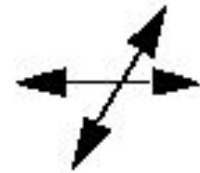


# Элемент QUAD4

- Элемент QUAD4 содержит в себе 4 узла и является наиболее часто используемым



Боковые, перерезывающие,  
перпендикулярно к элементу



Мембранные, в плоскости  
элемента

# Элемент QUAD4 (продолжение)

## □ Компоненты сил в элементе:

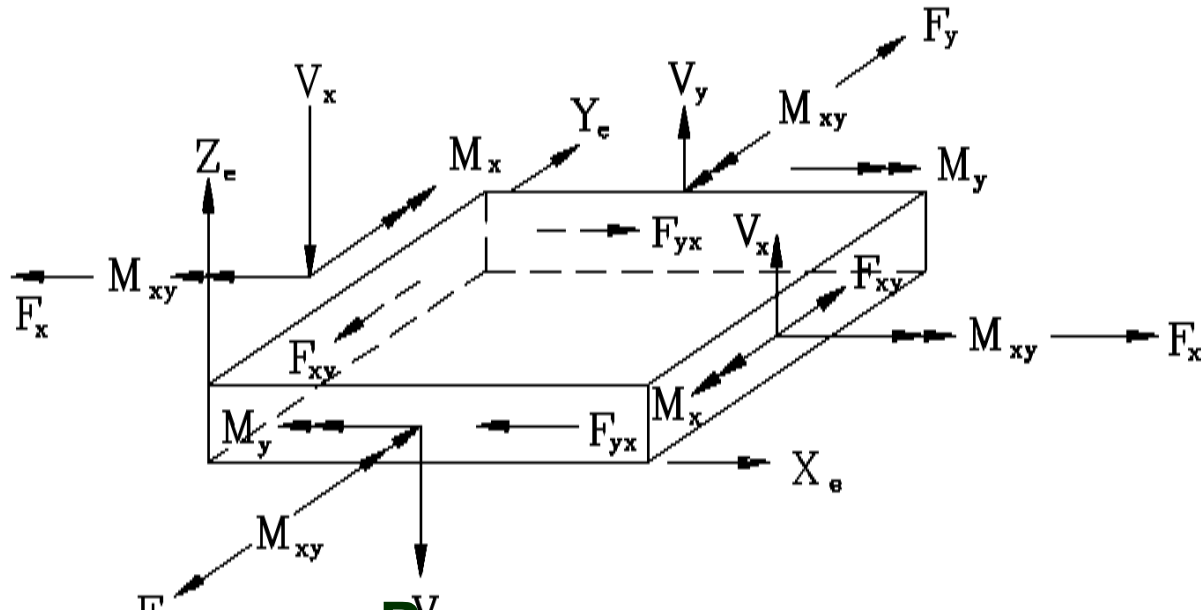
- $F_x, F_y$  Мембранные силы на единицу длины
- $F_{xy}$  Мембранные касательные силы на единицу длины
- $M_x, M_y$  Изгибающие моменты на единицу длины
- $M_{xy}$  Крутящий момент на единицу длины
- $V_x, V_y$  Перерезывающие силы на единицу длины

## □ Компоненты напряжений:

- $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  (в центре тяжести)



# Интерпретация результатов QUAD4

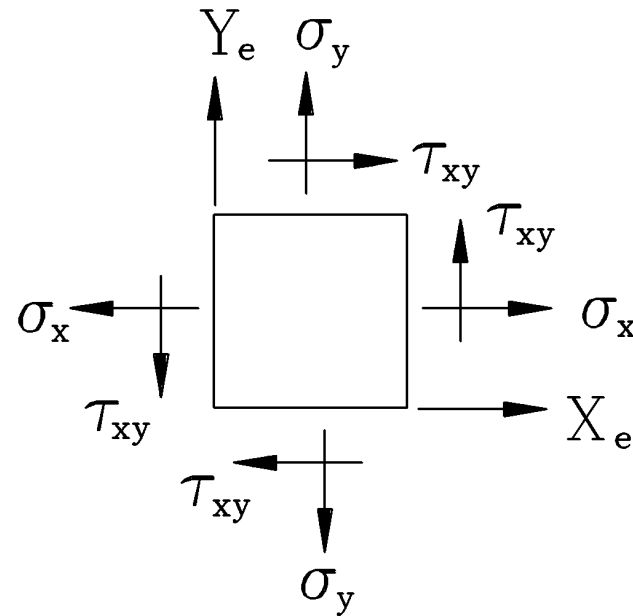


□ **Силы и моменты:** Рассчитываются в центре элемента для CQUAD4 и CTRIA3

Рассчитываются в центре элемента и в узлах для CQUAD8, CQUADR и CTRIAR

CTRIA6,

# Интерпретация результатов QUAD4 (продолжение)



- Напряжения: Рассчитываются на расстояниях Z1 и Z2 от срединной поверхности элемента

# Задание элемента QUAD4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CQUAD4	EID	PID	G1	G2	G3	G4	$\theta$	Z <sub>OFFS</sub>	
CQUAD4	111	203	31	74	75	32	2.6		ABC
			T1	T2	T3	T4			
+BC			1.77	2.04	2.09	1.80			

# Задание элемента QUAD4 (продолжение)

<u>Поле</u>	<u>Содержание</u>
EID	Идентификатор элемента (целое > 0)
PID PCOMP	Идентификатор карты свойств PSHELL или PCOMP
G1, G2, G3, G4	Идентификаторы узлов, объединенных в элемент (все внутренние углы элемента должны быть меньше 180)
$\theta$	Указание ориентации свойств материала. Если задано вещественное число или пробел, то это угол ориентации свойств материала в градусах. Целое число, определяет систему координат в которой заданы свойства материала.

# Задание элемента QUAD4 (продолжение)

<u>Поле</u>	<u>Содержание</u>
T1, T2	
T3, T4	Карта продолжения записи (необязательна). Если она есть, то в ней описывается толщина мембраны в узлах элемента (вещественные числа $\geq 0.$ , не все равные нулю). Если ее нет, то T1, ..., T4 устанавливаются равными значению T (толщина мембраны) в записи PSHELL.
Z <sub>OFFS</sub>	Смещение серединной поверхности элемента от узлов элемента в системе координат элемента.

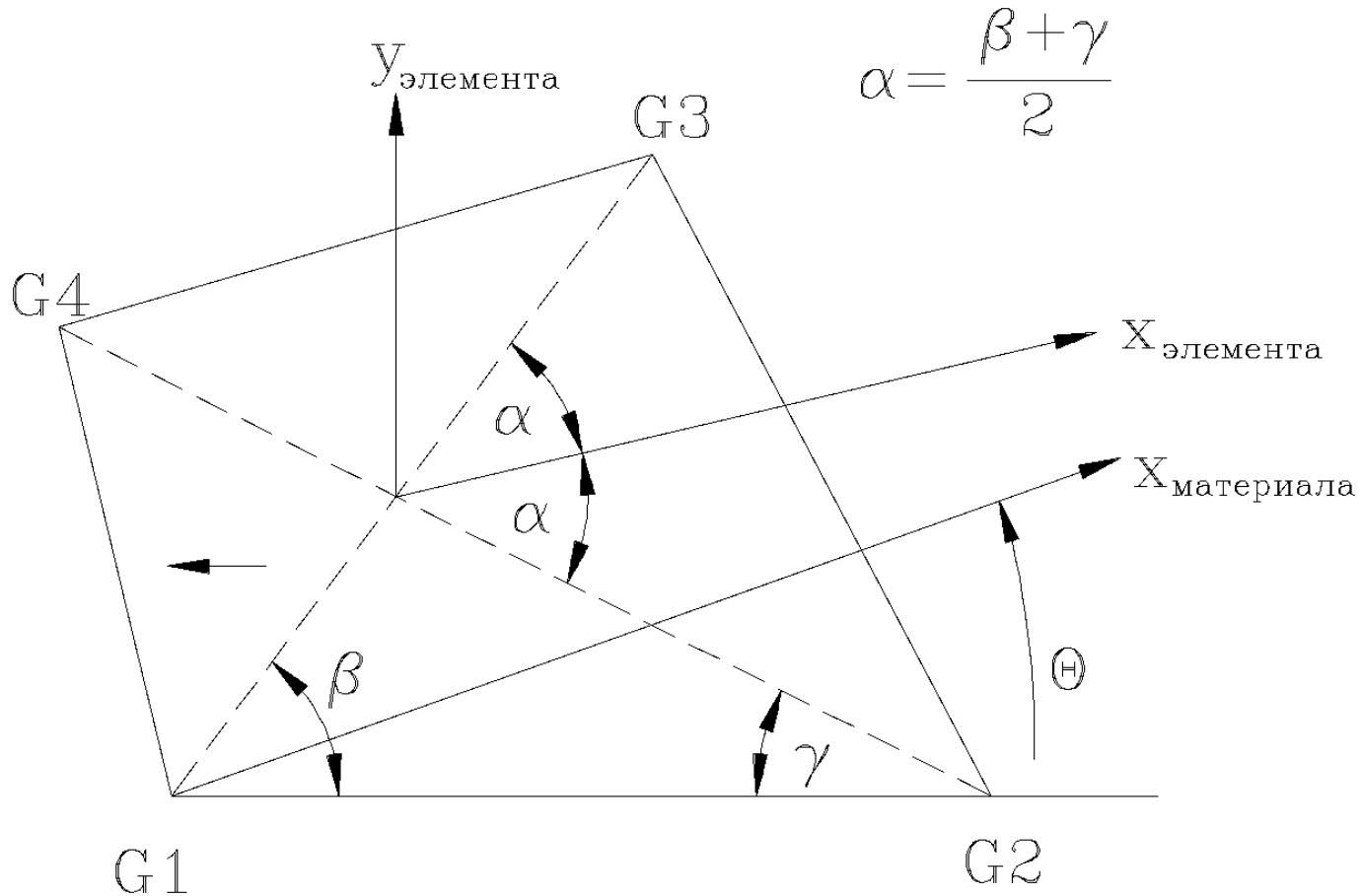
# Система координат элемента QUAD4

## □ Система координат элемента:

- Определяется, исходя из порядка и расположения узлов элемента
- Определяет положительное направление давления, приложенного к элементу
- Используется для описания слоев композитных материалов
- Используется для интерпретации результатов (сил и напряжений, по умолчанию вывод результатов производится в координатной системе элемента)

**Смотри рисунок на следующем слайде:**

# Система координат элемента QUAD4 (продолжение)



# Система координат элемента QUAD4 (продолжение)

- ❑ Ось X элемента - биссектриса угла  $2\alpha$ . Положительное направление от узла G1 к узлу G2.
- ❑ Ось Y элемента перпендикулярна оси X и лежит в плоскости, определяемой точками G1, G2, G3, и G4. Положительное направление от узла G1 к узлу G4.
- ❑ Ось Z элемента перпендикулярна к плоскости X-Y элемента. Положительное направление определяется правилом правой руки и зависит от порядка описания узлов.



# Свойства элемента QUAD4

□ Свойства определяются записью PSHELL

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PSHELL	PID	MID1	T	MID2	$12/T^3$	MID3	TS/T	NSM	
PSHELL	1	204	.025	204		204			+PS1

	Z1	Z2	MID4						
+PS1									

# Свойства элемента QUAD4 (продолжение)

<u>Поле</u>	<u>Содержание</u>
<b>PID</b>	Идентификатор карты свойств.
<b>MID1</b>	Идентификатор карты материала для описания мембранного поведения элемента (целое > 0 или пробел).
<b>T</b>	Толщина пластины или мембраны.
<b>MID2</b>	Идентификатор карты материала для описания изгибного поведения элемента (целое > 0 или пробел, MID2=-1 указывает на плоско- деформированное состояние).
<b>12/T<sup>3</sup></b>	Нормализованный изгибный момент инерции на единицу длины (вещественное число или пробел, по умолчанию 1.0). Значение по умолчанию является верным для сплошных однородных пластин.

# Свойства элемента QUAD4 (продолжение)

<u>Поле</u>	<u>Содержание</u>
<b>MID3</b>	Идентификатор карты материала для описания поперечного сдвига (целое > 0 или пробел)
<b>TS/T</b>	Отношение толщины для поперечного сдвига к толщине мембраны (по умолчанию 0.83333). по умолчанию верно для сплошных однородных пластин. <span style="float: right;">Значение</span>
<b>NSM</b>	Не конструкционная масса на единицу площади (вещественное число)
<b>Z1, Z2</b>	Расстояние от срединной поверхности элемента до плоскости расчета изгибных напряжений (вещественные числа, по умолчанию $Z1=-1/2$ , а $Z2=+1/2$ толщины)
<b>MID4</b>	Идентификатор карты материала для описания совместимости между мембранными и изгибными деформациями.

# Свойства элемента QUAD4 (продолжение)

- Элемент QUAD4 может моделировать деформации в плоскости элемента, изгиб и поперечный сдвиг. Механика поведения элемента определяется наличием или отсутствием идентификатора материала в соответствующих полях записи PSHELL.
- Пример записи свойств элемента для мембранного поведения (используя только поле MID1)

PSHELL	PID	MID1	T	MID2	12I/T <sup>3</sup>	MID3	TS/T		
PSHELL	1	204	.025						

# Свойства элемента QUAD4 (продолжение)

- Для моделирования оболочек, имеющих только изгибную жесткость, заполняется только поле MID2

PSHELL	PID	MID1	T	MID2	$12I/T^3$	MID3	TS/T		
PSHELL	1		.025	204					

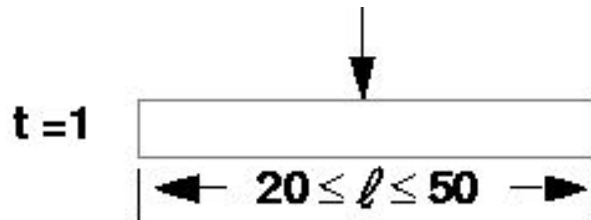
- Для того, чтобы добавить к изгибу жесткость поперечного сдвига, заполняется поле MID3

PSHELL	PID	MID1	T	MID2	$12I/T^3$	MID3	TS/T		
PSHELL	1		.025	204		204			

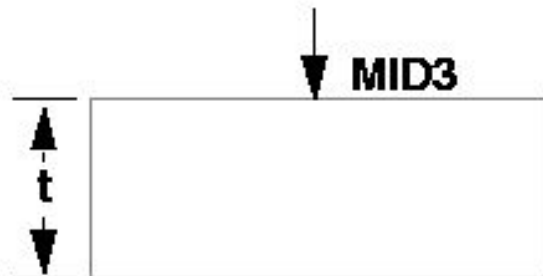
- Примечание: Если поле MID1 пустое, то не вычисляется масса.

# Свойства элемента QUAD4 (продолжение)

- MID3 используется для включения дополнительных членов в матрицу жесткости элемента (т.е. включение жесткости поперечного сдвига).



Для тонкой пластины MID3 дает очень малый эффект.



Для толстых пластин MID3 дает значительный эффект. Добавление MID3 делает пластину более податливой в нормальном (поперечном) направлении.

# Свойства элемента QUAD4 (продолжение)

- Для сплошной однородной пластины поля MID1, MID2 и MID3 должны ссылаться на один и тот же материал.
- **MID4:** Поле MID4 (совместные мембранно-изгибные деформации) следует задавать только для элементов с несимметричным сечением. По умолчанию (пробел) - симметричное сечение.
- Для более подробной информации о MID4, смотри *MSC.Nastran Common Questions and Answers*

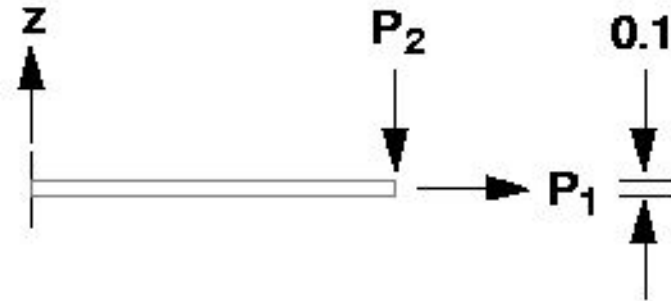
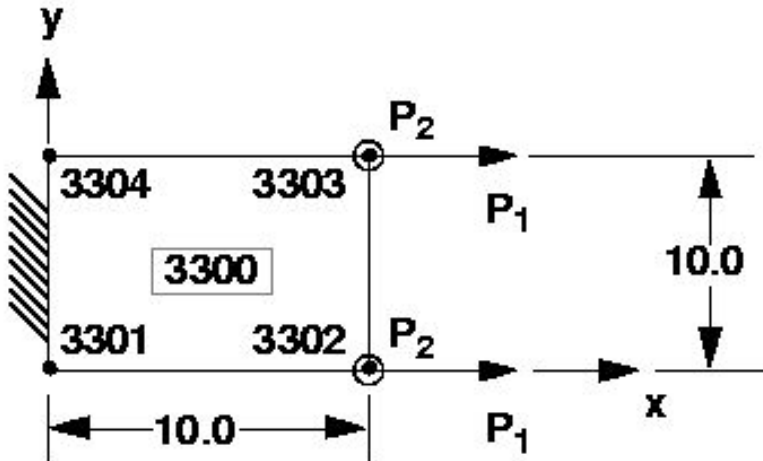
# Свойства элемента QUAD4 (продолжение)

□ Если поля MID оставить пустыми:

- MID1 Нет мембранной или совместной жесткости
- MID2 Нет изгибной, совместной или поперечной жесткости
- MID3 Нет податливости поперечному сдвигу
- MID4 Нет совместной мембранно-изгибной жесткости



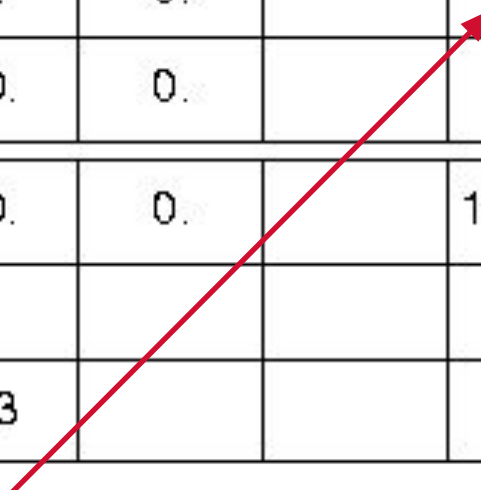
# Пример QUAD4



$$E = 30.E+6 \quad P_1 = 12000.$$
$$\nu = 0.3 \quad P_2 = 5000.$$

# Пример QUAD4 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CQUAD4	3300	1	3301	3302	3303	3304			
GRID	3301		0.	0.	0.		123456		
GRID	3302		10.	0.	0.		6		
GRID	3303		10.	10.	0.		6		
GRID	3304		0.	10.	0.		123456		
PSHELL	1	1	0.1	1					
MAT1	1	30.+6		0.3					



**Заметим, что вращение в плоскости запрещено**

# Пример QUAD4 (продолжение)

## DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
3301	G	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3302	G	7.806971E-03	1.756568E-03	-1.261228E+02	-3.192983E+00	1.915789E+01	0.0
3303	G	7.806971E-03	-1.756568E-03	-1.261228E+02	3.192983E+00	1.915789E+01	0.0
3304	G	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

# Пример QUAD4 (продолжение)

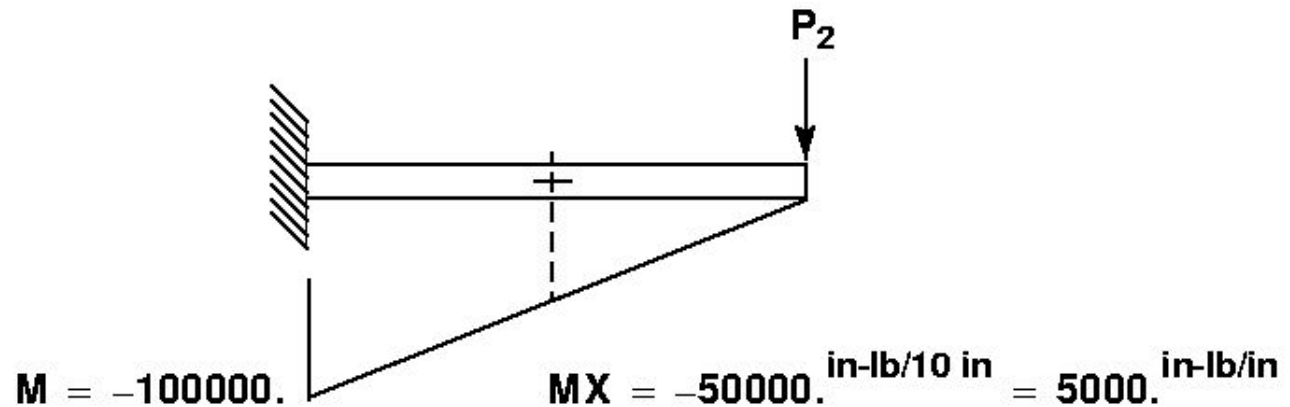
FORCES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUAD4)

ELEMENT ID	- MEMBRANE FORCES -			- BENDING MOMENTS -			- TRANSVERSE SHEAR FORCES -	
	FX	FY	FXI	MX	MY	MXI	QX	QY
3300	2.400000E+03	1.930295E+02	7.105427E-15	-5.000000E+03	-7.017544E+02	1.776357E-12	-1.000000E+03	5.694342E-14

Силы в плоскости  
элемента в системе  
координат элемента  
(сила/длина)

Внутренние моменты в  
системе координат  
элемента (момент/длина)

Перерезывающие  
силы (сила/длина)



# Пример QUAD4 (продолжение)

STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUAD4)

ELEMENT ID.	FIBRE DISTANCE	STRESSES IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRESSES (ZERO SHEAR)			VON MISES
		NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR	
3300	-5.000000E-02	-2.976000E+06	-4.191223E+05	1.065885E-09	90.0000	-4.191223E+05	-2.976000E+06	2.790149E+06
	5.000000E-02	3.024000E+06	4.229829E+05	-1.065743E-09	0.0000	3.024000E+06	4.229829E+05	2.836263E+06

$$\sigma_{\text{осев.}} = \frac{P}{A} = \frac{24000.}{1} = 2.4E + 4$$

$$\sigma_{\text{изгибн.}} = \frac{My}{I} = \frac{(50000.)(.05)}{10(.1)^3/12} = 3.0E + 6$$

$$\sigma_+ = \sigma_a + \sigma_b = 3.024E + 6$$

$$\sigma_- = \sigma_a + \sigma_b = 2.976E + 6$$

$$\sigma_{\text{HVM}} = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2}$$

$$\sigma_{\text{HVM}} = [(3.024E + 6)^2 - (3.024E + 6)(4.23E + 5) + (4.23E + 5)^2]^{1/2} = 2.836E + 6$$

# Пример QUAD4 (продолжение)

## STRAINS IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUAD4)

ELEMENT ID.	FIBRE DISTANCE	STRAINS IN ELEMENT COORD SYSTEM			PRINCIPAL STRAINS (ZERO SHEAR)			VON MISES
		NORMAL-X	NORMAL-Y	SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR	
3300	-5.000000E-02	-9.500979E-02	1.578926E-02	9.298796E-17	90.0000	1.578926E-02	-9.500979E-02	6.920529E-02
	5.000000E-02	9.657017E-02	-1.614057E-02	-9.297441E-17	0.0000	9.657017E-02	-1.614057E-02	7.037997E-02

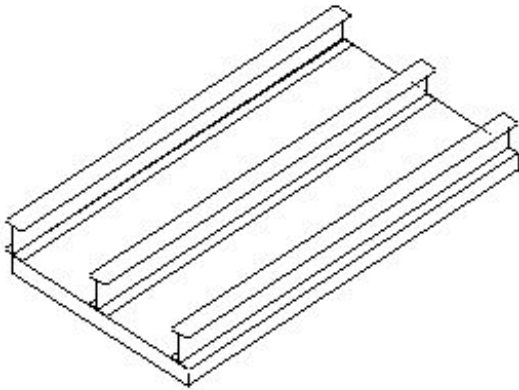
Эта распечатка была получена с помощью запроса в секции CASE CONTROL:  
**STRAIN(FIBER)=ALL**

# Альтернативная запись свойств QUAD4

- Альтернативная запись свойств PCOMP может использоваться когда элемент состоит из композитного материала с разнонаправленными волокнами. Запись PCOMP включает в себя информацию о толщине, ориентации и идентификаторе материала для каждого слоя. Эта информация используется внутри MSC.Nastran для автоматического формирования записей PSHELL, которые уже не следует задавать пользователю для этих элементов. Когда используется запись PCOMP, то организуется специальный вывод результатов расчета по слоям.
- Смотри раздел 6.5 *MSC.Nastran Reference Manual* для детального рассмотрения вопроса моделирования композитов в MSC.Nastran

# Пример

## Модель подкрепленной панели

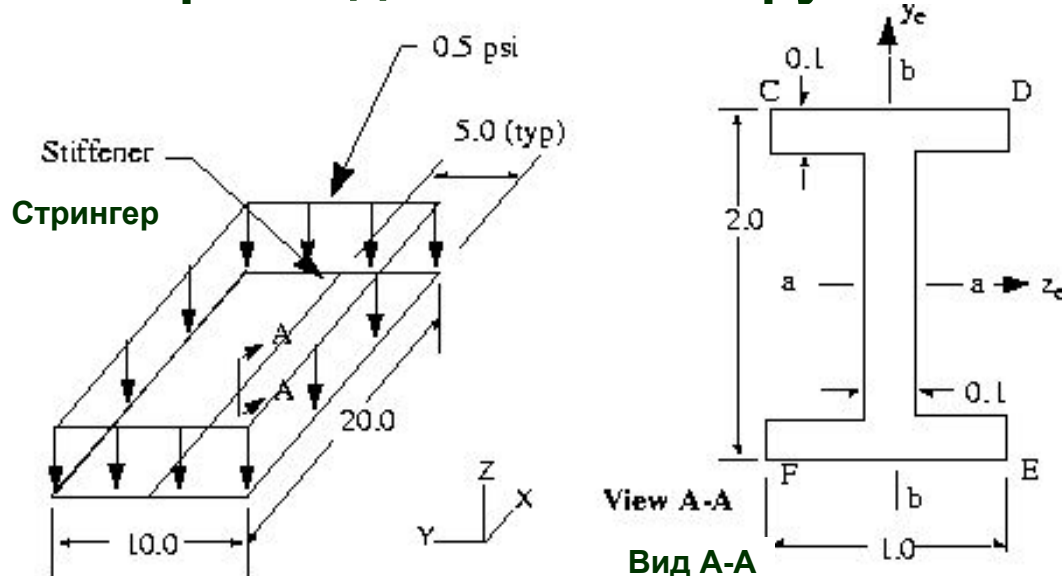


- Цель: смоделировать подкрепленную панель используя PLATE элементы для панели и BEAM элементы для стрингеров



# Пример (продолжение)

- Модель подкрепленной панели
- Моделируется панель (0.1 дюйма толщиной, 20 дюймов в длину, 10 дюймов в ширину). Стрингеры показаны ниже с размерами и прикладываемой нагрузкой.



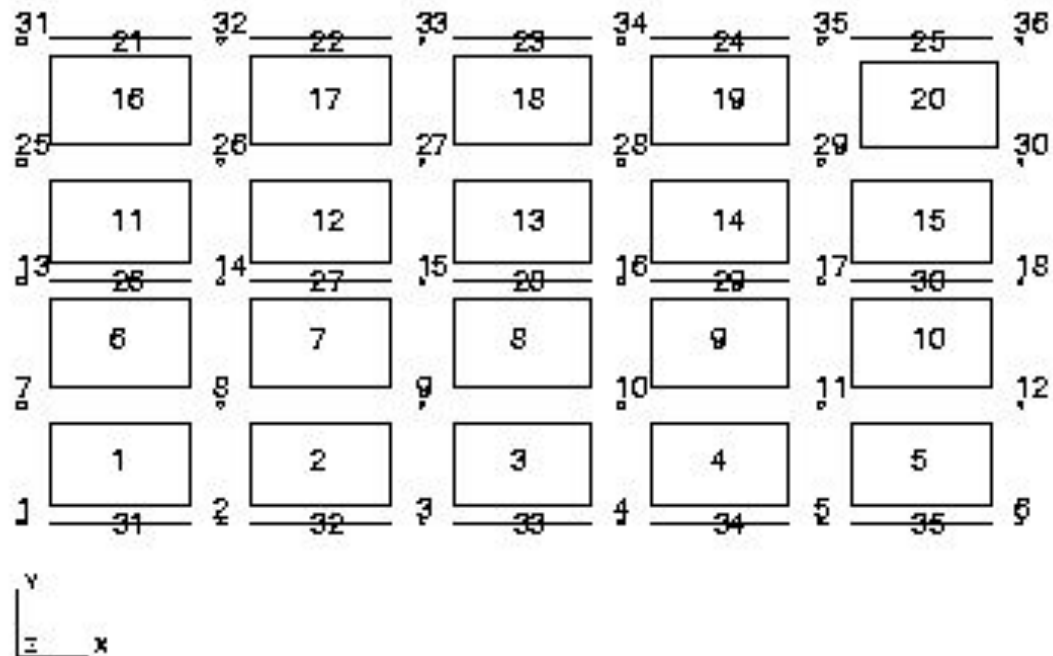
- Граничные условия. Опираемые панели по углам

# Пример (продолжение)

- Модель подкрепленной панели
- **Свойства материала:**
  - $E = 10.3E+6$  psi
  - Коэффициент Пуассона = .3
  - Плотность = .101 lb/in<sup>3</sup> (массовая плотность)
- **Стрингеры будут моделироваться с использованием BEAM элементов и записи RBEAML для задания поперечного сечения**
- **Узловые точки будут лежать в срединной плоскости панели, следовательно BEAM элементы должны иметь смещение от узловых точек на 1.05 дюйма (половина высоты стрингера + половина толщины панели)**

# Пример (продолжение)

## □ Модель подкрепленной панели

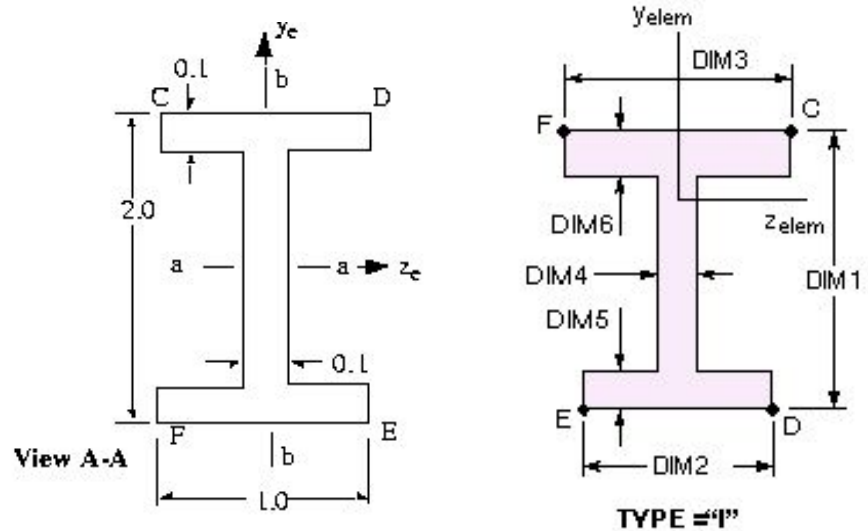


# Пример (продолжение)

- Модель подкрепленной панели
- Запись RBEAML

RBEAML, 2, 1, , I  
 , 2., 1., 1., .1, .1, .1

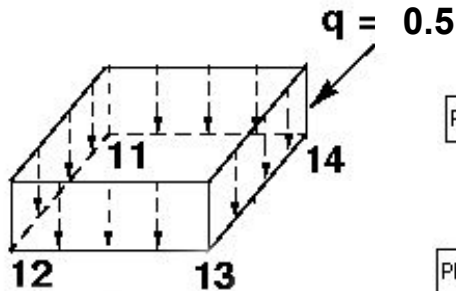
- Пример записи CBEAM



CBEAM	21	2	31	32	0.	0.	1.
			0.	0.	1.05	0.	0.
							1.05

# Пример (продолжение)

- ❑ Модель подкрепленной панели – задание давления
- ❑ Давление на PLATE элементы прикладывается с помощью записей PLOAD2 или PLOAD4.



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLOAD2	SD	P	EID1	EID2	EID3	EID4	EID5	EID6	

Альтернативный формат и пример

PLOAD2	SD	P	EID1	"THRU"	EID2				
PLOAD2	1	30.4	16	THRU	48				

- ❑ SD – Вариант статической нагрузки ID
- ❑ EID<sub>i</sub> = Номер элемента ID
- ❑ P = Давление (прикладывается относительно системы координат элемента)

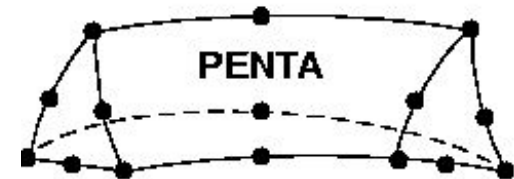
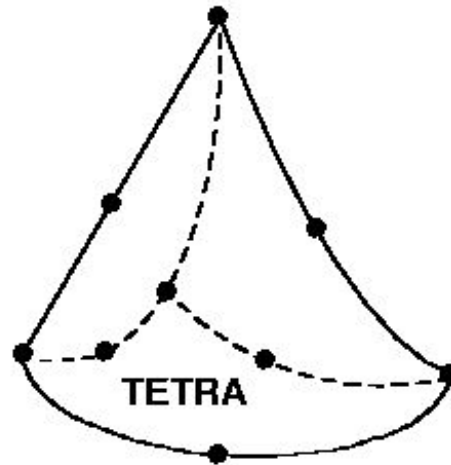
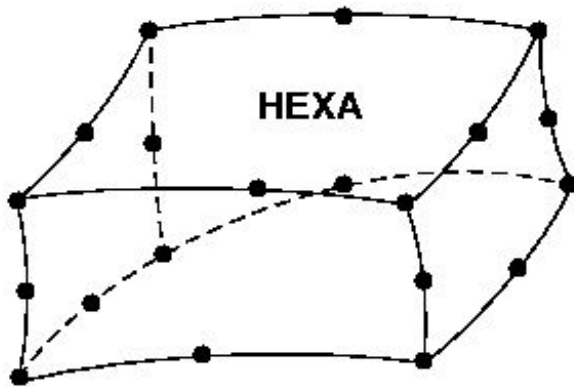
`PLOAD2, 1, -.5, 1, THRU, 20`

# Трехмерные элементы

## □ Библиотека трехмерных SOLID элементов:

- PENTA (6-15 узлов)
- HEXA (8-20 узлов)
- TETRA (4-10 узлов)

Некоторые или все узлы на ребрах могут быть удалены.  
Угловые узлы не могут быть удалены.



# Трехмерные элементы (продолжение)

- **HEXA** Рекомендуется применять в большинстве случаев. Снижение точности наблюдается при искажении формы элемента и в тех случаях, где доминирует изгиб. В большинстве других ситуаций, он обладает лучшими характеристиками по сравнению с другими объемными элементами.
- **PENTA** Обычно используются при переходных областях. Этот элемент также хорош для моделирования толстых оболочек. Если треугольные грани не лежат на поверхности оболочки, то жесткость может быть завышенной.
- **TETRA** Элемент, наиболее часто используемый автоматическими генераторами сеток, а также для заполнения пустот сложной формы, образованных при генерации модели с помощью HEXA и PENTA элементов. Элементы не идеальной формы с четырьмя узлами не рекомендуется использовать для моделирования больших участков объемных тел. 10-узловые элементы TETRA обеспечивают намного большую точность.

# Трехмерные элементы (продолжение)

- ❑ Объемные элементы имеют только поступательные степени свободы
- ❑ Поэтому соединение объемных элементов с элементами, предполагающими передачу момента, требует специального моделирования
- ❑ Например, соединение PLATE элемента с SOLID элементом приведет к эффекту «крышки-пианино», если не будут применены специальные средства моделирования (например, RSSCON обеспечит передачу момента между PLATE и SOLID элементами)
- ❑ Если BAR или BEAM элемент будет соединяться с SOLID элементом, то получится не что иное как «шарнир» независимо от значения флагов шарниров на одномерных элементах (в этом случае элемент RBE3 может использоваться для передачи момента между BAR, BEAM и SOLID элементами)



# Трехмерные элементы (продолжение)

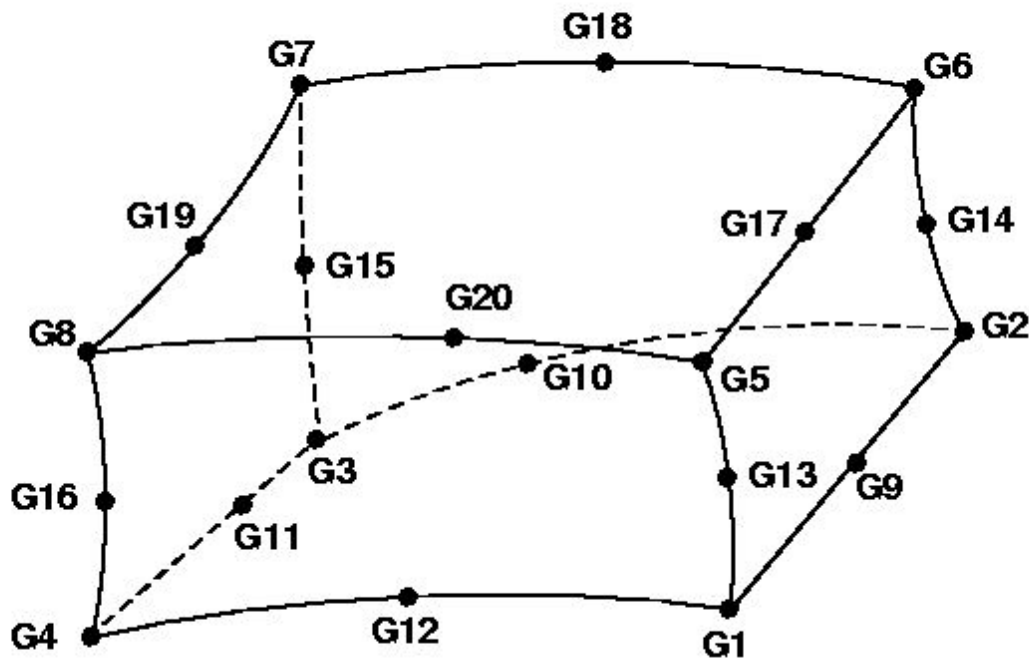
## □ CHEXA:

- Содержит от 8 до 20 узлов (для получения лучших результатов рекомендуется иметь 8 или 20 узлов)
- Компоненты напряжений:  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{zx}$  (в центре и в угловых узлах)
- Компоненты перемещений:  $u_i$
- Можно использовать изотропные или анизотропных материалы

# Трёхмерные элементы (продолжение)

## □ CHEXA:

Геометрия



# Трехмерные элементы (продолжение)

## ☐ CHEXA:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CHEXA	EID	PID	G1	G2	G3	G4	G5	G6		
CHEXA	71	4	3	4	5	6	7	8	ABC	
		G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	
+BC	9	10	0	0	30	31	53	54	DEF	
		G15	G16	G17	G18	G19	G20			
+EF	55	56	57	58	59	60				

**EID = Идентификационный номер элемента**

**PID = Идентификационный номер карты свойств PSOLID**

**G1...G20 = Номера узлов, объединенных в элемент (в порядке показанном на предыдущем слайде)**

# Трехмерные элементы (продолжение)

- ❑ Система координат элемента
- ❑ Для объемных элементов внутренняя система координат элемента определяется достаточно сложно.
- ❑ Метод ее построения описан в QRG
- ❑ По умолчанию, вывод напряжений для объемных элементов осуществляется в системе координат материала заданного для элемента (по умолчанию – базовая система координат)
- ❑ Запись свойств PSOLID содержит поле CORDM для назначения системы координат материала.



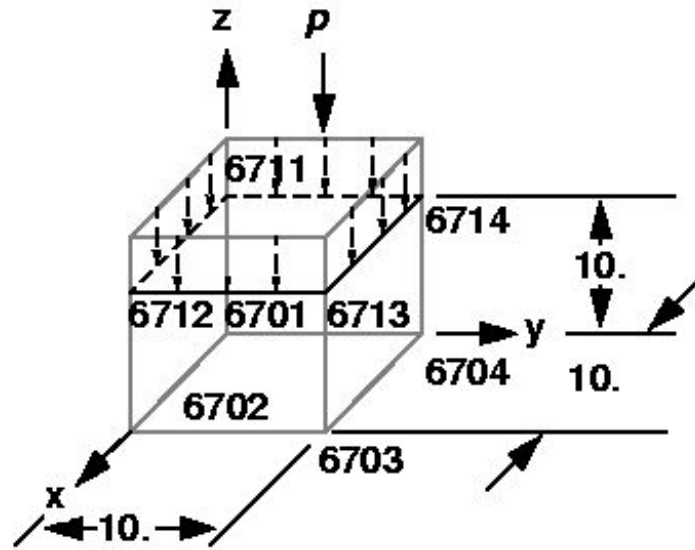
# Трехмерные элементы (продолжение)

## □ СНЕХА - Результаты расчета:

- Компоненты напряжений выводятся в системе координат материала. Системой координат материала может быть базовая система координат (по умолчанию 0) или любая пользовательская система координат (целое положительное число).
- Результаты рассчитываются в центре тяжести элемента и для точек интегрирования по Гауссу, либо для вершин (угловых узлов), в зависимости от запроса пользователя.

Подробности об объемных элементах см. в разделе 5.4  
*MSC.Nastran Reference Manual* и в разделе 4.3  
*MSC.Nastran Linear Static Analysis User's Guide*

# Трехмерные элементы - пример



$$E = 30.E+6 \text{ psi}$$

$$\nu = 0.3$$

$$p = 8. \text{ psi}$$

# Трехмерные элементы – пример (продолжение)

- Запись PLOAD4 задает давление на SOLID элементы

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLOAD4	SID	EID	P1	P2	P3	P4	G1	G3 or G4		
	CID	N1	N2	N3						

Пример:

PLOAD4	2	1106	10.0	8.0	5.0		48			
	6	00	1.0	0.0						

## Поле

## Содержание

**SID** Идентификатор варианта нагрузки

**EID** Идентификатор элемента

**P1,P2,P3,P4** Величина давления в углах грани элемента (значение P1 является значением по умолчанию для P2=P3=P4)

**G1** Идентификатор узла одного угла грани, нагруженной давлением

**G3** Идентификатор узла угла грани, диагонально противоположного G1. (G1, G2 необходимы только для **объемных элементов**)



# Трёхмерные элементы – пример (продолжение)

## □ Запись PLOAD4 продолжение:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLOAD4	SID	EID	P1	P2	P3	P4	G1	G3 or G4	
	CID	N1	N2	N3					

Пример:

PLOAD4	2	1106	10.0	80	50		48		
	6	00	1.0	00					

**CID** Координатная система вектора ориентации

**N1, N2, N3** Координаты вектора (в CID) определяющие направление нагрузки

По умолчанию, нагрузка положительна, если направлена внутрь элемента

# Трёхмерные элементы – пример (продолжение)

```
SOL 101
CEND
TITLE = SOLID EXAMPLE
DISP = ALL
STRESS = ALL
LOAD = 1
BEGIN BULK
CHEXA 6700 1 6701 6702 6703 6704 6711 6712 +CH1
+CH1 6713 6714
GRID 6701 0. 0. 0. 123456
GRID 6702 10. 0. 0. 23456
GRID 6703 10. 10. 0. 3456
GRID 6704 0. 10. 0. 3456
GRID 6711 0. 0. 10. 456
GRID 6712 10. 0. 10. 456
GRID 6713 10. 10. 10. 456
GRID 6714 0. 10. 10. 456
MAT1 1 30.E6 .3
PLOAD4 1 6700 8. 8. 8. 8. 6711 6713
PSOLID 1 1
ENDDATA
```

STRESSES IN HEXAHEDRON SOLID ELEMENTS (HEXA)

ELEMENT-ID	CORNER GRID-ID	-----CENTER AND CORNER POINT STRESSES-----			DIR. COSINES			MEAN PRESSURE	VON MISES				
		NORMAL	SHEAR	PRINCIPAL	-A-	-B-	-C-						
6700	CENTER	X	1.665335E-16	XY	4.163336E-17	A	-8.000000E+00	LX	0.00	0.0	0.0	2.666667E+00	8.000000E+00
		Y	2.775558E-17	YZ	5.551115E-17	B	1.110223E-16	LY	0.00	0.0	0.0		
		Z	-8.000000E+00	ZX	5.551115E-17	C	1.110223E-16	LZ	1.00	0.0	0.0		
6701		X	3.747003E-16	XY	1.249001E-16	A	-8.000000E+00	LX	0.00	0.0	0.0	2.666667E+00	8.000000E+00
		Y	5.273559E-16	YZ	2.775558E-17	B	4.996004E-16	LY	0.00	0.0	0.0		
		Z	-8.000000E+00	ZX	5.150794E-17	C	4.996004E-16	LZ	1.00	0.0	0.0		
6702		X	3.122502E-16	XY	1.249001E-16	A	-8.000000E+00	LX	0.00	0.0	0.0	2.666667E+00	8.000000E+00
		Y	-1.249001E-16	YZ	8.593553E-17	B	1.110223E-16	LY	0.00	0.0	0.0		
		Z	-8.000000E+00	ZX	5.150794E-17	C	1.110223E-16	LZ	1.00	0.0	0.0		
6703		X	-2.775558E-17	XY	1.249001E-16	A	-8.000000E+00	LX	0.00	0.0	0.0	2.666667E+00	8.000000E+00
		Y	-3.538836E-16	YZ	8.593553E-17	B	-2.220446E-16	LY	0.00	0.0	0.0		
		Z	-8.000000E+00	ZX	2.775558E-17	C	-2.220446E-16	LZ	1.00	0.0	0.0		
6704		X	-8.326673E-17	XY	1.249001E-16	A	-8.000000E+00	LX	0.00	0.0	0.0	2.666667E+00	8.000000E+00
		Y	3.608225E-16	YZ	2.775558E-17	B	1.665335E-16	LY	0.00	0.0	0.0		
		Z	-8.000000E+00	ZX	2.775558E-17	C	1.665335E-16	LZ	1.00	0.0	0.0		
6711		X	-4.163336E-17	XY	-4.163336E-17	A	-8.000000E+00	LX	0.00	0.0	0.0	2.666667E+00	8.000000E+00
		Y	-1.942890E-16	YZ	2.775558E-17	B	-1.110223E-16	LY	0.00	0.0	0.0		
		Z	-8.000000E+00	ZX	5.150794E-17	C	-1.110223E-16	LZ	1.00	0.0	0.0		
6712		X	-6.938894E-18	XY	-4.163336E-17	A	-8.000000E+00	LX	0.00	0.0	0.0	2.666667E+00	8.000000E+00
		Y	3.330669E-16	YZ	8.593553E-17	B	1.110223E-16	LY	0.00	0.0	0.0		
		Z	-8.000000E+00	ZX	5.150794E-17	C	1.110223E-16	LZ	1.00	0.0	0.0		
6713		X	3.053113E-16	XY	-4.163336E-17	A	-8.000000E+00	LX	0.00	0.0	0.0	2.666667E+00	8.000000E+00
		Y	3.747003E-16	YZ	8.593553E-17	B	3.885781E-16	LY	0.00	0.0	0.0		
		Z	-8.000000E+00	ZX	2.775558E-17	C	3.885781E-16	LZ	1.00	0.0	0.0		
6714		X	8.326673E-17	XY	-4.163336E-17	A	-8.000000E+00	LX	0.00	0.0	0.0	2.666667E+00	8.000000E+00
		Y	-3.330669E-16	YZ	2.775558E-17	B	-1.110223E-16	LY	0.00	0.0	0.0		
		Z	-8.000000E+00	ZX	2.775558E-17	C	-1.110223E-16	LZ	1.00	0.0	0.0		

# Трёхмерные элементы – пример (продолжение)

## □ Проверка расчетов (смотри предыдущий слайд):

- $p = \text{давление} = 8.0 \text{ psi}$
- $\sigma_z = \text{главное напряжение} = P = \underline{-8.0 \text{ psi}}$
- $p_o = \text{среднее давление} = -\frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) = \underline{2.667 \text{ psi}}$
- $\sigma_v = \text{эквивалентное напряжение по Мизесу}$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6\tau_{yz}^2 + 6\tau_{xy}^2]^{1/2}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} (64 + 64)^{1/2} = \underline{8.000 \text{ psi}}$$

- Эквивалентное напряжение  $\sigma_v$  зависит от нормальными и касательными напряжениями следующей зависимостью:

$$\bar{\sigma}_v = \left( \frac{3}{\sqrt{2}} \right) \bar{\tau}_o$$

# Нагрузки в MSC.Nastran

Тип нагрузки	Записи Bulk Data
Силы, приложенные непосредственно к узлам Моменты, приложенные к узлам	FORCE, FORCE1, FORCE2 MOMENT, MOMENT1, MOMENT2
Силы на скалярную точку	SLOAD
Нагрузка на линейный элемент Давление и трение на поверхности	PLOAD1 PLOAD, PLOAD2, PLOAD4, PLOADX
Гравитация Центробежные силы	GRAV RFORCE
Тепловое расширение	TEMP, TEMPD, TEMPP1, TEMPP3, TEMPRB (плюс задание коэф. темп. расширения)
Принудительные деформации растяжения-сжатия для линейных элементов (кроме изгиба)	DEFORM
Принудительные перемещения в узлах	SPC, SPCD
Линейные комбинации наборов сил	LOAD

# Нагрузки в MSC.Nastran (продолжение)

- Смотри раздел 6 ***MSC.Nastran Linear Static Analysis User's Guide*** Для более детального рассмотрения видов статических нагрузок в MSC.Nastran.
- Смотри раздел 7 ***MSC.Nastran Reference Manual*** Для более детального рассмотрения всех видов нагрузок в MSC.Nastran.

# Записи Force и Moment

Существуют три различные записи для задания сил и три записи для задания моментов.

- Три записи FORCE различаются только способом задания направления силы:
  - FORCE использует компоненты вектора.
  - FORCE1 использует две узловые точки, не обязательно те, к которым приложена нагрузка.
  - FORCE2 задает направление силы как направление вектора, являющегося результатом векторного произведения двух других векторов.
- Различие между тремя записями MOMENT подобно различию между записями FORCE.

# Записи Force и Moment (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FORCE	SID	G	CID	F	N1	N2	N3		
FORCE	10	2		5000.	0.	-1.	0.		
FORCE	10	2		24000.	1.				
MOMENT	SID	G	CID	M	N1	N2	N3		
MOMENT	10	2		40000.	1.				

## Поле

## Содержание

**SID** Идентификатор варианта нагружения

**G** Идентификатор узла

**CID** Идентификатор системы координат (целое  $\geq 0$  или пробел, по умолчанию 0, т.е. базовая система координат)

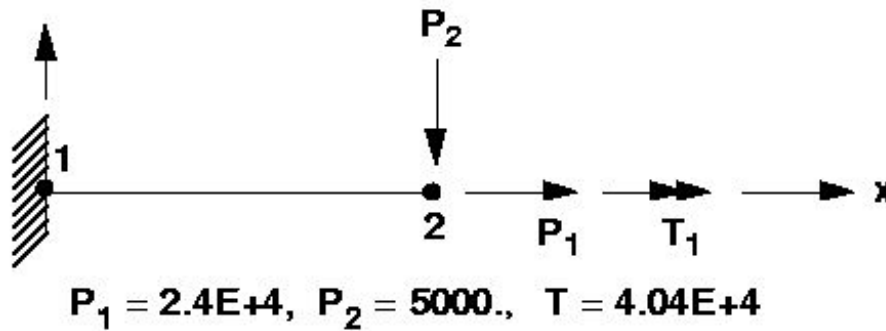
**F или M** Масштабный множитель (вещественное число)

**N1,N2,N3** Компоненты вектора в системе координат CID (вещественные, должен быть хотя бы один ненулевой компонент)



# Записи Force и Moment (продолжение)

□ Приложенная нагрузка =  $\vec{f} = F\vec{N}$       где  $\vec{N} = (N1, N2, N3)$   
 $\vec{m} = M\vec{N}$



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FORCE	SID	G	CID	F	N1	N2	N3			
FORCE	10	2		5000.	0.	-1.	0.			
FORCE	10	2		24000.	1.					
MOMENT	SID	G	CID	M	N1	N2	N3			
MOMENT	10	2		40000.	1.					

# Распределенная нагрузка (PLOADi)

- ❑ **PLOAD** Задаёт нагружение равномерным давлением треугольной или четырёхугольной поверхности, заданной узловыми точками (не обязательно грань элемента)
- ❑ **PLOAD1** Задаёт сосредоточенную и линейно распределённую по длине нагрузку для линейных элементов
- ❑ **PLOAD2** Задаёт равномерное давление на элементах поверхности
- ❑ **PLOAD4** Задаёт линейно изменяющееся давление и трение на поверхностях
- ❑ **PLOADX** Задаёт линейно изменяющееся давление для элемента TRIAX6

Таблицу применимости см. на следующем слайде

# Распределенная нагрузка (PLOADi) (продолжение)

Element	Запись Bulk Data				
	PLOAD1	PLOAD2	PLOAD4	PLOADX	PLOAD
BAR	X				
BEAM	X				
BEND	ограничено				
QUAD4		X	X		X
QUAD8			X		X
TRIA3		X	X		X
TRIA6			X		X
SHEAR		X			X
HEXA			X		
PENTA			X		
TETRA			X		
TRIAx6				X	

# Запись PLOAD1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLOAD1	SID	EID	TYPE	SCALE	X <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	
PLOAD1	1	100	FY	FR	0.0	-15.0	1.0	-15.0	

- Поле**                      **Содержание**
- SID**            Идентификатор варианта нагружения
- EID**            Идентификатор элемента
- TYPE**            Задание нагрузки в направлении оси X, Y или Z базовой системы координат (FX, FY, FZ, MX, MY, MZ) или в направлении оси X, Y, Z оси в системе координат элемента (FXE, FYE, FZE, MXE, MYE, MZE)
- SCALE**            Определяет X1 и X2 как действительное расстояние (LE), относительное расстояние (FR), действительное расстояние по проекции (LEPR) оси элемента или относительное расстояние по проекции (FRPR)

# Запись PLOAD1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLOAD1	SID	EID	TYPE	SCALE	$X_1$	$P_1$	$X_2$	$P_2$	
PLOAD1	1	100	FY	FR	0.0	-15.0	1.0	-15.0	

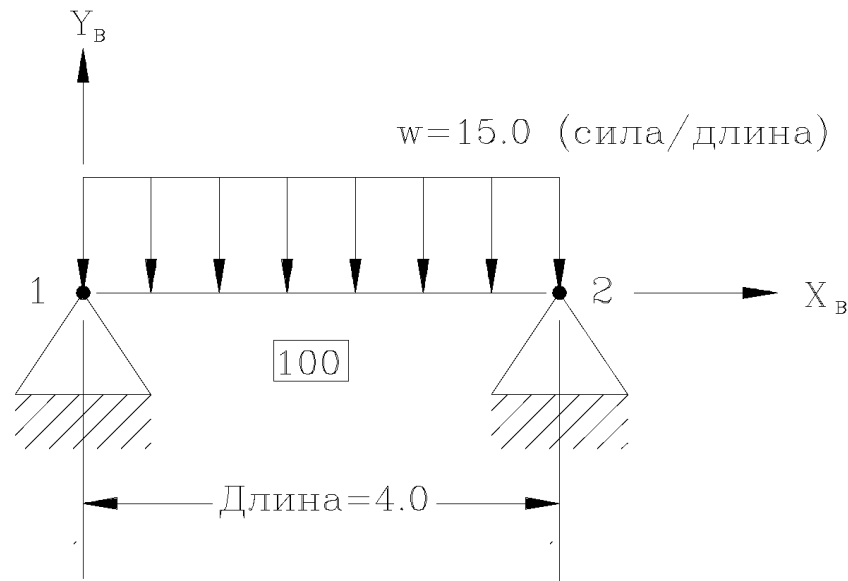
**$X_1$ ,  $X_2$**       Расстояние по оси элемента от конца A до места приложения нагрузки ( $X_2$  может быть пробелом или вещественным числом)

**$P_1$ ,  $P_2$**       Значение нагрузки в позициях  $X_1$ ,  $X_2$  (вещественное число или пробел)

# Запись PLOAD1 - Примеры

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLOAD1	SID	EID	TYPE	SCALE	X <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	
PLOAD1	1	100	FY	FR	0.0	-15.0	1.0	-15.0	

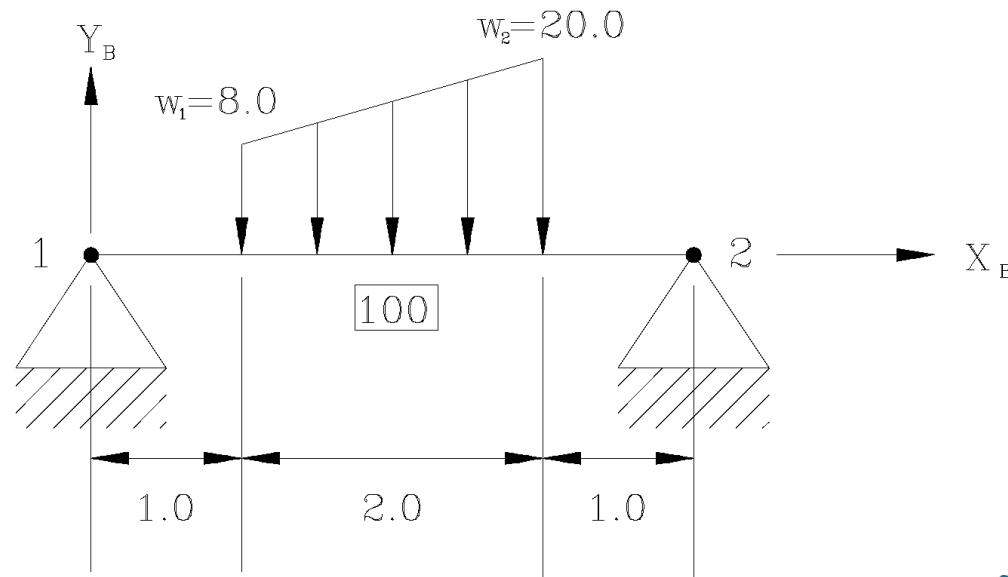
□ Определяет следующую нагрузку:



# Запись PLOAD1 – Примеры (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLOAD1	SID	EID	TYPE	SCALE	X <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	
PLOAD1	1	100	FY	LE	1.0	-8.0	3.0	-20.0	

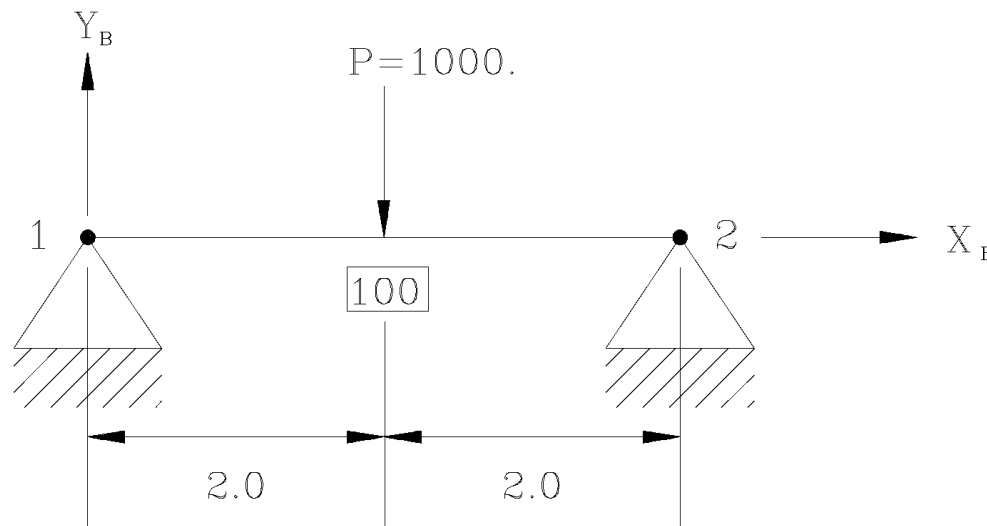
□ Определяет следующую нагрузку:



# Запись PLOAD1 – Примеры (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLOAD1	SID	EID	TYPE	SCALE	X <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	
PLOAD1	1	100	FY	FR	.5	-1000.			

- Сосредоточенная нагрузка, приложенная не в узловой точке балочного элемента, с использованием относительного масштабирования:



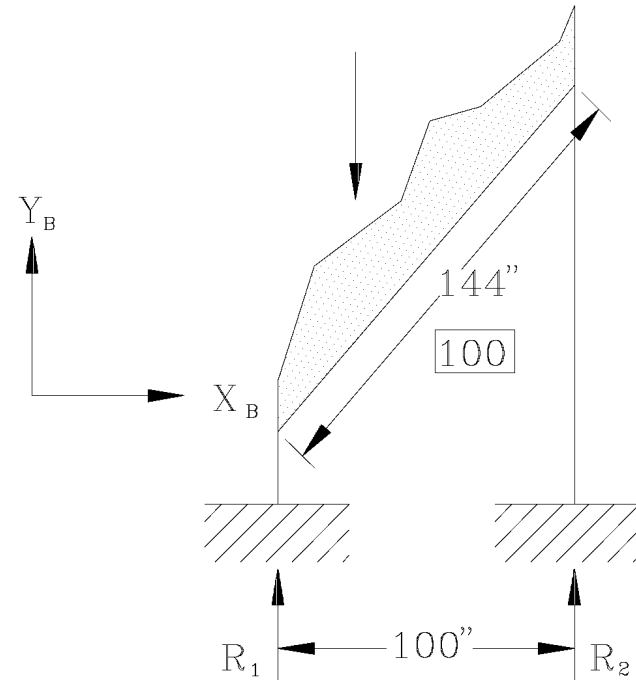


# Запись PLOAD1 – Примеры (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLOAD1	SID	EID	TYPE	SCALE	X <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	
PLOAD1	1	100	FY	LEPR	0.0	-50.	144.	-50.	

- Снежная нагрузка на наклонную крышу с использованием масштабирования по длине проекции.

50.0 lbs/in Проекция снеговой нагрузки



# Комбинация нагрузок - запись LOAD

- ❑ Запись **LOAD** задает статическую нагрузку как линейную комбинацию имеющихся вариантов нагружения.
- ❑ Если необходимо скомбинировать в одном варианте инерционную нагрузку (**GRAV** или **RFORCE**) с другими видами нагружения, то применение записи **LOAD** – единственный способ сделать это.
  - ❑ При этом запись **GRAV** (или **RFORCE**) должна иметь уникальный идентификатор.
- ❑ Запись **LOAD** из секции **BULK DATA** выбирается командой **LOAD=SID** в секции **CASE CONTROL**

# Комбинация нагрузок - запись LOAD (продолжение)

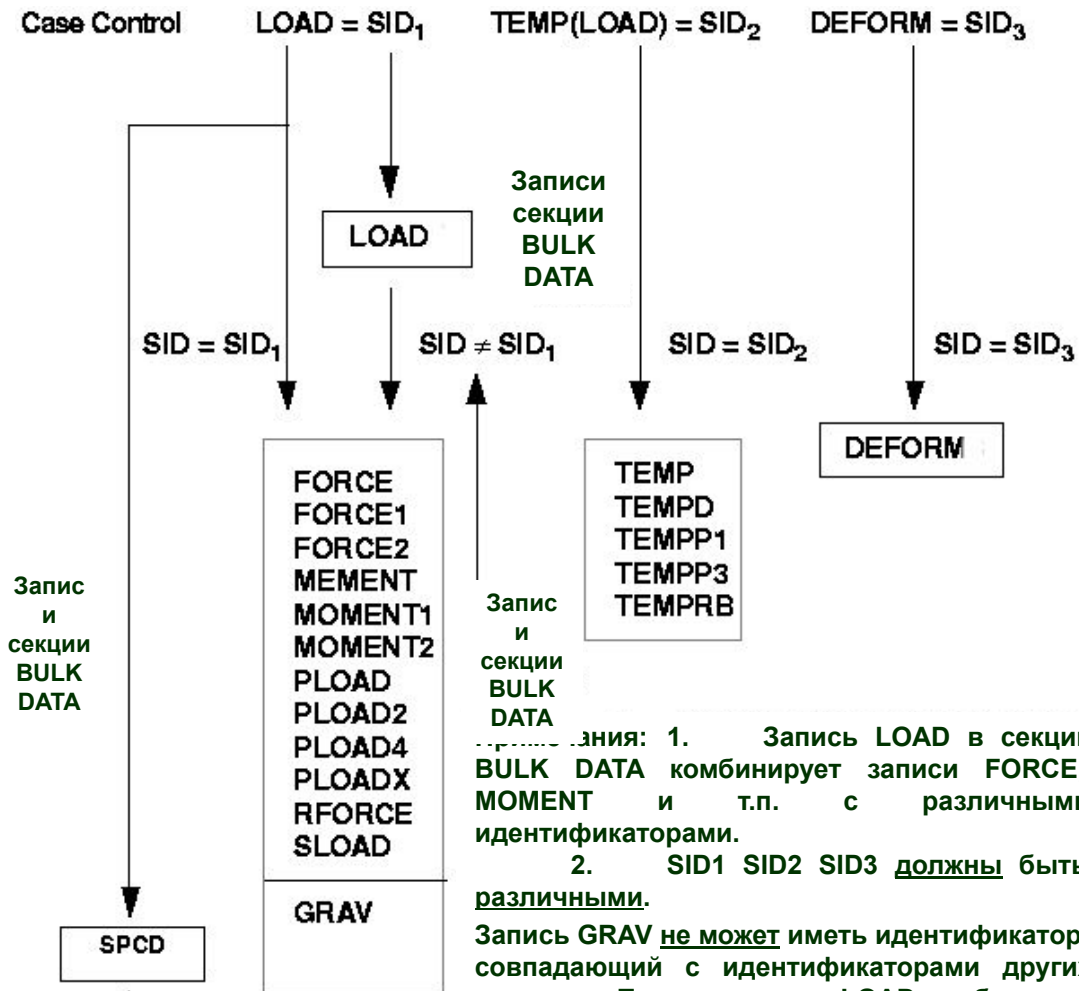
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LOAD	SID	S	S1	L1	S2	L2	S3	L3	
LOAD	16	1.0	2.0	11	1.0	13	0.5	15	

$$LOAD = S * [ (S1*L1) + (S2*L2) + (S3*L3) + ... ]$$

где  $L1, L2, L3$  = Идентификаторы нагрузок

$S1, S2, S3$  = масштабный множитель для конкретного варианта

$S$  = общий масштабный множитель нагрузки



# Библиотека скалярных элементов

- CELAS1, CELAS2, CELAS3, CELAS4, CBUSH
- CELAS $i$  связывают две степени свободы - по одной на каждый узел
- CBUSH элементы соединяют от 1 до 6 степеней свободы между двумя узловыми точками.
- Компоненты сил: Осевая сила P  
или момент M
- Компоненты перемещений: Осевое перемещение u  
или поворот  $\theta$



# Библиотека скалярных элементов (продолжение)

- CELAS1 Связывает две точки, которые могут быть узловыми, скалярными или и теми и другими со ссылкой на запись свойств
- CELAS2 Связывает две точки, которые могут быть узловыми, скалярными или и теми и другими без ссылки на свойства
- CELAS3 Связывает только скалярные точки со ссылкой на свойства
- CELAS4 Связывает только скалярные точки без ссылки на свойства
- CBUSH Соединяет два узла. Позволяет избежать некоторых проблем присущих элементам CELAS<sub>i</sub> при некорректном их использовании. Может соединять от 1 до 6 степеней свободы

# Библиотека скалярных элементов (продолжение)

## □ CBUSH рекомендуется для моделирования скалярных пружин

- CELASi элементы просто добавляют коэффициенты прямо в матрицу жесткости без учета систем координат геометрии и перемещений.
- CBUSH элемент корректно учитывает системы координат геометрии и перемещений.

Смотри стр. 61 и стр.. 121 - 125 *MSC.Nastran Linear Static Analysis User's Guide* и раздел 5.6 *MSC.Nastran Reference Manual* для полной информации о скалярных элементах. Документация для CBUSH элемента есть также в V69 Release Guide

# Библиотека скалярных элементов (продолжение)

- **CBUSH** - Определяет обобщенный упруго-демпфирующий элемент, который может быть нелинейным или зависеть от частоты

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CBUSH	EID	PID	GA	GB	GO/X1	X2	X3	CID	
	S	OCID	S1	S2	S3				

**Example 1:** Noncoincident grid points.

CBUSH	39	6	1	100	75				
-------	----	---	---	-----	----	--	--	--	--

**Example 2:** GB not specified.

CBUSH	39	6	1					0	
-------	----	---	---	--	--	--	--	---	--

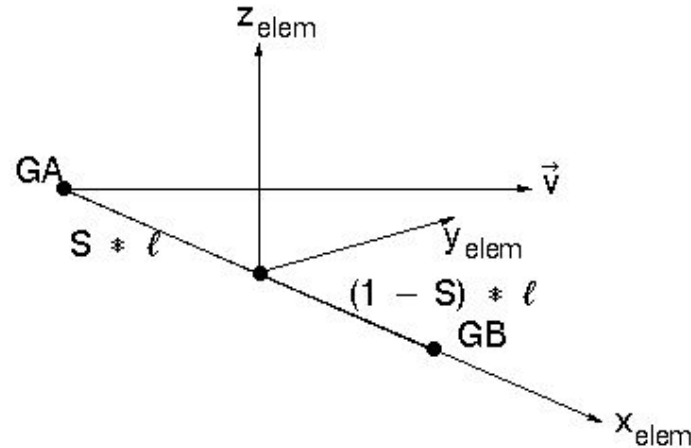
**Example 3:** Coincident grid points (GA=GB).

CBUSH	39	6	1	100				6	
-------	----	---	---	-----	--	--	--	---	--



# Библиотека скалярных элементов (продолжение)

## □ CBUSH :



## Поле      Содержание

**EID**      Идентификационный номер элемента (целое число  $> 0$ )

**PID**      Идентификационный номер карты свойств  
**PBUSH** (целое число  $> 0$ ; по умолчанию = EID)

**GA, GB**    Номера узлов, объединенных в элемент (целые числа  $> 0$ )

# Библиотека скалярных элементов (продолжение)

## □ CBUSH:

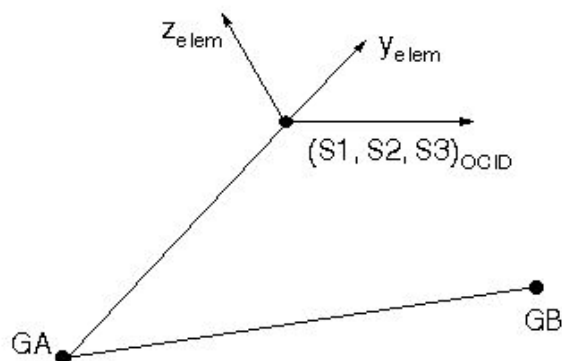
**$X_i$**  Компоненты вектора ориентации  $V$  от  $GA$  в координатной системе перемещений  $GA$ .

**$G0$**  Другой метод определения ориентации с использованием узловой точки  $G0$ .  
Направление  $V$  будет от узла  $GA$  к узлу  $G0$

**$CID$**  Идентификатор координатной системы элемента.  $0$  – означает базовую систему координат. Если поле  $CID$  пустое, тогда система координат элемента определяется от  $G0$  или  $X_i$

# Библиотека скалярных элементов (продолжение)

## □ CBUSH:



**S** Местоположение пружины/демпфера; (по умолчанию = 0.5)

**OCID** Идентификатор системы координат смещения пружины/демпфера. (целое число; по умолчанию = -1 что значит координатную систему элемента)

**S1, S2, S3** Компоненты смещения пружины/демпфера в системе координат OCID, если OCID  $\geq 0$ . (веществ.)

# Библиотека скалярных элементов (продолжение)

**PBUSH** - Определяет свойства элемента CBUSH

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PBUSH	PID	"K"	K1	K2	K3	K4	K5	K6	
		"B"	B1	B2	B3	B4	B5	B6	
		"GE"	GE1						
		"RCV"	SA	ST	EA	ET			

Поле

Содержание

**PID** Идентификационный номер свойств (целое число > 0)

**"K"** Флаг, указывающий, что следующие 6 полей данных являются значениями жесткости (символн.)

**Ki** номинальные значения жесткости по степеням свободы с 1 по 6. (веществ., по умолчанию = 0)

# Библиотека скалярных элементов (продолжение)

□ PBUSH - Определяет свойства элемента CBUSH:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PBUSH	PID	"K"	K1	K2	K3	K4	K5	K6	
		"B"	B1	B2	B3	B4	B5	B6	
		"GE"	GE1						
		"RCV"	SA	ST	EA	ET			

Поле                      Содержание

"B"      Флаг, указывающий, что следующие 6 полей данных являются значениями **номинальных коэффициентов демпфирования** (символн.)

Bi              Номинальные коэффициенты демпфирования в единицах силы деленной на единицу скорости (веществ., по умолчанию = 0.0)

# Библиотека скалярных элементов (продолжение)

□ PBUSH - Определяет свойства элемента CBUSH:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PBUSH	PID	"K"	K1	K2	K3	K4	K5	K6	
		"B"	B1	B2	B3	B4	B5	B6	
		"GE"	GE1						
		"RCV"	SA	ST	EA	ET			

Поле

Содержание

"GE" Флаг, указывающий, что следующее поле данных является значением коэффициента конструкционного демпфирования (символн.)

GE1 Коэффициент конструкционного демпфирования (веществ., по умолчанию = 0.0)

# Библиотека скалярных элементов (продолжение)

<u>Поле</u>	<u>Содержание</u>
"RCV"	Флаг, указывающий, что следующие 4 поля данных являются значением коэффициентов напряжений или деформаций (символн.)
SA	Коэффициенты расчета напряжений для компонентов перемещений с 1 по 3 (веществ., по умолчанию = 1.0)
ST	Коэффициенты расчета напряжений для компонентов вращения с 4 по 6 (веществ., по умолчанию = 1.0)
EA	Коэффициенты расчета деформаций для компонентов перемещений с 1 по 3 (веществ., по умолчанию = 1.0)
ET	Коэффициенты расчета деформаций для компонентов вращения с 4 по 6 (веществ., по умолчанию = 1.0)

# Элемент CWELD

- Изначально элементы этого типа разрабатывались для моделирования точечной сварки, но в настоящее время элемент CWELD выполняет также и роль универсального “коннектора”
- Он позволяет моделировать соединения “узел - узел”, “узел - область” и “область - область”
- Используется для моделирования
  - Точечной сварки
  - болтов
  - ВИНТОВ
  - заклепок



# Типы соединений CWELD

- **Узел - узел**  
для почти конгруэнтных сеток,  
соединяет узел с узлом
- **Узел – область**  
для не конгруэнтных сеток,  
соединяет узел с областью
- **Область – область**  
**(рекомендуемый метод)**  
соединяет области не конгруэнтных  
сеток

