

# Раздел 5

## Верификация модели

# Краткий обзор

- ❑ Типичные ошибки; сингулярности и механизмы
- ❑ Процедура автоматической проверки в MSC.NASTRAN
- ❑ Диагностирование ошибок
- ❑ Основные виды проверок
- ❑ Практика моделирования
- ❑ Жесткие (RIGID) элементы и граничные условия, задаваемые уравнением (MPC)
- ❑ Симметрия

## □ Типичные ошибки; сингулярности и механизмы

# Сингулярности и механизмы

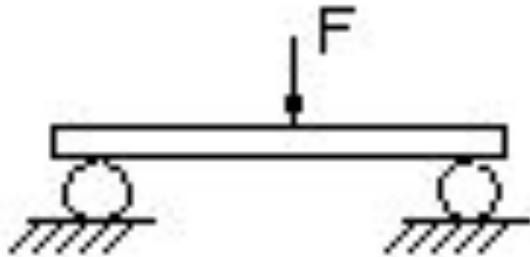
- Сингулярность обуславливается отсутствием жесткости или недостаточной жесткостью конструкции по какой-либо степени свободы.
- Матрица жесткости не может быть обращена, если она сингулярна
- Некоторые примеры сингулярности:
  - Возможность движения модели как твердого тела
  - Соединение элементов с различным числом степеней свободы
  - Некорректная перекрестная связь степеней свободы

# Сингулярности и механизмы (продолжение)

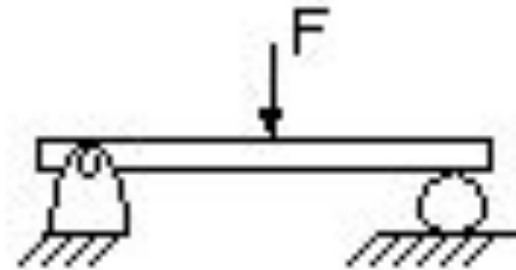
## □ Движение модели как твердого тела

- Граничные условия должны быть заданы таким образом, чтобы все 6 форм движения «твердого тела» были зафиксированы.

Движение твердого тела



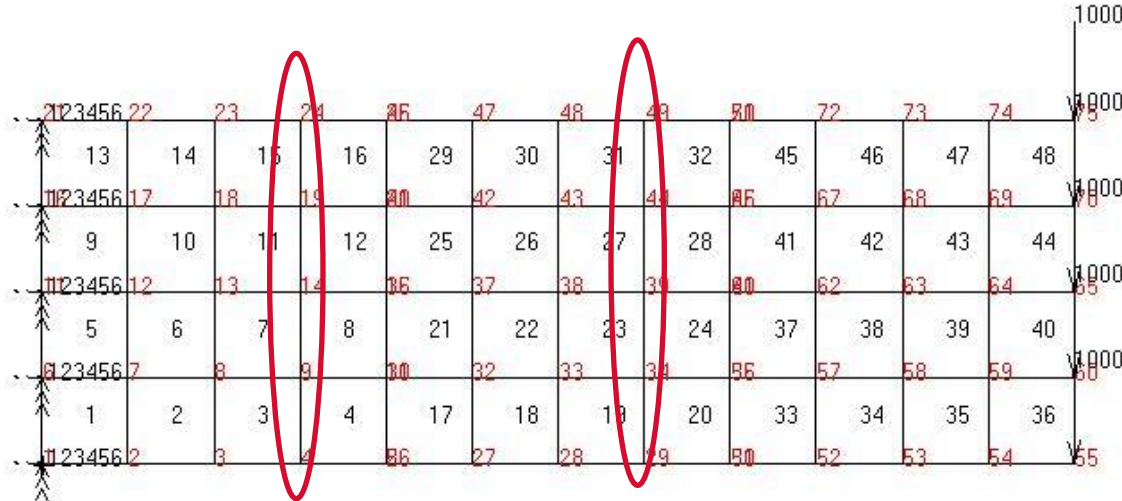
Адекватные закрепления



# Сингулярности и механизмы (продолжение)

## □ Движение модели как твердого тела

- Самая распространенная ошибка: не сшитые сетки (процедура 'Equivalence' в MSC.PATRAN или в любом другом препроцессоре).
- В этом случае сетки не связаны между собой – возникает сингулярность



## □ Процедура автоматической проверки в MSC.NASTRAN

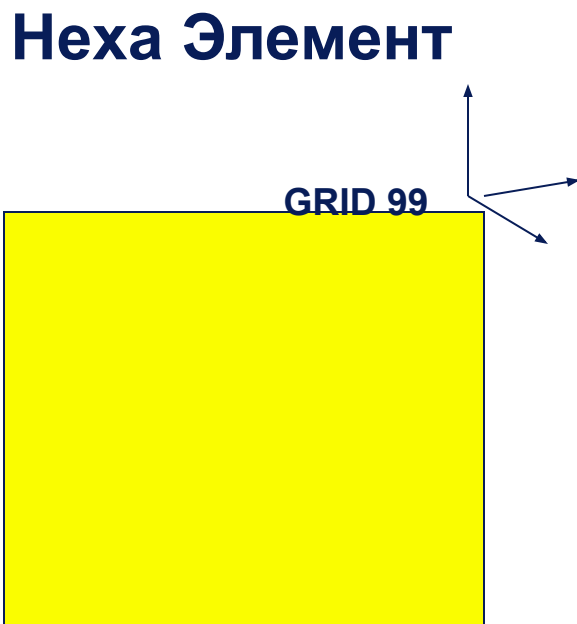
# AUTOSPC

- ❑ Если существуют очевидные сингулярности, MSC.Nastran пытается исключить их автоматически
- ❑ Запись секции Bulk Data - PARAM,AUTOSPC,YES указывает программе на необходимость автоматического приложения SPCs к этим сингулярностям
- ❑ PARAM,AUTOSPC,YES применяется по умолчанию для большинства типов анализа.



# Как работает AUTOSPC

## GRID 99 Составляющие жесткости

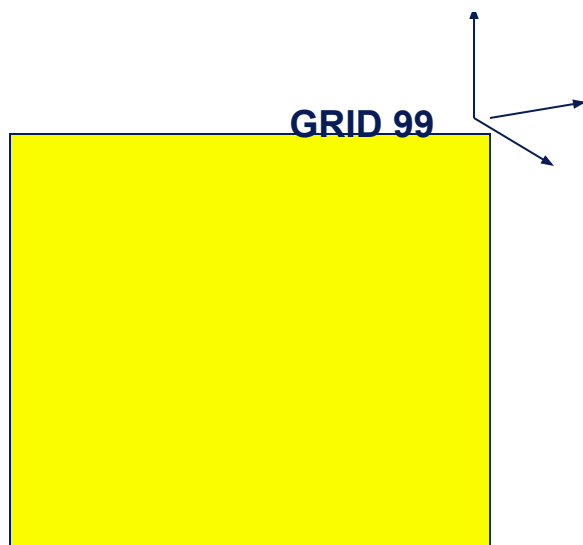


T1	✓	
T2	✓	
T3	✓	
R1	✗	
R2	✗	
R3	✗	

# Как работает AUTOSPC (продолжение)

## GRID 99 Составляющие жесткости

- Успешное исключение нулевых компонент жесткости



T1	✓	
T2	✓	
T3	✓	
R1	✗	→
R2	✗	→
R3	✗	→

# Проблемы с AUTOSPC

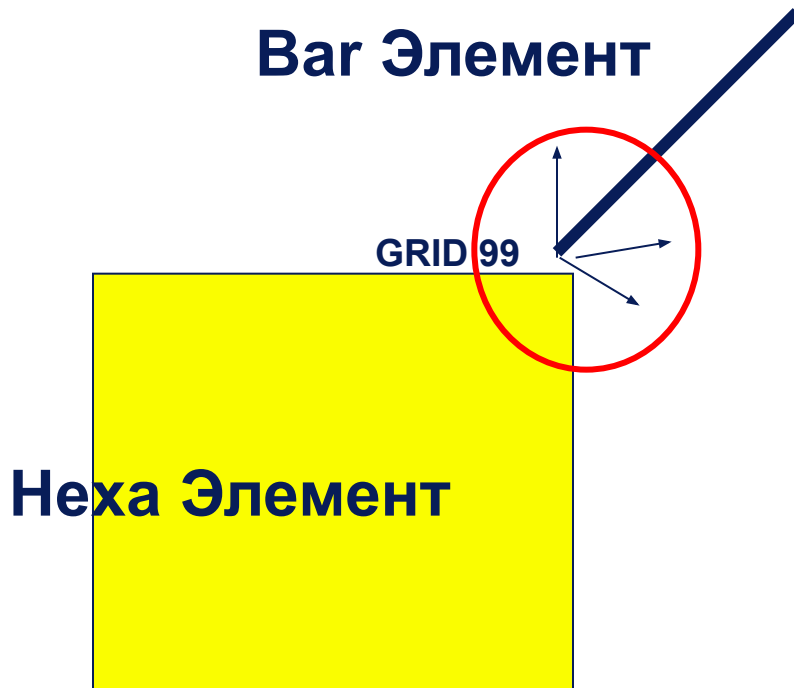
- Нет исключения нулевых компонент жесткости Solid элемента



Solid		Bar	
T1	✓	T1	✓
T2	✓	T2	✓
T3	✓	T3	✓
R1	✗	R1	✓
R2	✗	R2	✓
R3	✗	R3	✓

# Проблемы с AUTOSPC (продолжение)

- Нет исключения нулевых компонент жесткости Solid элемента

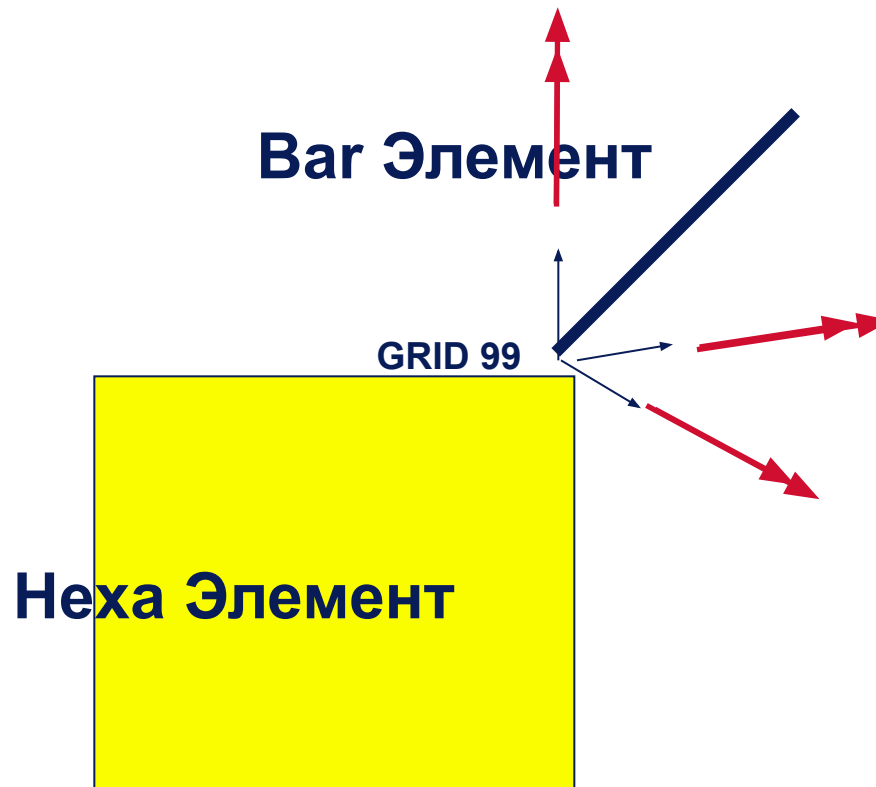


Комбинированные компоненты жесткости

T1	✓
T2	✓
T3	✓
R1	✓
R2	✓
R3	✓

# Проблемы с AUTOSPC (продолжение)

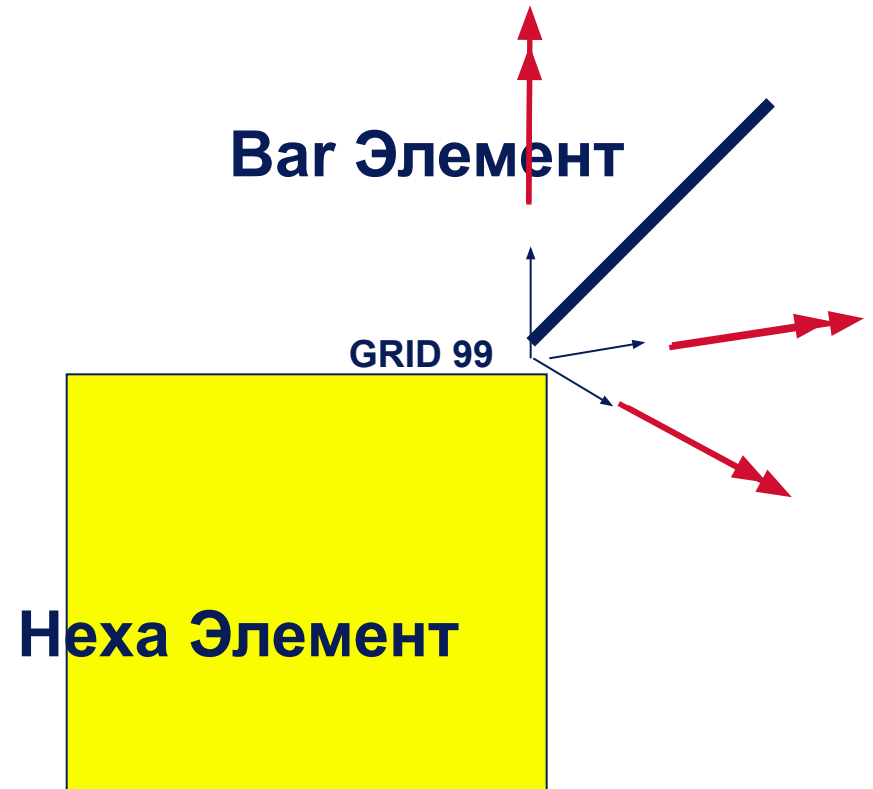
□ 3 Механизма !!!



# Проблемы с AUTOSPC (продолжение)

## □ Варианты решения:

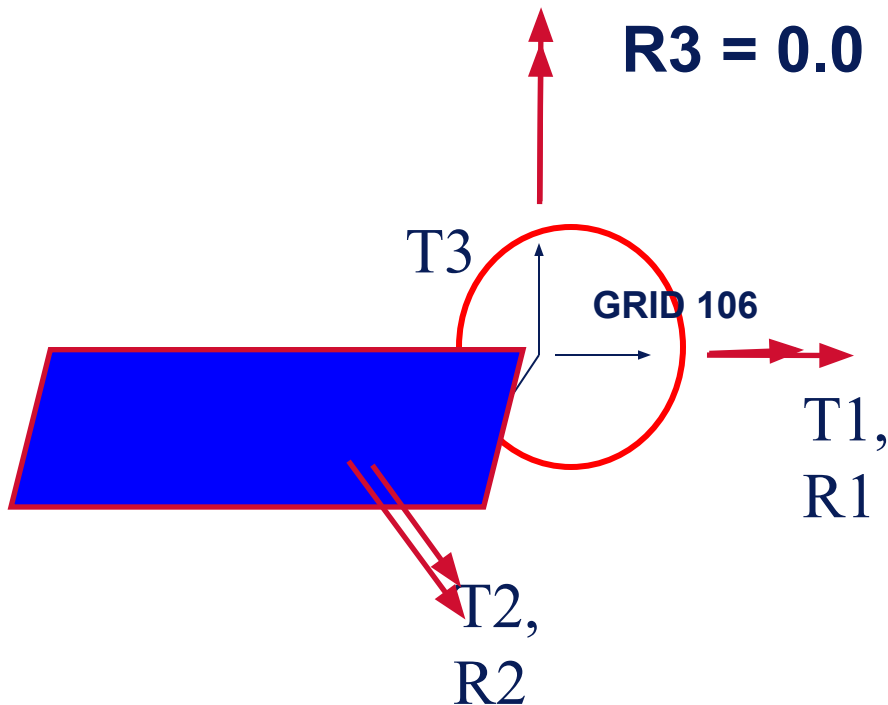
- Задать SPC вручную
- Задать MPC's (будет рассмотрено ниже)
- Приложить жесткие связи (будет рассмотрено ниже)



# AUTOSPC c CQUAD4's

## GRID 106 жесткость

### □ CQUAD4

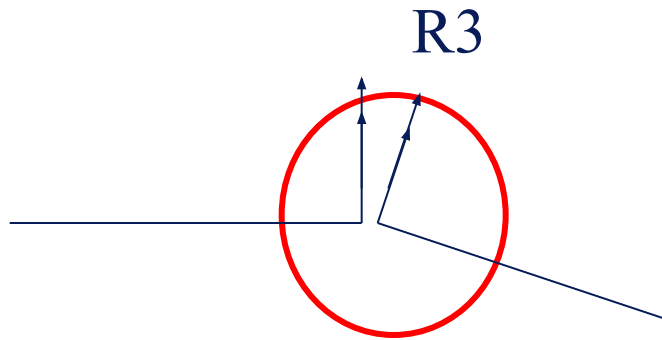


T1	✓
T2	✓
T3	✓
R1	✓
R2	✓
R3	✗

# Проблемы с AUTOSPC (продолжение)

## GRID 106 жесткость

□ 2 CQUAD4's



Возможен механизм !

T1	✓	T1	✓
T2	✓	T2	✓
T3	✓	T3	✓
R1	✓	R1	✓
R2	✓	R2	✓
R3	?	R3	?



# Проблемы с AUTOSPC (продолжение)

## □ Варианты решения:

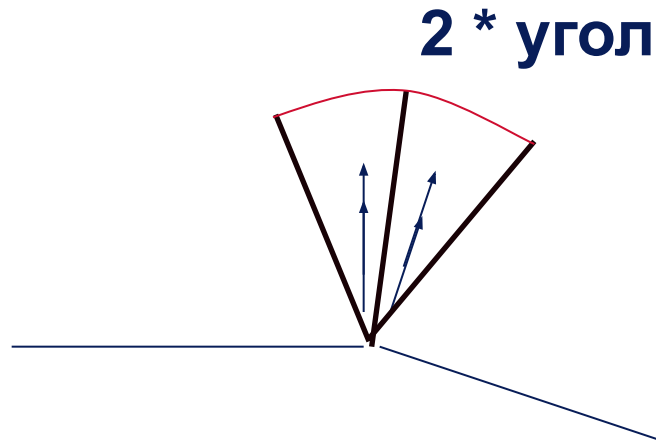
**PARAM,K6ROT, K** (где K- жесткость)

Не рекомендуется для использования в нелинейных расчетах

**PARAM,SNORM, угол**

Recommended  
Рекомендуется

Все векторы в пределах угла усредняются



# Распечатка AUTOSPC

- ❑ Распечатка включает в себя таблицу сингулярностей узловых точек. Данная таблица должна быть внимательно проверена на предмет потенциальных сингулярностей
- ❑ Коэффициент жесткости по умолчанию =  $1.0E-8$

GRID POINT SINGULARITY TABLE							
POINT ID	TYPE	FAILED DIRECTION	STIFFNESS RATIO	OLD USET		NEW USET	
				EXCLUSIVE	UNION	EXCLUSIVE	UNION
1	G	6	0.00E+00	B	F	SB	SB
2	G	6	0.00E+00	B	F	SB	SB
3	G	6	0.00E+00	B	F	SB	SB
4	G	6	0.00E+00	B	F	SB	SB

# Распечатка AUTOSPC (продолжение)

- Что означает USET?
- Представим все степени свободы узлов и скалярных точек в конечноэлементной модели как члены одного набора перемещений (displacement set). Этот глобальный набор (Global set) называется g-set а соответствующий набор перемещений известен как  $U_g$ .
- $[K_{gg}]$  должна быть несингулярной, чтобы уравнение можно было решить. Чтобы достичь отсутствия сингулярности матрицы, пользователь должен определить независимые поднаборы (subsets) набора  $\{u_g\}$ , на которые будет разделен в процессе приведения матрицы  
Например:
  - $u_m$  Степени свободы, исключаемые граничными условиями MPC
  - $u_s$  Степени свободы, исключаемые граничными условиями SPCИсключение M и S наборов (sets) даст набор F (free - свободный), который обычно и решается, чтобы получить неизвестные перемещения.
- Для более подробной информации о наборах перемещений смотри Приложение B - *MSC.Nastran Quick Reference Guide u MSC.NASTRAN Linear Static Analysis Users' Guide*.

# AUTOSPC

## Контроль AUTOSPC

- Все «недозакрепленные» степени свободы печатаются в таблицу сингулярностей узлов
- Таблица может быть очень большой и, тем самым, скрыть в себе реальную проблему

## Можно распечатать «недозакрепленные» степени свободы в .rsh файл:

- PARAM,SPCGEN,1 PARAM,CHEKOUT,yes

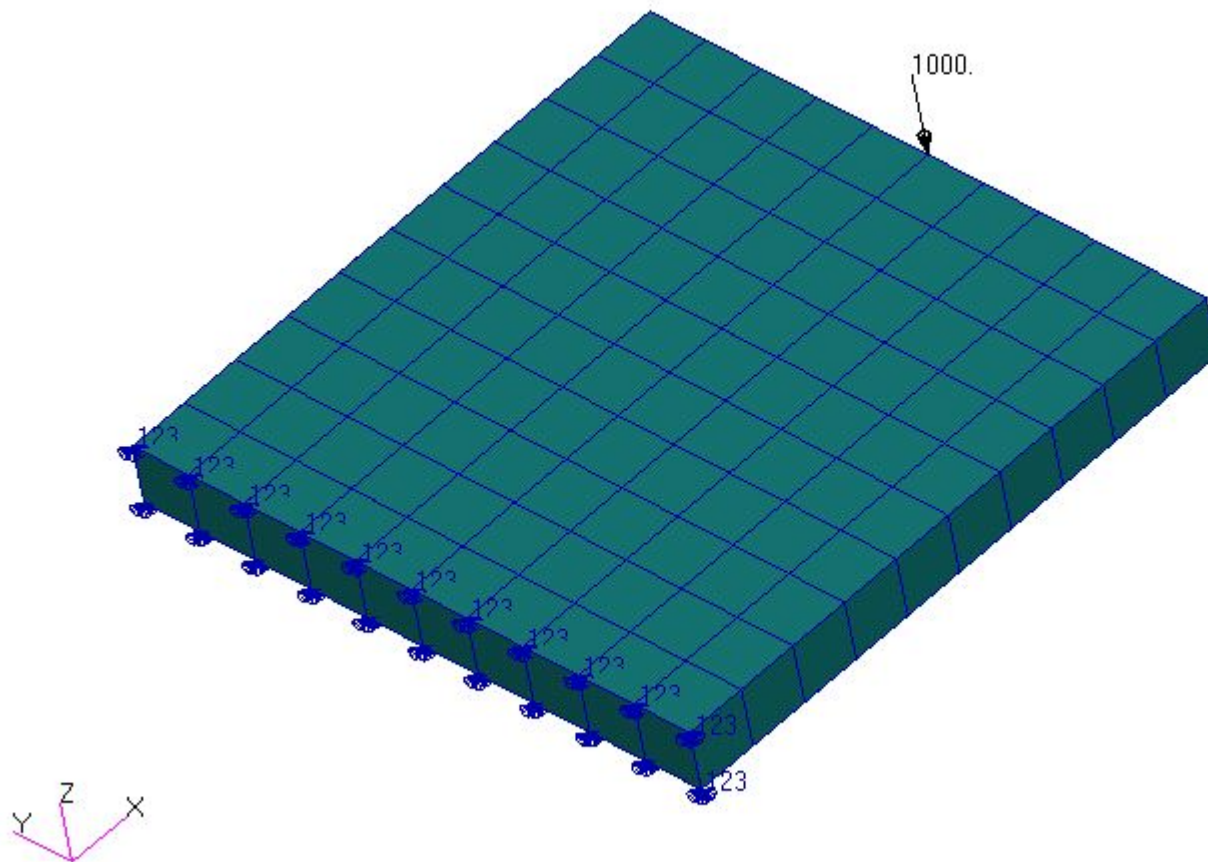
## А далее избирательно использовать в модели сгенерированные записи SPC1

# Пример AUTOSPC

- Запустите входные файлы MSC.NASTRAN
  - section5\_1.bdf вариант solid элементов
  - section5\_2.bdf вариант plate элементов
- Оцените таблицу сингулярностей узлов
- Запустите входные файлы MSC.NASTRAN
  - Section5\_3.bdf solid/plate комбинация
  - Section5\_4.bdf plate/bar комбинация
- Оцените таблицу сингулярностей узлов и проверьте наличие фатальных ошибок

# AUTOSPC Пример (продолжение)

□ section5\_1.bdf

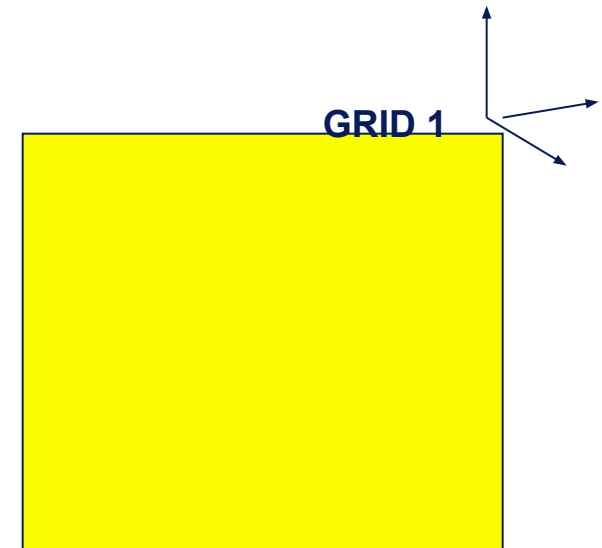


# Пример AUTOSPC (продолжение)

□ section5\_1.bdf

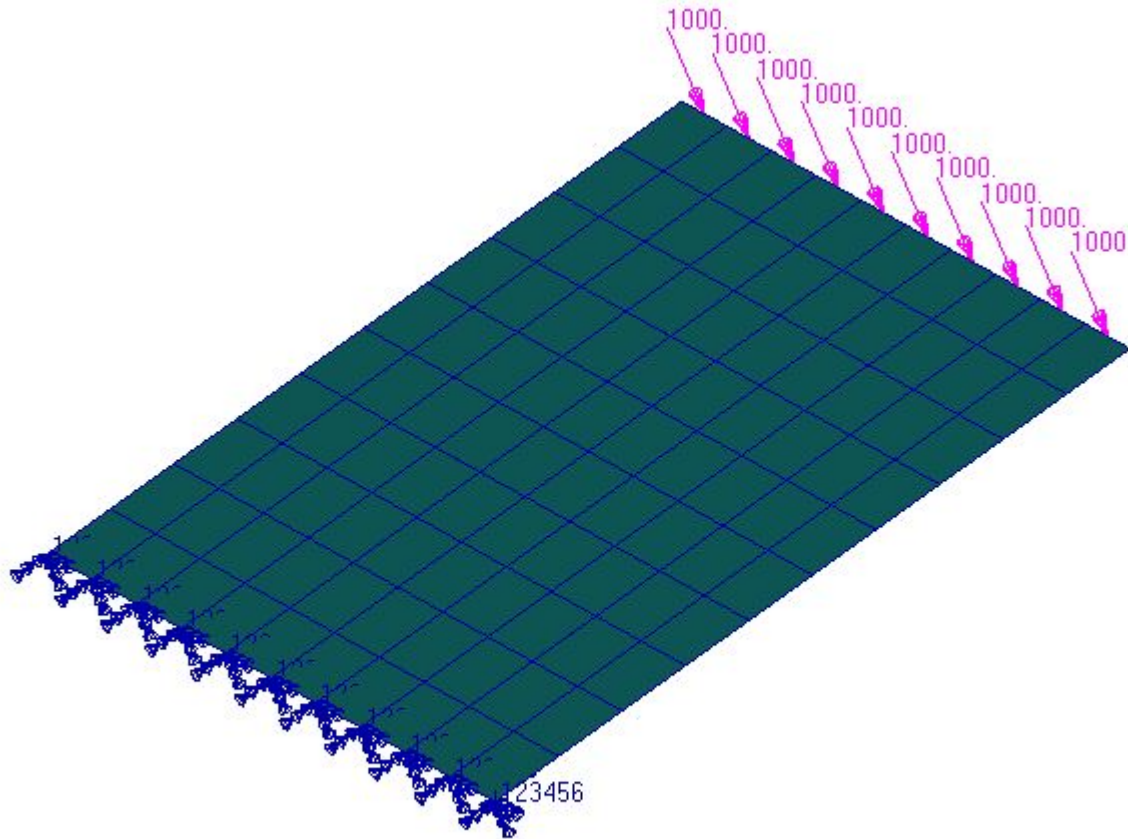
## GRID POINT SINGULARITY TABLE

0	POINT ID	TYPE	FAILED DIRECTION	STIFFNESS RATIO	EXCLUSIVE UNION	OLD USET	NEW USET	EXCLUSIVE UNION
	1	G	4	0.00E+00	BF	F SB	S *	*
	1	G	5	0.00E+00	BF	F SB	S *	*
	1	G	6	0.00E+00	BF	F SB	S *	*
	2	G	4	0.00E+00	BF	F SB	S *	*
	2	G	5	0.00E+00	BF	F SB	S *	*
	2	G	6	0.00E+00	BF	F SB	S *	*
	3	G	4	0.00E+00	BF	F SB	S *	*
	3	G	5	0.00E+00	BF	F SB	S *	*
	3	G	6	0.00E+00	BF	F SB	S *	*



# AUTOSPC Пример (продолжение)

□ section5\_2.bdf



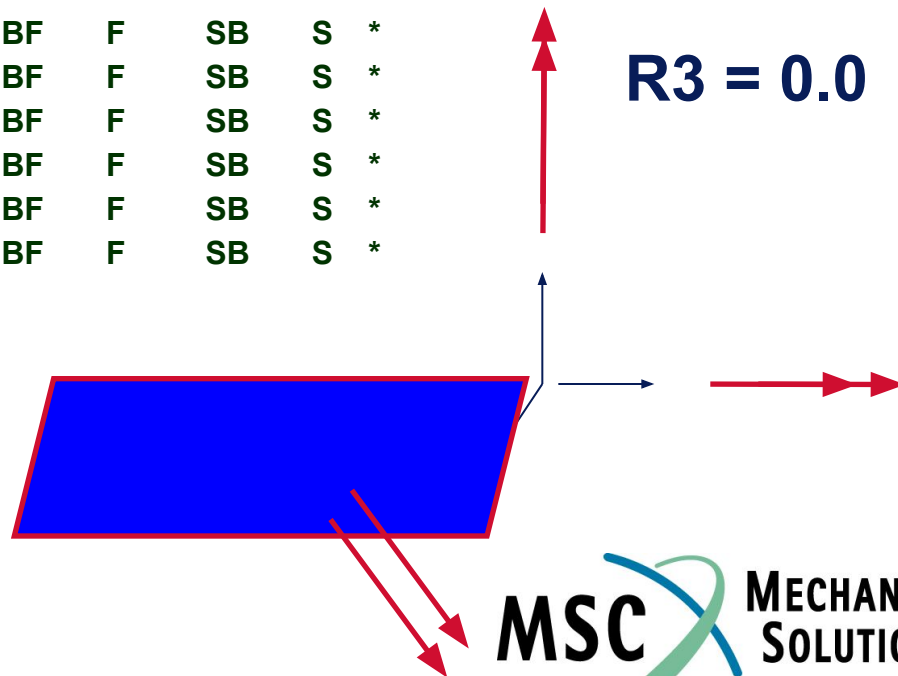


# AUTOSPC Пример (продолжение)

section5\_2.bdf

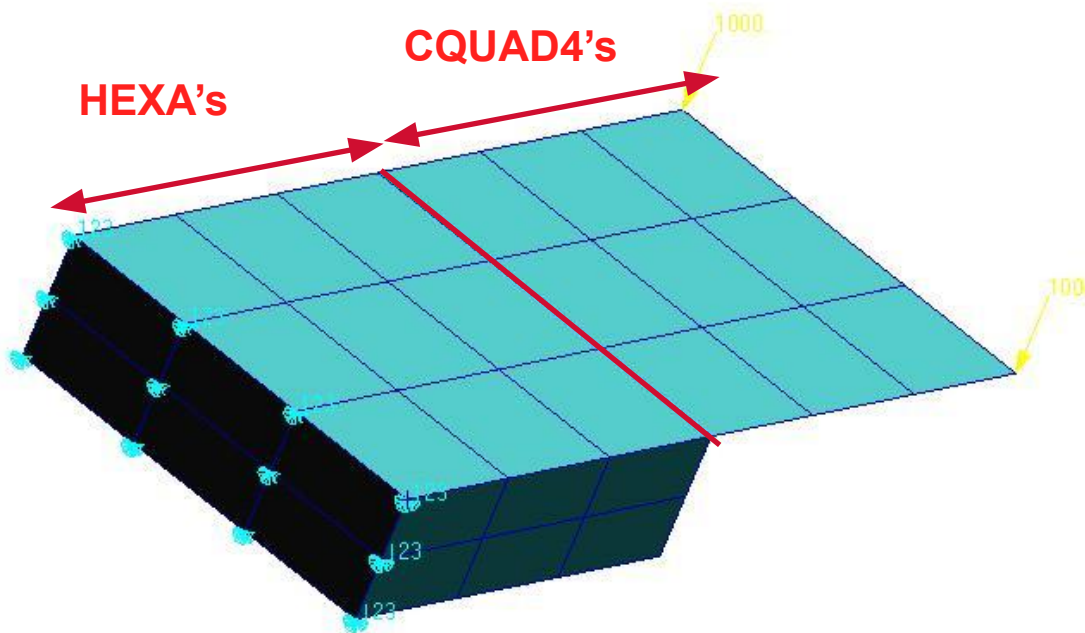
```
0          GRID POINT SINGULARITY TABLE
0          POINT TYPE FAILED STIFFNESS OLD USET NEW USET
          ID  DIRECTION  RATIO EXCLUSIVE UNION EXCLUSIVE UNION
2  G  6  0.00E+00  BF  F  SB  S  *
3  G  6  0.00E+00  BF  F  SB  S  *
4  G  6  0.00E+00  BF  F  SB  S  *
5  G  6  0.00E+00  BF  F  SB  S  *
6  G  6  0.00E+00  BF  F  SB  S  *
7  G  6  0.00E+00  BF  F  SB  S  *
8  G  6  0.00E+00  BF  F  SB  S  *
9  G  6  0.00E+00  BF  F  SB  S  *
10 G  6  0.00E+00  BF  F  SB  S  *
```

$R3 = 0.0$



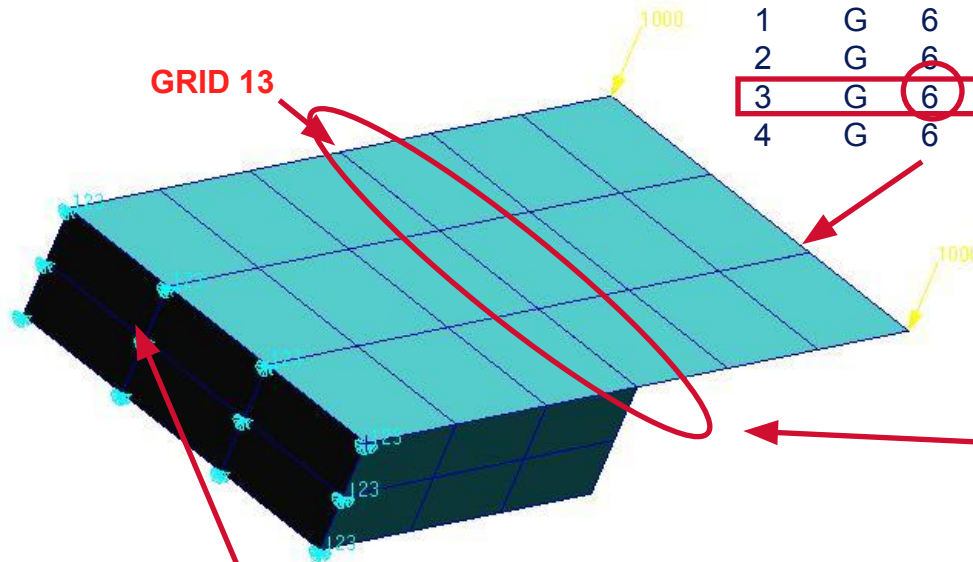
# AUTOSPC Пример (продолжение)

- section5\_3.bdf



# AUTOSPC Пример (продолжение)

section5\_3.bdf



1	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
2	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
3	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
4	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*

62	G	4	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
62	G	5	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
62	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
63	G	4	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
63	G	5	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
63	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
64	G	4	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
64	G	5	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
64	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*

Что происходит здесь?!

# AUTOSPC Пример (продолжение)

## □ section5\_3.bdf

THE FOLLOWING DEGREES OF FREEDOM HAVE FACTOR DIAGONAL RATIOS GREATER THAN  
1.00000E+07 OR HAVE NEGATIVE TERMS ON THE FACTOR DIAGONAL.

0  
0

SUBCASE 1

GRID POINT ID	DEGREE OF FREEDOM	MATRIX/FACTOR DIAGONAL RATIO	MATRIX DIAGONAL
13	R2	1.71146E+13	2.13419E+02

^^^ **USER FATAL MESSAGE 9050** (SEKRRS)

^^^ **RUN TERMINATED DUE TO EXCESSIVE PIVOT RATIOS IN MATRIX KLL.**

^^^ **USER ACTION: CONSTRAIN MECHANISMS WITH SPCI OR SUPORTI ENTRIES OR SPECIFY PARAM,BAILOUT,-1 TO CONTINUE THE RUN WITH MECHANISMS.**

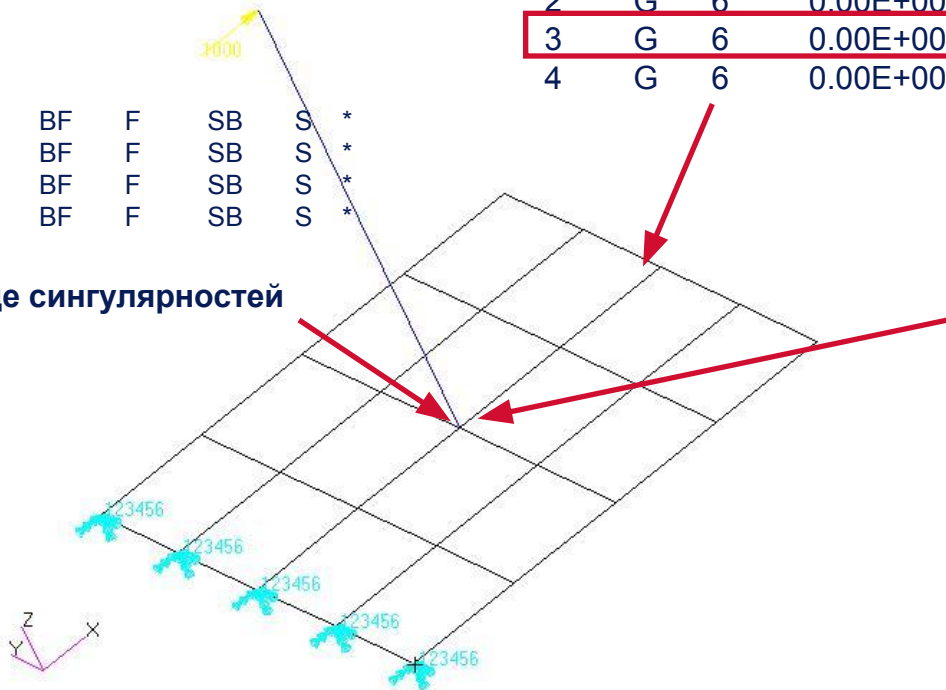
# AUTOSPC Пример (продолжение)

section5\_4.bdf

10	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
12	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
14	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
15	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*

1	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
2	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
3	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
4	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*

Узла 13 нет в таблице сингулярностей



Что происходит здесь?!

# AUTOSPC Пример (продолжение)

## □ section5\_4.bdf

THE FOLLOWING DEGREES OF FREEDOM HAVE FACTOR DIAGONAL RATIOS GREATER THAN  
1.00000E+07 OR HAVE NEGATIVE TERMS ON THE FACTOR DIAGONAL.

SUBCASE 1

GRID POINT ID	DEGREE OF FREEDOM	MATRIX/FACTOR DIAGONAL RATIO	MATRIX DIAGONAL
---------------	-------------------	------------------------------	-----------------

13

R3

-7.02842E+15

4.09108E+05

^^^ USER FATAL MESSAGE 9050 (SEKRRS)

^^^ RUN TERMINATED DUE TO EXCESSIVE PIVOT RATIOS IN MATRIX KLL.

^^^ USER ACTION: CONSTRAIN MECHANISMS WITH SPCI OR SUPORTI ENTRIES OR SPECIFY PARAM,BAILOUT,-1 TO  
CONTINUE THE RUN WITH MECHANISMS.

## □ Диагностирование ошибок

# Отладка модели

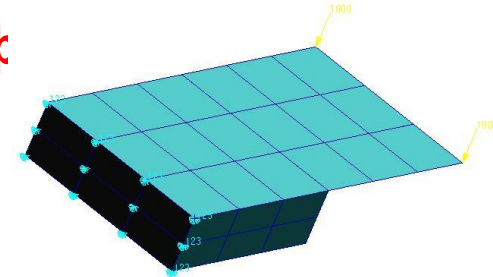
- Из предыдущих примеров:
  - Section5\_3.bdf
  - Section5\_4.bdf
- Результаты расчетов привели к фатальным ошибкам из-за наличия механизмов
- В данном разделе показано, как определить тип ошибки



# Отладка модели (продолжение)

из файла section5\_3.f06

- ❑ Это самая распространенная **FATAL ERROR** (фатальная ошибка)
- ❑ Проверьте номер фатальной ошибки
- ❑ Посмотрите ее описание



THE FOLLOWING DEGREES OF FREEDOM HAVE FACTOR DIAGONAL RATIOS GREATER THAN  
1.00000E+07 OR HAVE NEGATIVE TERMS ON THE FACTOR DIAGONAL.

SUBCASE 1

0  
0

GRID POINT ID	DEGREE OF FREEDOM	MATRIX/FACTOR DIAGONAL RATIO	MATRIX
13	R2	1.71146E+13	2.13419E+02

^^^ **USER FATAL MESSAGE 9050 (SEKRRS)**

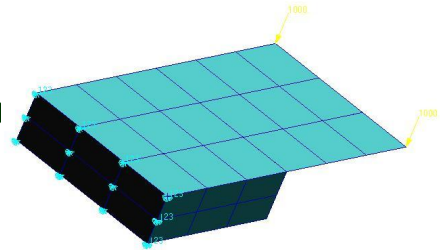
^^^ **RUN TERMINATED DUE TO EXCESSIVE PIVOT RATIOS IN MATRIX KLL.**

^^^ **USER ACTION: CONSTRAIN MECHANISMS WITH SPCI OR SUPORTI ENTRIES OR SPECIFY  
PARAM,BAILOUT,-1 TO CONTINUE THE RUN WITH MECHANISMS.**

# Отладка модели (продолжение)

## □ из файла section5\_3.f06

- Обращается внимание на механизм сингуляр
- Указывается точка GRID 13, и DOF R2
- Есть ли что-нибудь особенное у этой точки?



THE FOLLOWING DEGREES OF FREEDOM HAVE FACTOR DIAGONAL RATIOS GREATER THAN 1.00000E+07 OR HAVE NEGATIVE TERMS ON THE FACTOR DIAGONAL.

```
0 SUBCASE 1
0
GRID POINT ID DEGREE OF FREEDOM MATRIX/FACTOR DIAGONAL RATIO MATRIX DIAGONAL
13 R2 1.71146E+13 2.13419E+02
```

^^^ USER FATAL MESSAGE 9050 (SEKRRS)

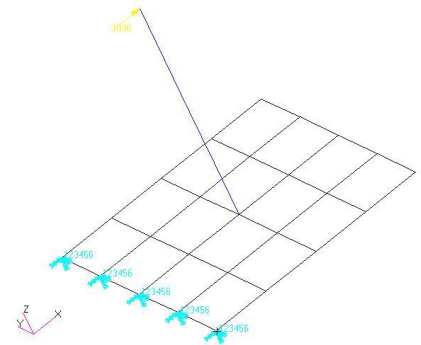
^^^ RUN TERMINATED DUE TO EXCESSIVE PIVOT RATIOS IN MATRIX KLL.

^^^ USER ACTION: CONSTRAIN MECHANISMS WITH SPCI OR SUPORTI ENTRIES OR SPECIFY PARAM,BAILOUT,-1 TO CONTINUE THE RUN WITH MECHANISMS.

# Отладка модели (продолжение)

□ из файла section5\_4.f06

- Обращается внимание на механизм **сингулярн**
- Указывается точка GRID 13, и DOF R3
- Есть ли что-нибудь особенное у этой точки?



THE FOLLOWING DEGREES OF FREEDOM HAVE FACTOR DIAGONAL RATIOS GREATER THAN  
1.00000E+07 OR HAVE NEGATIVE TERMS ON THE FACTOR DIAGONAL.

0  
0

SUBCASE 1

GRID POINT ID	DEGREE OF FREEDOM	MATRIX/FACTOR DIAGONAL RATIO	MATRIX DIAGONAL
---------------	-------------------	------------------------------	-----------------

13

R3

-7.02842E+15

4.09108E+05

^^^ **USER FATAL MESSAGE 9050** (SEKRRS)

^^^ **RUN TERMINATED DUE TO EXCESSIVE PIVOT RATIOS IN MATRIX KLL.**

^^^ USER ACTION: CONSTRAIN MECHANISMS WITH SPCI OR SUPORTI ENTRIES OR SPECIFY  
PARAM,BAILOUT,-1 TO

CONTINUE THE RUN WITH MECHANISMS.

# Отладка модели (продолжение)

- Используя SPC или SPC1 записи,
- Исправьте входные файлы MSC.NASTRAN
  - Section5\_3.bdf (подсказка: GRIDS 1 5 9 13 формируют соединение)
  - Section5\_4.bdf
- Оцените результаты и последствия изменений

# Отладка модели (продолжение)

- ❑ **Коррективы в Section5\_3.bdf**
- ❑ **Оцените результаты и последствия изменений**

**Закрепленные DOF 4,5,6**

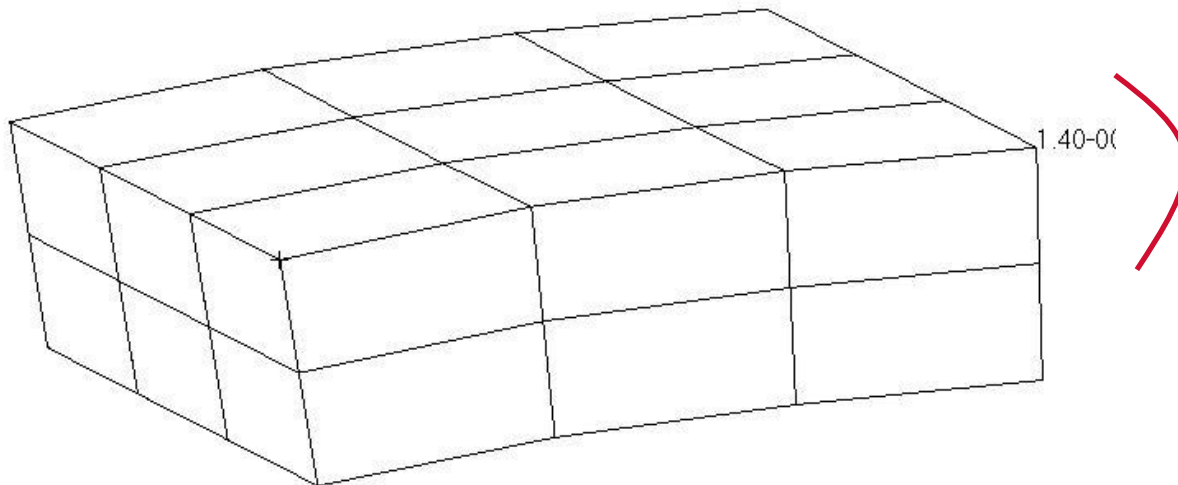


**Выглядит неплохо,  
но будьте осторожны!**

# Отладка модели (продолжение)

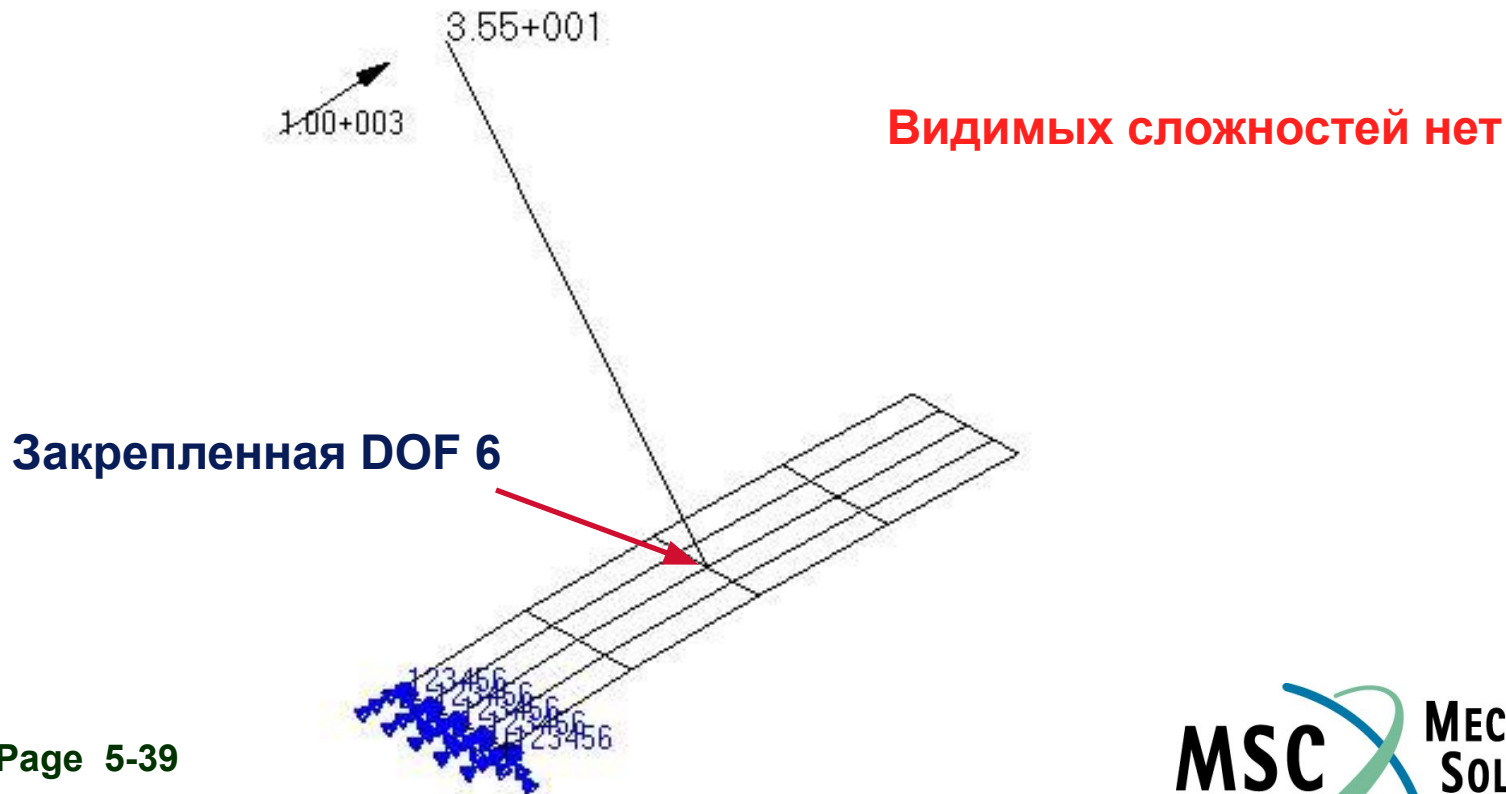
- ❑ **Коррективы в Section5\_3.bdf**
- ❑ **Оцените результаты и последствия изменений**

**Перемещение части из Solid элементов влечет за собой небольшие повороты граней присоединенных оболочек – но вращательные степени свободы были закреплены**



# Отладка модели (продолжение)

- ❑ **Коррективы в Section5\_4.bdf**
- ❑ **Оцените результаты и последствия изменений**



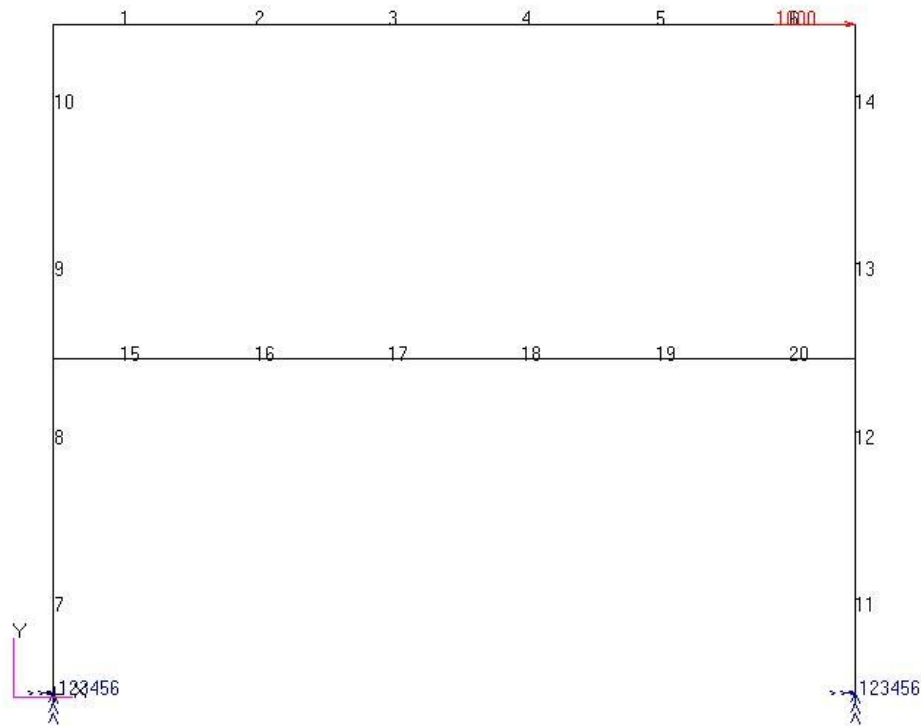
# Отладка модели (продолжение)

- До сих пор мы рассматривали два примера с фатальными ошибками, вызванными наличием механизмов
  - ▣ Сообщение о фатальной ошибке Fatal Message 9050
- На практике существует большое количество проверок (как синтаксических так и общих данных), которые MSC.Nastran будет выполнять для нахождения ошибок перед началом анализа, а также в ходе его проведения.
- Общий вид сообщений о фатальной ошибке будет одинаков. Ключевое содержание - это номер сообщения и краткое описание.
- Более подробно о значениях фатальных ошибок можно узнать из Reference Guide или из On Line Encyclopedia



# Отладка модели (продолжение)

- ❑ Запустите Section5\_5.bdf
- ❑ Проверьте сообщения и правильность результатов анализа



# Отладка модели (продолжение)

## □ Section5\_5.f06

□ На какую характеристику группы элементов указывают предупреждающие сообщения (**warning messages**)?

□ Что означает предупреждающее (**warning**) сообщение?

```
*** USER WARNING MESSAGE 5487 (EBCHKD)
    ORIENTATION VECTOR DEFINED FOR THE ELEMENT ID = 7 IS NEARLY PARALLEL, IT MAY GIVE POOR RESULTS.
*** USER WARNING MESSAGE 5487 (EBCHKD)
    ORIENTATION VECTOR DEFINED FOR THE ELEMENT ID = 8 IS NEARLY PARALLEL, IT MAY GIVE POOR RESULTS.
*** USER WARNING MESSAGE 5487 (EBCHKD)
    ORIENTATION VECTOR DEFINED FOR THE ELEMENT ID = 9 IS NEARLY PARALLEL, IT MAY GIVE POOR RESULTS.
*** USER WARNING MESSAGE 5487 (EBCHKD)
    ORIENTATION VECTOR DEFINED FOR THE ELEMENT ID = 10 IS NEARLY PARALLEL, IT MAY GIVE POOR RESULTS.
*** USER WARNING MESSAGE 5487 (EBCHKD)
    ORIENTATION VECTOR DEFINED FOR THE ELEMENT ID = 11 IS NEARLY PARALLEL, IT MAY GIVE POOR RESULTS.
*** USER WARNING MESSAGE 5487 (EBCHKD)
    ORIENTATION VECTOR DEFINED FOR THE ELEMENT ID = 12 IS NEARLY PARALLEL, IT MAY GIVE POOR RESULTS.
*** USER WARNING MESSAGE 5487 (EBCHKD)
    ORIENTATION VECTOR DEFINED FOR THE ELEMENT ID = 13 IS NEARLY PARALLEL, IT MAY GIVE POOR RESULTS.
*** USER WARNING MESSAGE 5487 (EBCHKD)
    ORIENTATION VECTOR DEFINED FOR THE ELEMENT ID = 14 IS NEARLY PARALLEL, IT MAY GIVE POOR RESULTS.
```

# Отладка модели (продолжение)

- ❑ Section5\_5.f06
- ❑ Снова посмотрите на группу элементов, вызвавших сообщения о фатальных ошибках
- ❑ Посмотрите описание ошибки в On Line Encyclopedia, используя ее ID

```
*** USER FATAL MESSAGE 2026 (EMG)
ELEMENT          7 GEOMETRY YIELDS UNREASONABLE MATRIX.
*** USER FATAL MESSAGE 2026 (EMG)
ELEMENT          8 GEOMETRY YIELDS UNREASONABLE MATRIX.
*** USER FATAL MESSAGE 2026 (EMG)
ELEMENT          9 GEOMETRY YIELDS UNREASONABLE MATRIX.
*** USER FATAL MESSAGE 2026 (EMG)
ELEMENT         10 GEOMETRY YIELDS UNREASONABLE MATRIX.
*** USER FATAL MESSAGE 2026 (EMG)
ELEMENT         11 GEOMETRY YIELDS UNREASONABLE MATRIX.
*** USER FATAL MESSAGE 2026 (EMG)
ELEMENT         12 GEOMETRY YIELDS UNREASONABLE MATRIX.
*** USER FATAL MESSAGE 2026 (EMG)
ELEMENT         13 GEOMETRY YIELDS UNREASONABLE MATRIX.
*** USER FATAL MESSAGE 2026 (EMG)
ELEMENT         14 GEOMETRY YIELDS UNREASONABLE MATRIX.
```

# Отладка модели (продолжение)

## ❑ On Line Encyclopedia – результат поиска для ‘2026’

**2026 \*\*\* USER FATAL MESSAGE 2026, ELEMENT \*\*\*\* GEOMETRY OR MATERIAL PROPERTY YIELDS UNREASONABLE MATRIX.**

**(геометрия или свойства материала приводит к неправильной матрице)**

**Геометрия и/или свойства данного элемента являются причиной того, что в результате расчета матрица жесткости или матрица масс оказывается неопределенной. Возможные причины, но не все, могут быть таковы: (1) длина стержня или балки равна нулю из-за того, что точки на концах имеют одинаковые координаты; (2) стороны треугольника или квадрата коллинеарны, что приводит к невозможности построения локальной системы координат элемента; (3) вектор ориентации балочного элемента параллелен его оси; или (4) пластина имеет нулевую толщину или модуль. Проверьте записи GRID в секции BULK DATA, описывающие концевые точки элемента для выявления ошибочных данных.**

# Отладка модели (продолжение)

- **Section5\_5.bdf** Исправьте данные для BAR элементов и снова запустите анализ

\$ bar elements follow

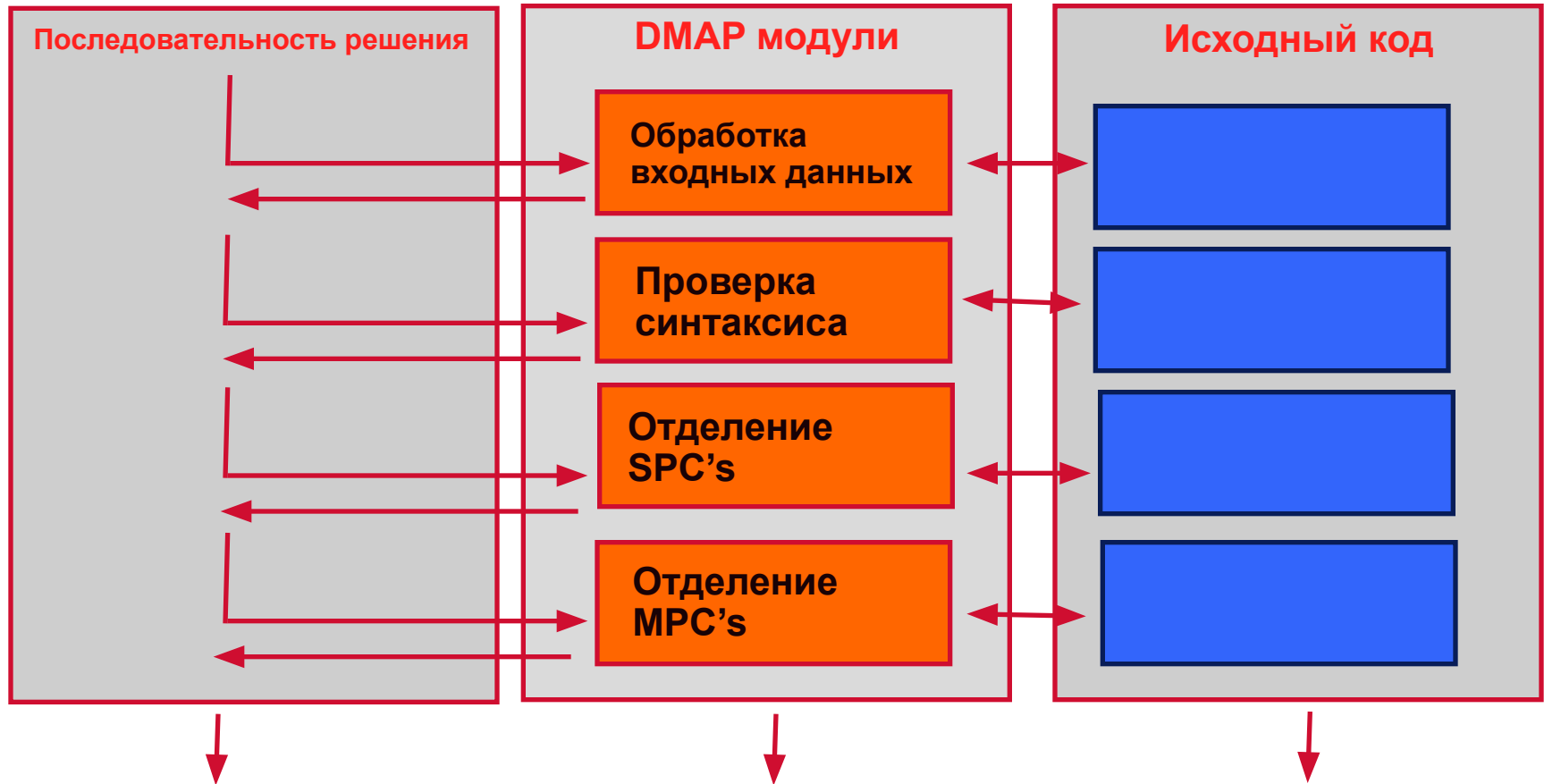
CBAR	1	1	1	2	0.	1.	0.
CBAR	2	1	2	3	0.	1.	0.
CBAR	3	1	3	4	0.	1.	0.
CBAR	4	1	4	5	0.	1.	0.
CBAR	5	1	5	6	0.	1.	0.
CBAR	6	1	6	7	0.	1.	0.
CBAR	7	1	8	9	0.	1.	0.
CBAR	8	1	9	10	0.	1.	0.
CBAR	9	1	10	12	0.	1.	0.
CBAR	10	1	12	1	0.	1.	0.
CBAR	11	1	14	15	0.	1.	0.
CBAR	12	1	15	16	0.	1.	0.
CBAR	13	1	16	18	0.	1.	0.
CBAR	14	1	18	7	0.	1.	0.
CBAR	15	1	10	21	0.	1.	0.
CBAR	16	1	21	22	0.	1.	0.
CBAR	17	1	22	23	0.	1.	0.
CBAR	18	1	23	24	0.	1.	0.
CBAR	19	1	24	25	0.	1.	0.
CBAR	20	1	25	16	0.	1.	0.

# Дальнейшая отладка модели

- Для более глубокого понимания значения файлов, которые могут использоваться при отладке, рассмотрим основные положения внутреннего языка MSC.Nastran – DMAP.
- DMAP – Direct Matrix Abstraction Procedure
  - Язык высокого уровня, на котором написан MSC.Nastran
  - Полностью открыт для просмотра и редактирования пользователем
- DMAP модули выполняют математические операции, требуемые для выполнения запрошенной при анализе последовательности решения.

# Дальнейшая отладка модели (продолжение)

## □ Схема использования DMAP



# Дальнейшая отладка модели (продолжение)

## □ Описание файла .f04

- Файл ".f04" содержит список выполнения модулей MSC.Nastran используемых при решении задачи
- Каждый раз, когда выполняется какой-либо DMAP модуль, в файле .f04 печатается строка содержащая имя модуля и его текущее состояние



# Дальнейшая отладка модели (продолжение)

- ❑ Если сообщения об ошибке не обеспечивают достаточного объяснения ее причины, пользователь может также проверить файл .f04 чтобы определить – в какой точке анализ был прерван.
- ❑ В общем случае, понимание выполнения последовательности DMAP модулей бывает достаточно сложным, но для специалистов MSC обеспечивающих поддержку своих пользователей эта информация может быть очень важной.

10:33:06	0:00	33.0	0.0	0.6	0.0	PHASE1DR	104	(S)DBSETOFF	BEGN
10:33:06	0:00	33.0	0.0	0.6	0.0	PHASE1DR	106	(S)PHASE1A	BEGN
10:33:06	0:00	33.0	0.0	0.7	0.0	PHASE1A	42	TA1	BEGN
10:33:06	0:00	34.0	1.0	0.7	0.0	PHASE1A	51	MSGHAN	BEGN *
10:33:06	0:00	34.0	0.0	0.7	0.0	PHASE1A	52	(S)SEMG	BEGN
10:33:06	0:00	34.0	0.0	0.7	0.0	SEMG	22	ELTPRT	BEGN
10:33:06	0:00	34.0	0.0	0.7	0.0	SEMG	28	EMG	BEGN
10:33:06	0:00	34.0	0.0	0.7	0.0	SEMG	36	(S)ERRPH1	BEGN
10:33:06	0:00	34.0	0.0	0.7	0.0	ERRPH1	19	(S)PRTSUM	BEGN
10:33:06	0:00	34.0	0.0	0.7	0.0	PRTSUM	24	PROJVER	BEGN
10:33:06	0:00	34.0	0.0	0.7	0.0	PRTSUM	25	DBDICT	BEGN
10:33:06	0:00	34.0	0.0	0.7	0.0	PRTSUM	26	PRTPARM	BEGN
10:33:06	0:00	34.0	0.0	0.7	0.0	ERRPH1	20	EXIT	BEGN
10:33:06	0:00	34.0	0.0	0.7	0.0	XSEMDR	END		

SubDMAPs (подпрограммы)

DMAP модули

Анализ остановился здесь

## □ Основные виды проверок

# Основные виды проверок

- В предыдущем разделе мы рассматривали способ исправления ошибок:
  - Отладка
- В этом разделе мы поговорим об их предотвращении:
  - Основные виды проверок
  - Практика правильного моделирования

# Основные виды проверок (продолжение)

## ❑ Перед анализом

### ❑ Искаженная форма элементов

- Используйте препроцессор для визуальной проверки правильности формы элементов
- Используйте предупреждающие сообщения (WARNING messages) в файле .f06

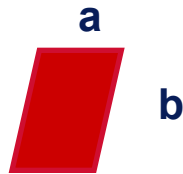
### ❑ Согласованность единиц измерения модели

- Проверка по силе: СИЛА = МАССА \* УСКОРЕНИЕ

# Основные виды проверок (продолжение)

## □ Искаженная форма элементов

### □ Соотношение сторон

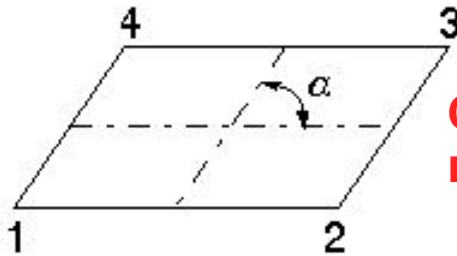


- Соотношение сторон должно быть меньше, чем 4:1 (более низкое для мест с высоким градиентом напряжений). В случае одноосных полей напряжений допустимы большие отношения сторон.

# Основные виды проверок (продолжение)

## □ Искаженная форма элементов

### □ Наклон



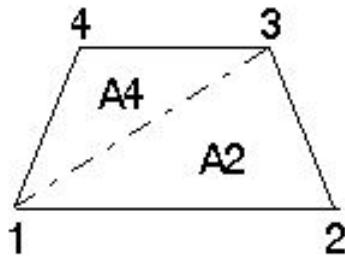
Сообщение об искажении  
выдается, если  $\alpha < 30^\circ$

- Четырехугольные элементы должны быть близки к квадрату настолько, насколько это возможно.

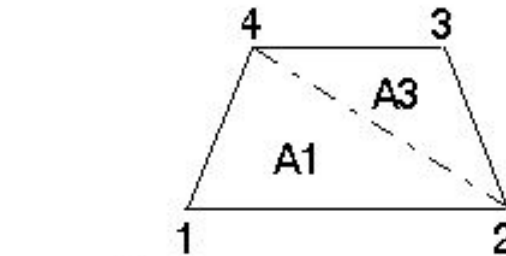
# Основные виды проверок (продолжение)

## Искаженная форма элементов

### Трапеция (2 направления)



$$J_i = \frac{1}{2} A_i$$



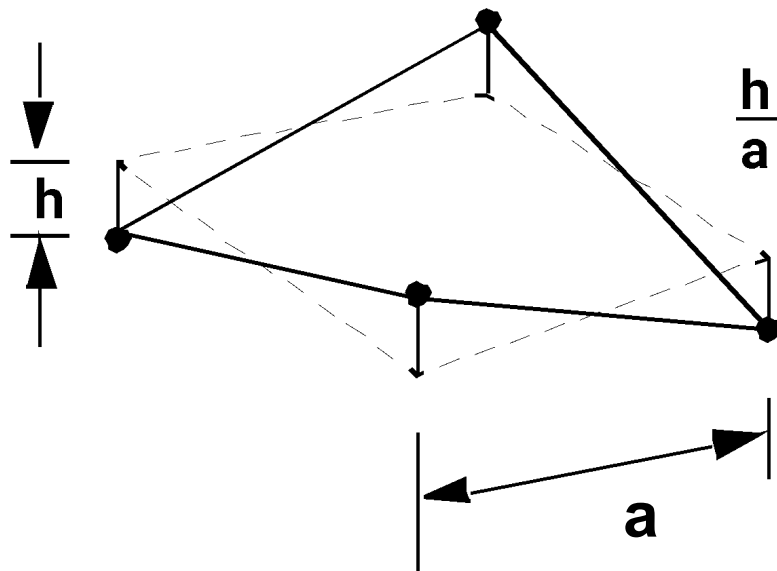
$$J_a = \frac{1}{4} (J_1 + J_2 + J_3 + J_4)$$

Сообщение об искажении выдается, если  $\left| \frac{J_i - J_a}{J_a} \right| > 0.5$

# Основные виды проверок (продолжение)

## □ Коробление (выход из плоскости)

- Нормальное значение до 5%. В действительности это не предел, но элементы не включают в себя учет коробления.





# Основные виды проверок (продолжение)

## □ После анализа

- Значение ипсилон (погрешности)
- Суммирование приложенных нагрузок
- Суммирование сил реакции
- Значения энергии деформации
- Максимальные перемещения

# Основные виды проверок (продолжение)

## □ После анализа - Значение Ипсилон

Уравнение стандартного решения

$$\mathbf{P} = \mathbf{K} \times \mathbf{u}$$

Допустим, нет ошибок округления

$$\therefore \mathbf{P} - \mathbf{K} \times \mathbf{u} = 0$$

В действительности есть остаток

$$\mathbf{P} - \mathbf{K} \times \mathbf{u} = \mathbf{P}^*$$

Посчитаем энергетическую компоненту

$$\varepsilon = \frac{\mathbf{u}^T \times \mathbf{P}^*}{\frac{1}{2} \mathbf{P}^T \times \mathbf{u}}$$

Сравним ее с энергией системы

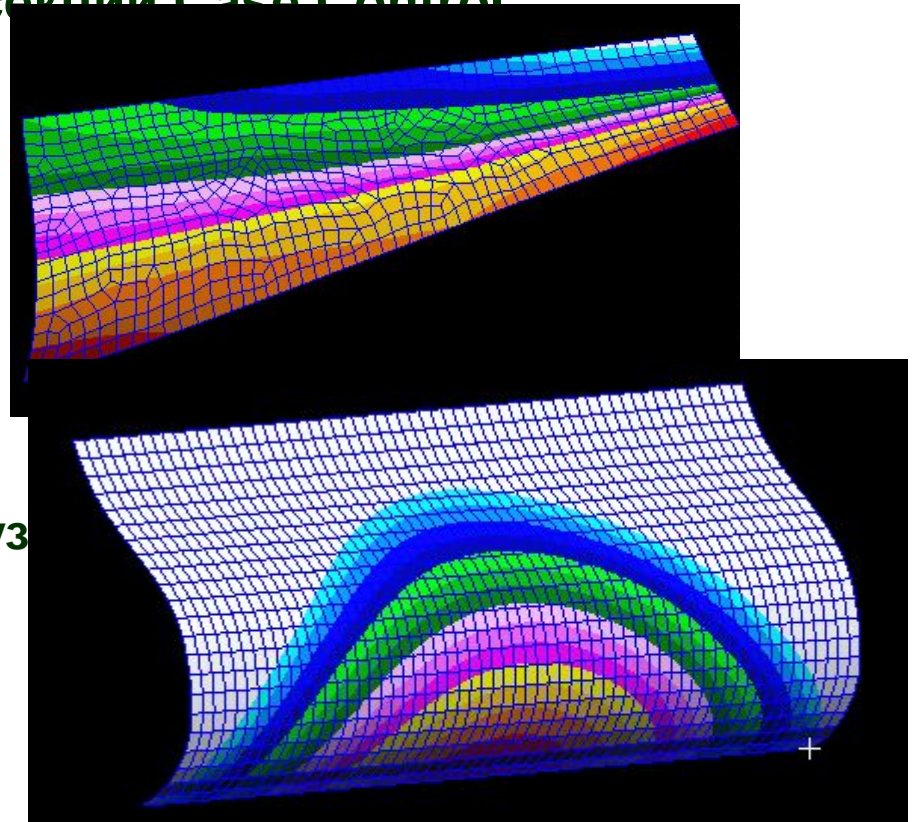
# Основные виды проверок (продолжение)

- ❑ Если эта величина  $10^{-6}$ , и больше, это значит, что модель плохо обусловлена.
- ❑ Для каждого типа конструкции, модели и расчета
  - ❑ Посмотрите значение ипсилон после
  - ❑ Сравните с допустимыми значениями

```
*** USER INFORMATION MESSAGE 5293 (SSG3A)
FOR DATA BLOCK KLL
LOAD SEQ. NO.      EPSILON      EXTERNAL WORK      EPSILONS LARGER THAN 0.001 ARE FLAGGED WITH
ASTERISKS
      1            -1.3760919E-13    3.6560133E+04
```

# Основные виды проверок (продолжение)

- ❑ После анализа – **Суммирование приложенных нагрузок**
- ❑ Используйте запрос OLOAD в секции Case Control
- ❑ Особенно важно для:
  - ❑ Инерционных нагрузок
  - ❑ Сложной нагрузки давлением
  - ❑ Сложной распределенной нагрузки



# Основные виды проверок (продолжение)

## □ Проверка приложенных нагрузок

0 RESULTANTS ABOUT ORIGIN OF SUPERELEMENT BASIC COORDINATE SYSTEM IN SUPERELEMENT BASIC SYSTEM COORDINATES.

0		OLOAD			RESULTANT		
SUBCASE/ DAREA ID	LOAD TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
0	1	FX	-3.900000E+03	----	----	0.000000E+00	3.744000E+05
		FY	----	-4.500000E+03	----	0.000000E+00	-1.296000E+06
		FZ	----	----	0.000000E+00	0.000000E+00	----
		MX	----	----	----	0.000000E+00	----
		MY	----	----	----	0.000000E+00	----
		MZ	----	----	----	----	0.000000E+00
		TOTALS	-3.900000E+03	-4.500000E+03	0.000000E+00	0.000000E+00	-9.216000E+05
0	20	FX	0.000000E+00	----	----	0.000000E+00	0.000000E+00
		FY	----	-1.818989E-12	----	0.000000E+00	9.313226E-10
		FZ	----	----	0.000000E+00	0.000000E+00	----
		MX	----	----	----	0.000000E+00	----
		MY	----	----	----	0.000000E+00	----
		MZ	----	----	----	----	0.000000E+00
		TOTALS	0.000000E+00	-1.818989E-12	0.000000E+00	0.000000E+00	9.313226E-10
0	30	FX	0.000000E+00	----	----	0.000000E+00	0.000000E+00
		FY	----	-2.123938E+03	----	0.000000E+00	-6.116941E+05
		FZ	----	----	0.000000E+00	0.000000E+00	----
		MX	----	----	----	0.000000E+00	----
		MY	----	----	----	0.000000E+00	----
		MZ	----	----	----	----	0.000000E+00
		TOTALS	0.000000E+00	-2.123938E+03	0.000000E+00	0.000000E+00	-6.116941E+05

# Основные виды проверок (продолжение)

- После анализа – **Суммирование сил реакции**
  - Проверьте, что значения соответствуют и уравнивают суммарные приложенные нагрузки

# Основные виды проверок (продолжение)

- Проверка сил реакций

RESULTANTS ABOUT ORIGIN OF SUPERELEMENT BASIC COORDINATE SYSTEM IN SUPERELEMENT BASIC SYSTEM COORDINATES.

0		SPCFORCE RESULTANT							
SUBCASE/	LOAD								
DAREA ID	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3		
0	1	FX	3.900000E+03	----	----	----	0.000000E+00	0.000000E+00	
		FY	----	4.500000E+03	----	0.000000E+00	----	9.216000E+05	
		FZ	----	----	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	----	
		MX	----	----	----	0.000000E+00	----	----	
		MY	----	----	----	----	0.000000E+00	----	
		MZ	----	----	----	----	----	0.000000E+00	
		TOTALS		3.900000E+03	4.500000E+03	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	9.216000E+05
0	20	FX	0.000000E+00	----	----	----	0.000000E+00	0.000000E+00	
		FY	----	7.275958E-12	----	0.000000E+00	----	2.095476E-09	
		FZ	----	----	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	----	
		MX	----	----	----	0.000000E+00	----	----	
		MY	----	----	----	----	0.000000E+00	----	
		MZ	----	----	----	----	----	0.000000E+00	
		TOTALS		0.000000E+00	7.275958E-12	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	2.095476E-09
0	30	FX	-3.410605E-12	----	----	----	0.000000E+00	0.000000E+00	
		FY	----	2.123938E+03	----	0.000000E+00	----	6.116941E+05	
		FZ	----	----	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	----	
		MX	----	----	----	0.000000E+00	----	----	
		MY	----	----	----	----	0.000000E+00	----	
		MZ	----	----	----	----	----	0.000000E+00	
		TOTALS		-3.410605E-12	2.123938E+03	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	6.116941E+05

# Основные виды проверок (продолжение)

- После анализа – **Значения энергии деформации**

```
*** USER INFORMATION MESSAGE 5293 (SSG3A)
FOR DATA BLOCK KLL
LOAD SEQ. NO.      EPSILON      EXTERNAL WORK      EPSILONS LARGER THAN 0.001 ARE FLAGGED WITH
ASTERISKS
      1              -1.3760919E-13    3.6560133E+04
```

**Работа =  $\frac{1}{2}$  Суммарная сила \* Суммарное перемещение  
= ( приблизительно)  $\frac{1}{2}$  OLOAD \* Максимум перемещений  
( если пик перемещений около средней линии действия нагрузки)**



# Основные виды проверок (продолжение)

- ❑ После анализа – **Максимальные перемещения**
- ❑ Укажите PARAM,PRTMAXIM,YES для этой распечатки
- ❑ Номер узла (GRID ID) не печатается, и может быть разным для каждой степени свободы

MAXIMUM DISPLACEMENTS							
	T1	T2	T3	R1	R2	R3	
0							
0							
0	1	3.0938861E-07	4.1483727E-08	3.6560131E+01	7.2180829E+00	5.6827263E+01	0.0000000E+00

Значение !!! Работа = (приблиз.)  $\frac{1}{2}$  OLOAD \* Макс. перемещение  
(  $2e3 * 36.5 * .5 = 36.5e3$  )

# Основные виды проверок.

## Пример

- Запустите section5\_6.bdf
  - Выполните следующие проверки:
    - Значение ипсилон
    - Суммирование приложенных нагрузок
    - Суммирование сил реакции
    - Значения энергии деформации
    - Максимальные перемещения

## □ Практика моделирования

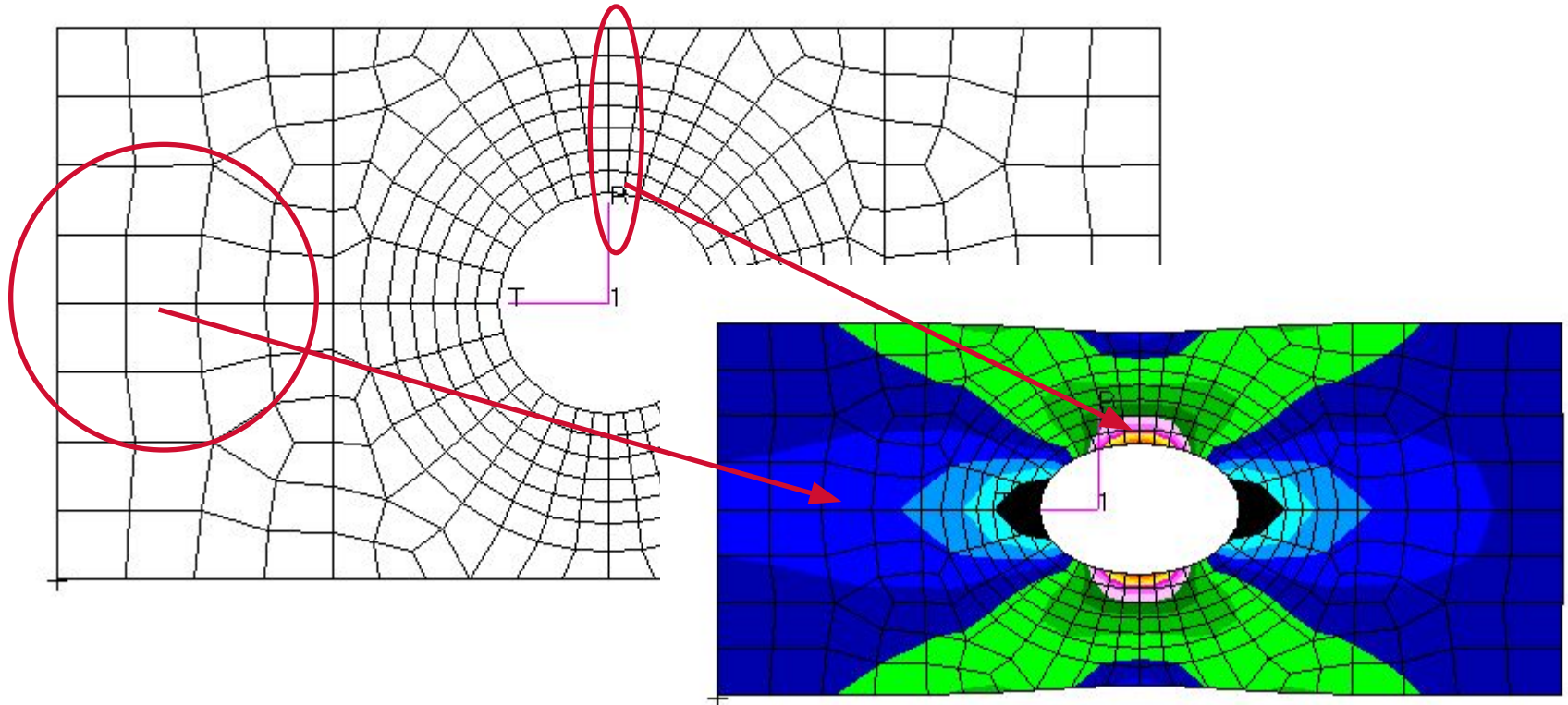
# Практика моделирования

## □ Основные моменты:

- Плотность сетки – должна соответствовать поставленным целям
- Качество сетки – должно соответствовать поставленным целям
- Нагружение
- Граничные условия

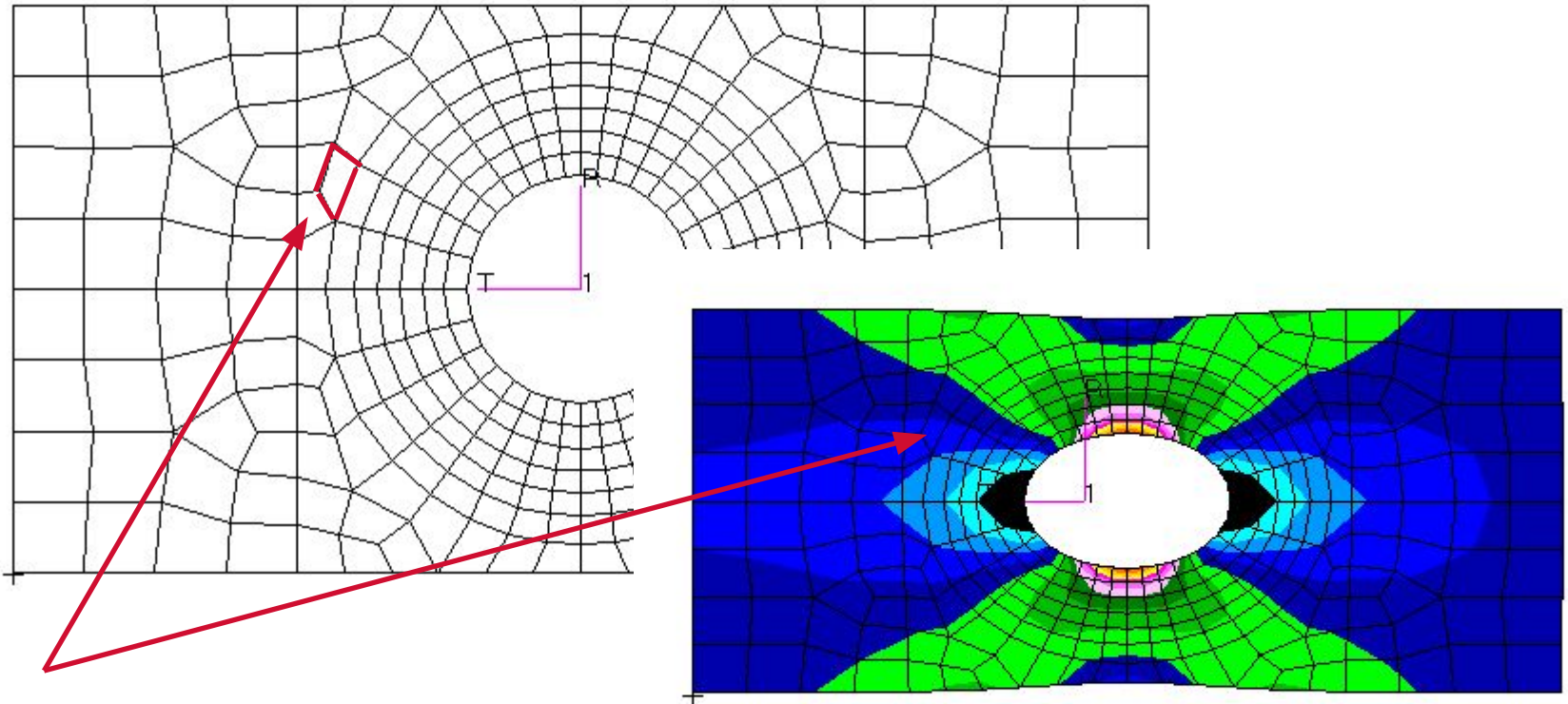
# Практика моделирования (продолжение)

- Плотность сетки – должна соответствовать поставленным целям



# Практика моделирования (продолжение)

- **Качество сетки – должно соответствовать поставленным целям**

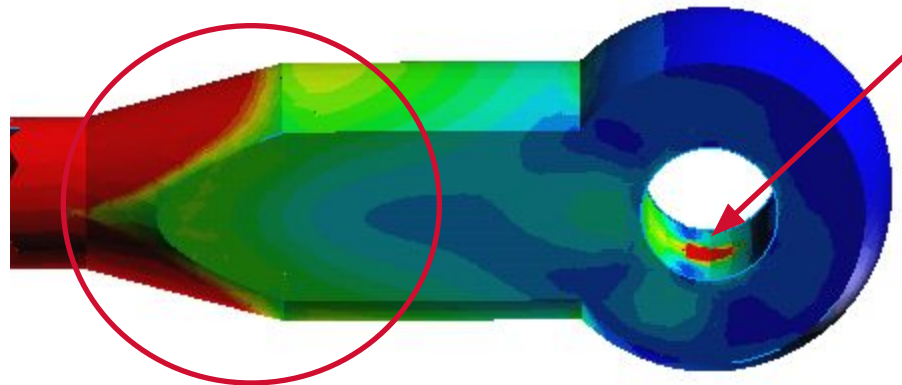


# Практика моделирования (продолжение)

## □ Нагружение

Простая сосредоточенная нагрузка?

Хорошее локальное  
распределение  
напряжений

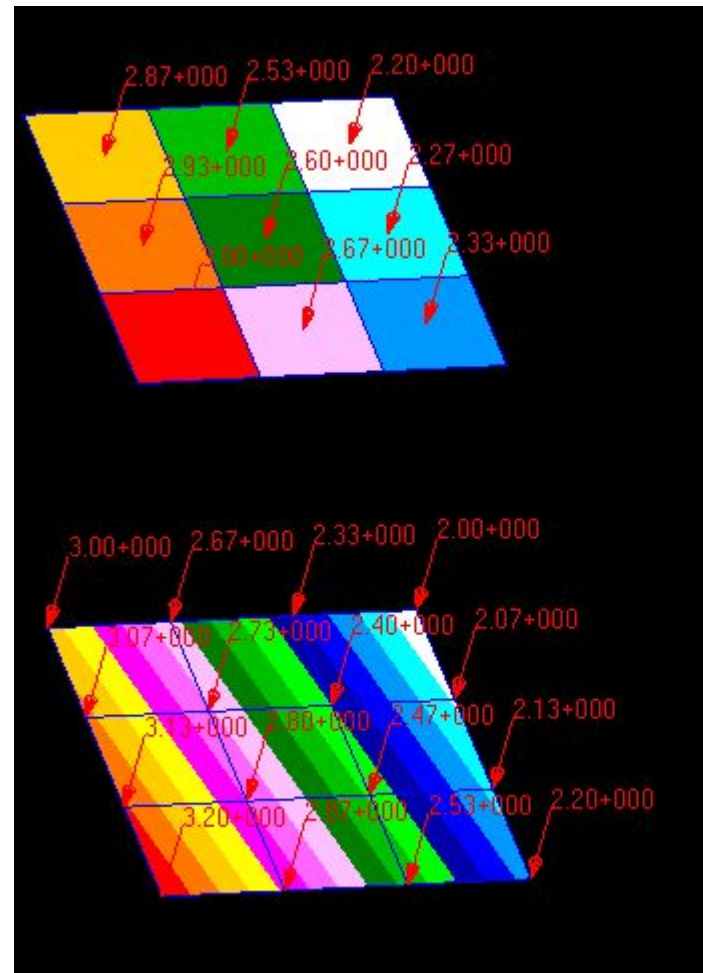
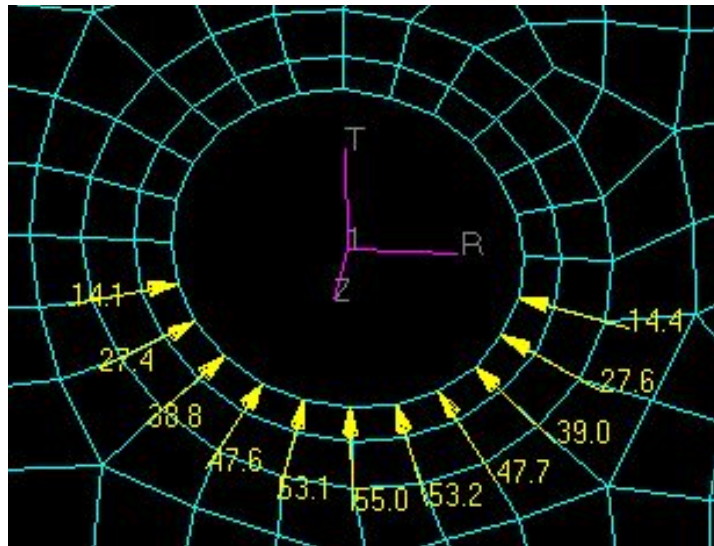


Плохое  
распределение  
напряжений

# Практика моделирования (продолжение)

## □ Нагружение

- Более сложная нагрузка?





# Практика моделирования (продолжение)

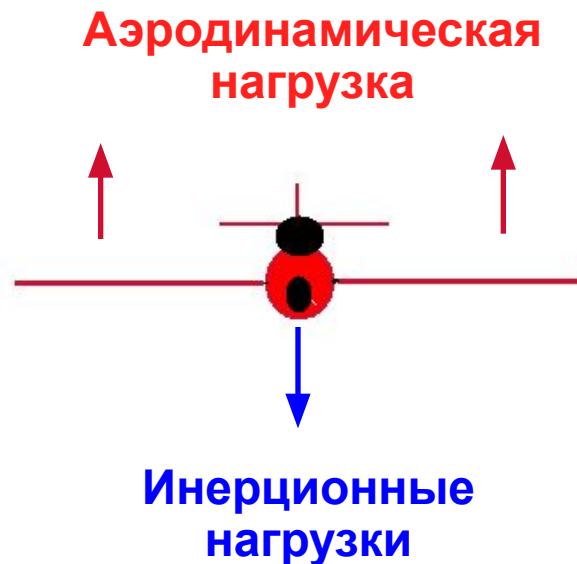
## □ Граничные условия

- **Неправильное определение выходной системы координат для SPC, MPC и RIGID элементов может «испортить» модель**
- **Чрезмерное закрепление модели может привести к большому влиянию сдвиговых напряжений через коэффициент Пуассона. Эти напряжения могут сильно исказить действительное поле напряжений**
- **Закрепление (или сила) в одном узле приводит к сингулярности в поле напряжения. Результаты расчета напряжений в этой точке вероятно будут ошибочными.**

# Практика моделирования (продолжение)

## □ Граничные условия

- Существует специальная техника под названием «инерционная разгрузка» (Inertia Relief) для выполнения квази-статического анализа незакрепленной (свободной) конструкции под действием однородного (нулевого или постоянного) ускорения.



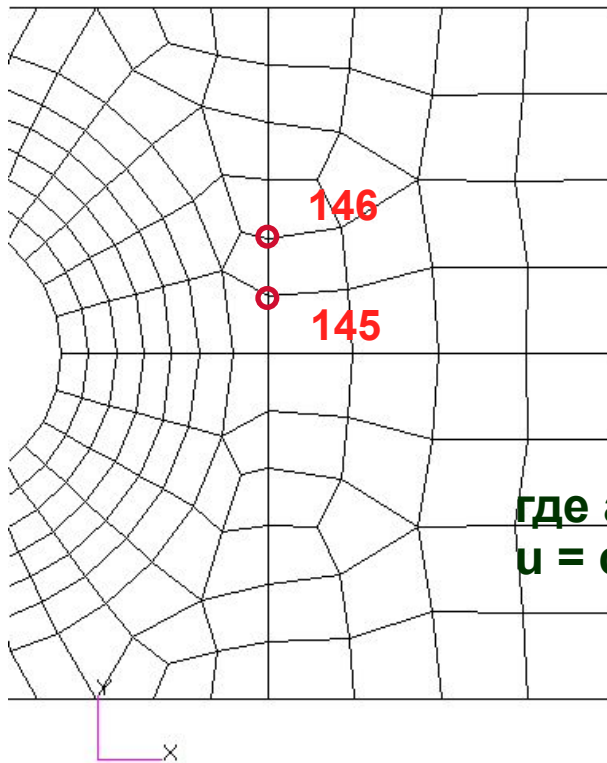
- **MPC - граничные условия для группы узлов**
  - **Rigid (жесткие) элементы**

# Граничные условия для группы узлов

- Граничные условия для группы узлов (MPC) задаются пользователем в виде линейного уравнения, которое задает соотношения между перемещениями по степеням свободы.
- MPC полезно использовать для:
  - Определения относительного смещения двух и более узловых точек по заданным степеням свободы
  - Соединения различных типов элементов; например, соединения элементов, которые имеют вращательные степени свободы с элементами, которые имеют только поступательные степени свободы (оболочки с объемными элементами)
  - Распределения нагрузки в нескольких точках конструкции
  - Моделирования жестких связей между узлами

# Граничные условия для группы узлов (продолжение)

- Предположим, узлы 145 и 146 должны двигаться вместе в направлениях  $x$  и  $y$  (могут быть чем-либо соединены)



$$-1.0 \cdot U_{x_{145}} + 1.0 \cdot U_{x_{146}} = 0.0$$

$$-1.0 \cdot U_{y_{145}} + 1.0 \cdot U_{y_{146}} = 0.0$$

Общая форма записи  $\sum a_i \cdot U_i = 0.0$

где  $a$  = коэффициент,  
 $u$  = степень свободы

# Граничные условия для группы узлов (продолжение)

## Case Control

```
SUBCASE 1
SUBTITLE=edge
MPC = 1
SPC = 2
LOAD = 2
.....
```

## Bulk Data

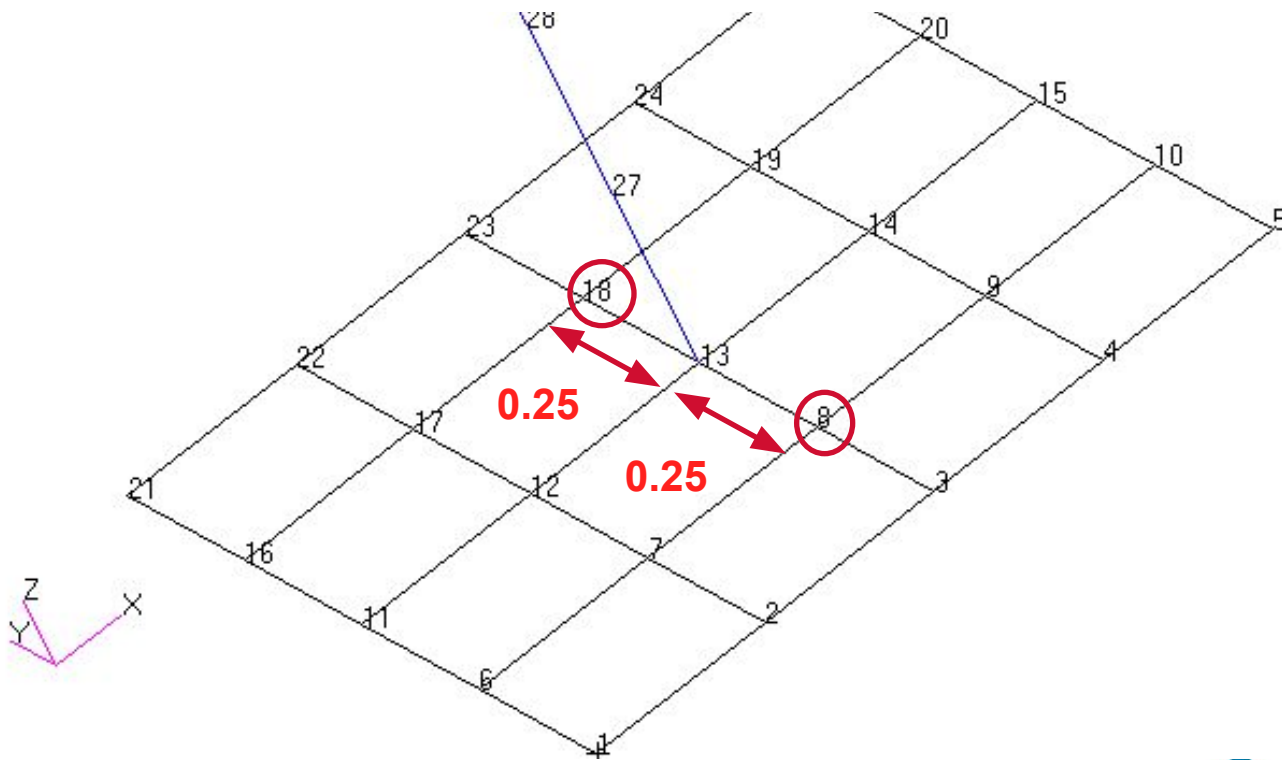
```
$      SID  GRID  DOF  A1   GRID  DOF  A2
MPC    1    145   1   -1.   146   1   1.
MPC    1    145   2   -1.   146   2   1.
```

- Полагается, что первый компонент, определяемый в этом уравнении, является зависимой координатой и помещается в вектор  $U_m$ . Этот компонент не может принадлежать никакому другому подвектору  $U_g$ .

# Граничные условия для группы узлов – пример

## □ Переделаем файл section5\_4.bdf

- Используем MPC для того, чтобы избавиться от сингулярности (ранее мы использовали SPC)



# Граничные условия в виде жестких элементов (R-тип)

- MSC/NASTRAN содержит несколько наиболее часто используемых MPC-соотношений в форме различных элементов R-типа. Во избежание ошибок, настоятельно рекомендуется пользователям, плохо владеющим техникой записи MPC- соотношений, применять жесткие элементы (элементы R-типа) там, где это возможно.
- В отличие от MPC, элементы R-типа не выбираются в секции CASE CONTROL. Они описываются только в секции BULK DATA следующими записями:



# Жесткие (Rigid) элементы

- **RBAR** - Жесткий балочный элемент с шестью степенями свободы на каждом конце
- **RBE2** - Жесткое тело связанное с произвольным числом узлов
- **RBE3** - Определяет граничное уравнение, в котором движение "ссылочного" узла является средневзвешенным значением движения других узлов

# Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

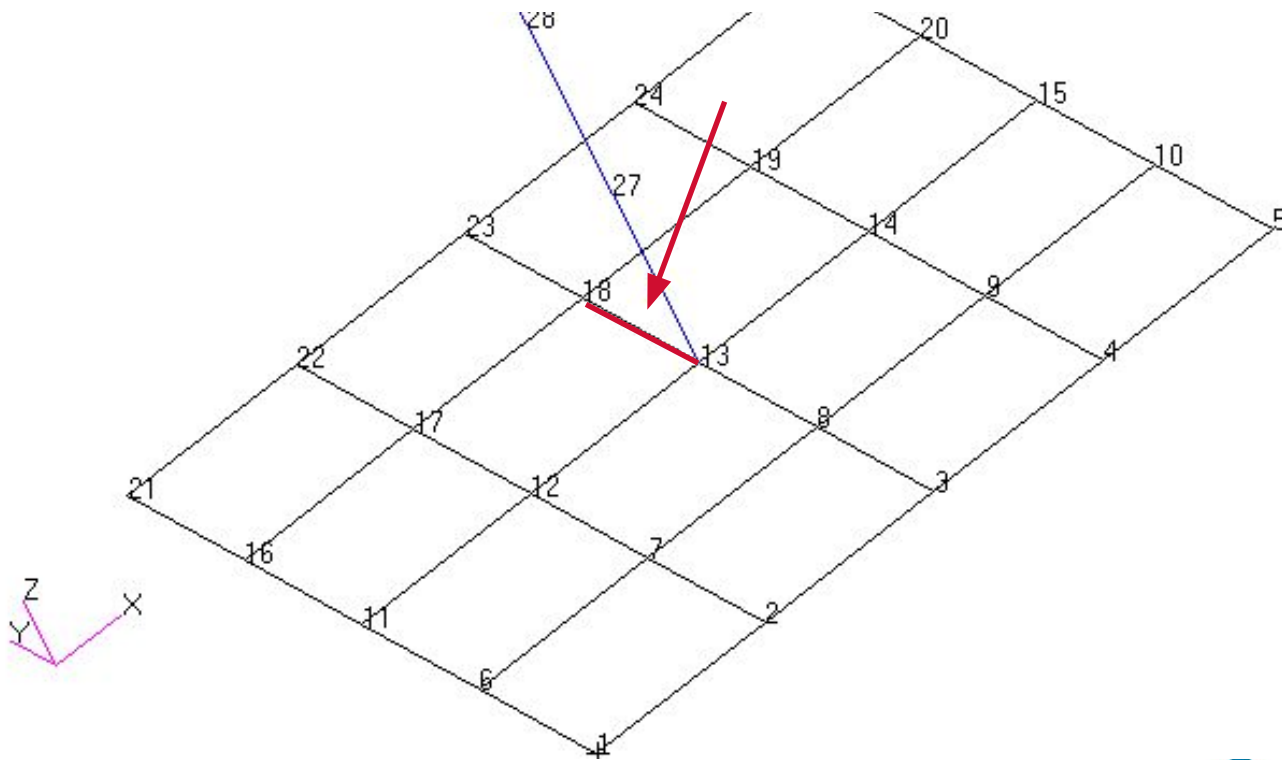
- **RSPLINE** Определяет граничное уравнение коэффициенты которого определяются перемещениями и углами наклона гибкой трубчатой балки
- **RSSCON** Используется для соединения Plate элементов с Solid элементами

В разделе 2.10 *MSC/NASTRAN Application Manual* приведены 10 примеров использования элементов R-типа и два примера использования MPC.

# Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

## □ Пример использования элемента RBAR

- MPC в section5\_4.bdf могут быть заменены RBAR элементом
- Внутренне создается MPC-уравнение



# Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

## □ Пример использования элемента RBAR

- RBAR является более предпочтительным чем использование элемента BEAM с искусственно завышенной жесткостью, так как у него отсутствуют побочные жесткостные эффекты

```
$ RBAR Creation
```

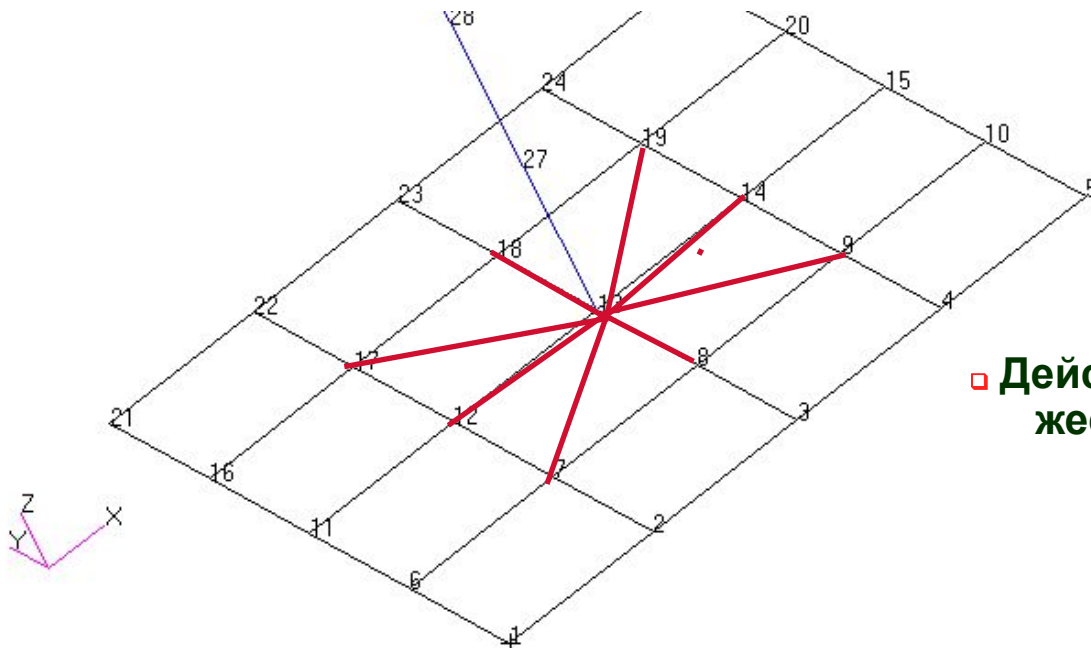
```
$23456781234567812345678123456781234567812345678
```

\$	ID	GRID1	GRID2	DOF1	DOF2
RBAR	21	13	18	123456	123456

# Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

## □ Пример использования элемента RBE2

- MPC в section5\_4.bdf могут быть заменены элементом RBE2
- Внутренне создается MPC-уравнение

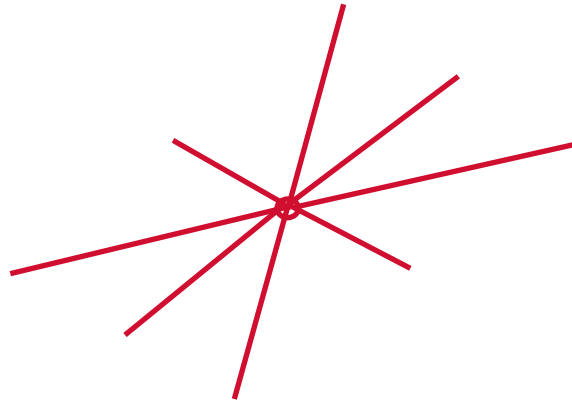


- Действует подобно жесткому «пауку»

# Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

## □ Пример использования элемента RBE2

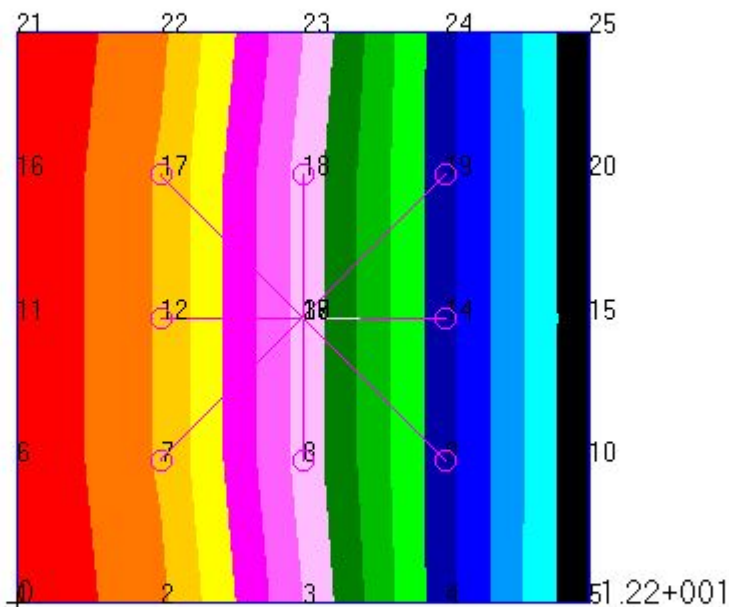
- Степени свободы центра «паука» являются независимыми степенями свободы
- Другие степени свободы являются зависимыми и не должны иметь перекрестных связей



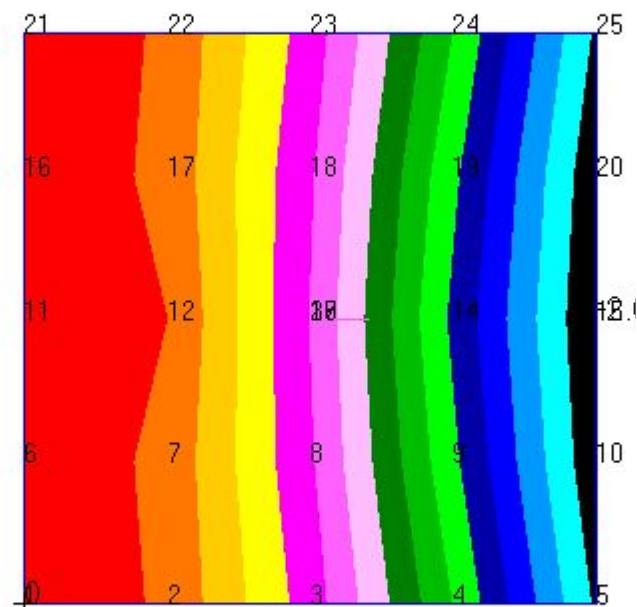
# Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

- Пример использования элемента RBE2

RBE2 метод



SPC метод



# Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

## □ Примеры использования элемента RBE2

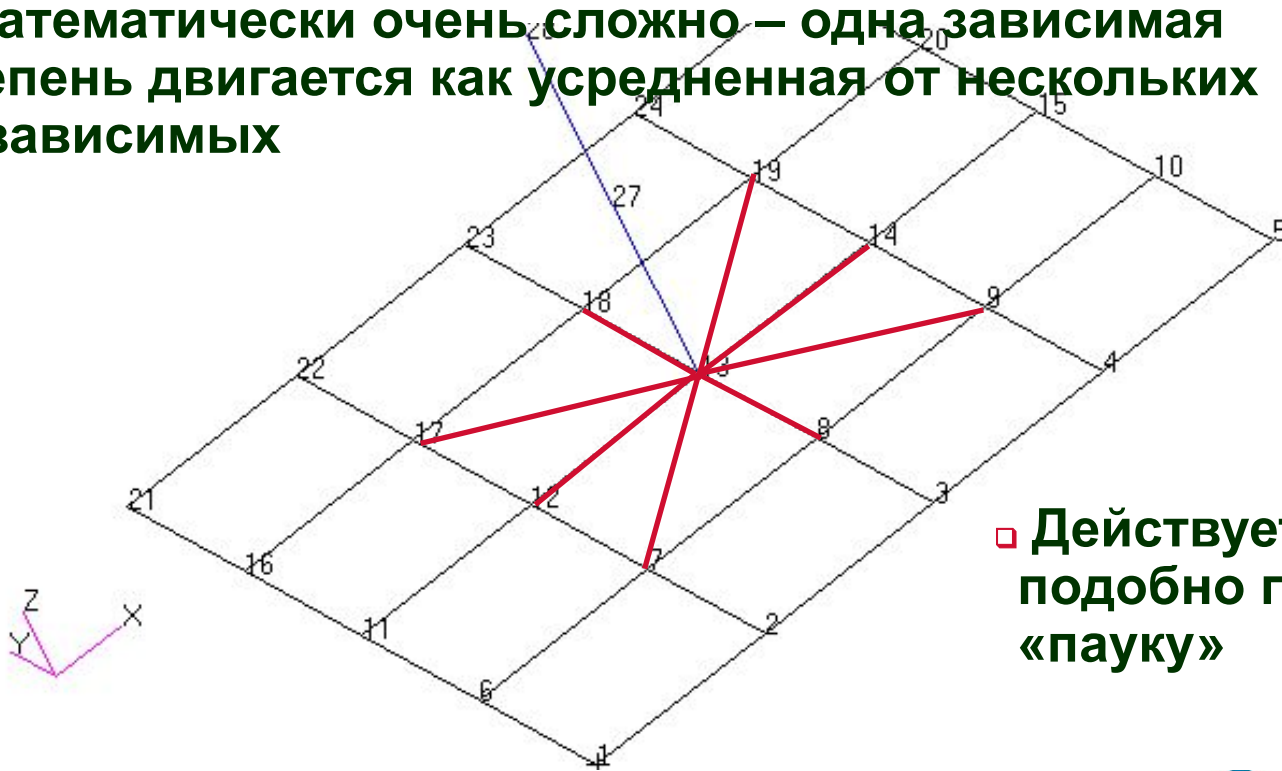
- **Соединения при упрощении моделей**
  - Блок двигателя
  - Параболическая антенна
- **Соединение областей с различной сеткой**
  - Более точная модель, например, фланца с грубой моделью вала



# Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

## □ Пример использования элемента RBE3

- MPC в section5\_4.bdf могут быть заменены RBE3 элементами
- Математически очень сложно – одна зависимая степень движется как усредненная от нескольких независимых

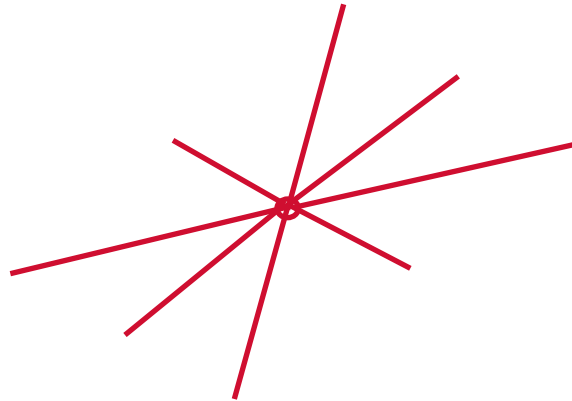


- Действует подобно гибкому «пауку»

# Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

## □ Пример использования элемента RBE3

- Степени свободы центра «паука» являются зависимыми степенями свободы
- Другие степени свободы являются независимыми и могут иметь перекрестную связь



# Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

## □ Примеры использования элемента RBE3

### □ Соединения при упрощении моделей

- Параболическая антенна

### □ Соединение областей с различной сеткой

- Фюзеляж из балок и пластин – гибкая овализация фюзеляжа

### □ Присоединение полезной нагрузки

- Распределяет полезную нагрузку по требуемым узлам ее присоединения

# Жесткие элементы (пример)

□ Используйте файл section5\_4.bdf

□ Попробуйте модифицировать его с использованием:

- RBAR

- RBE2

- RBE3

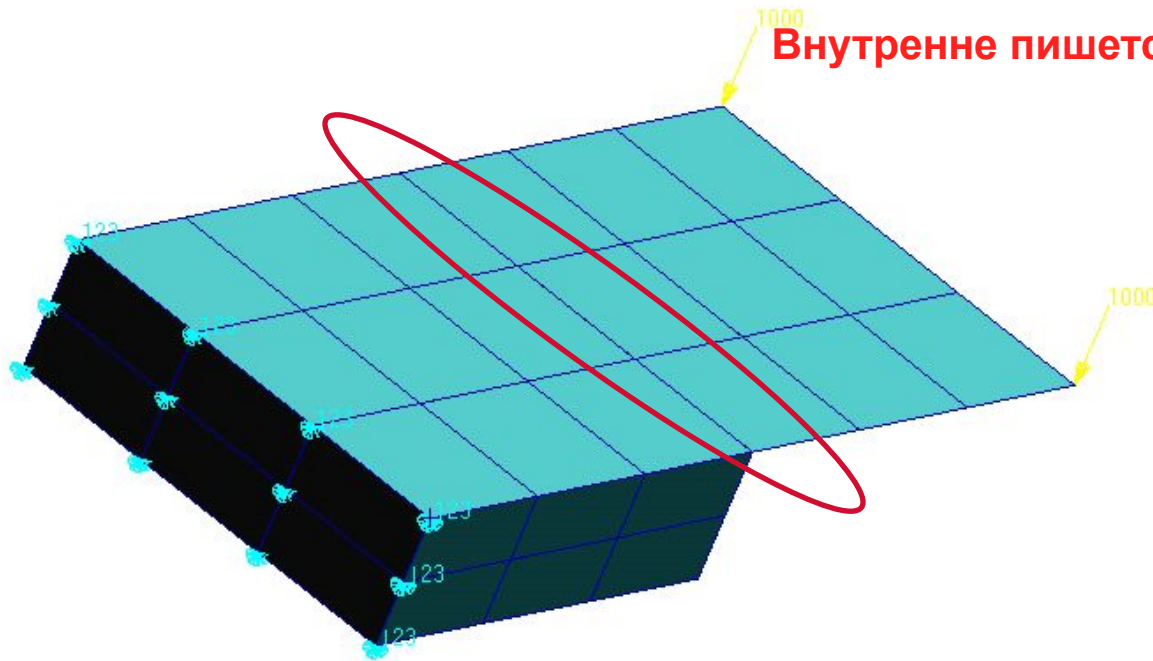
□ Сравните распределение перемещений

# Жесткие элементы

## □ RSSCON

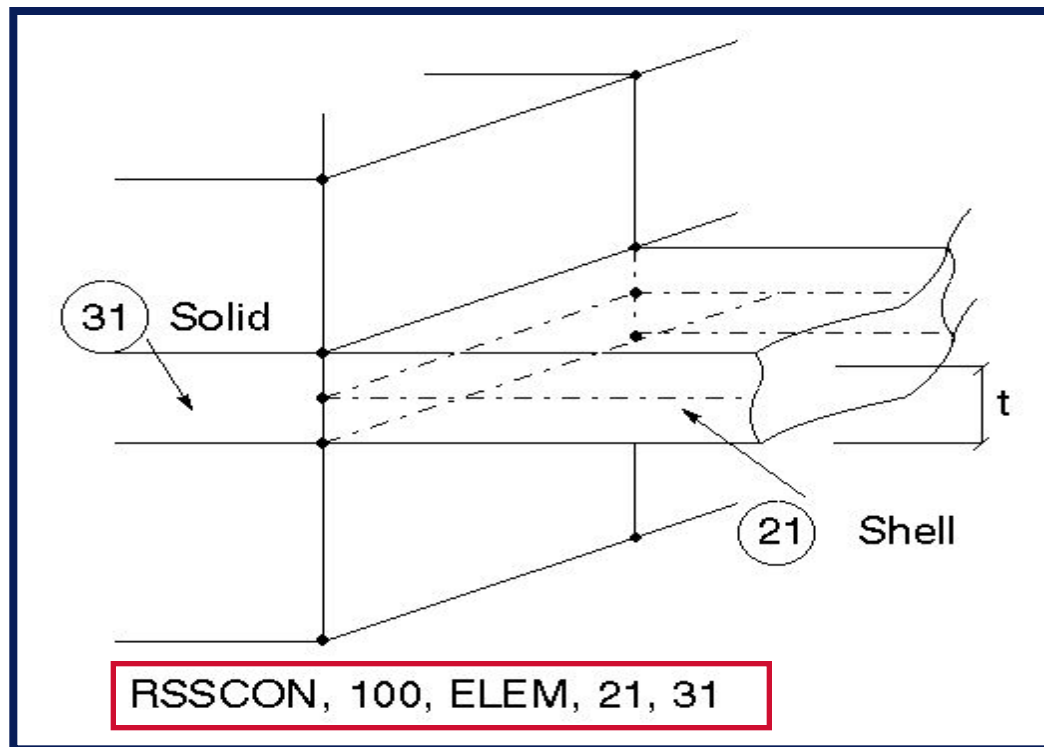
Соединение Solid элемента с Plate

Внутренне пишется MPC



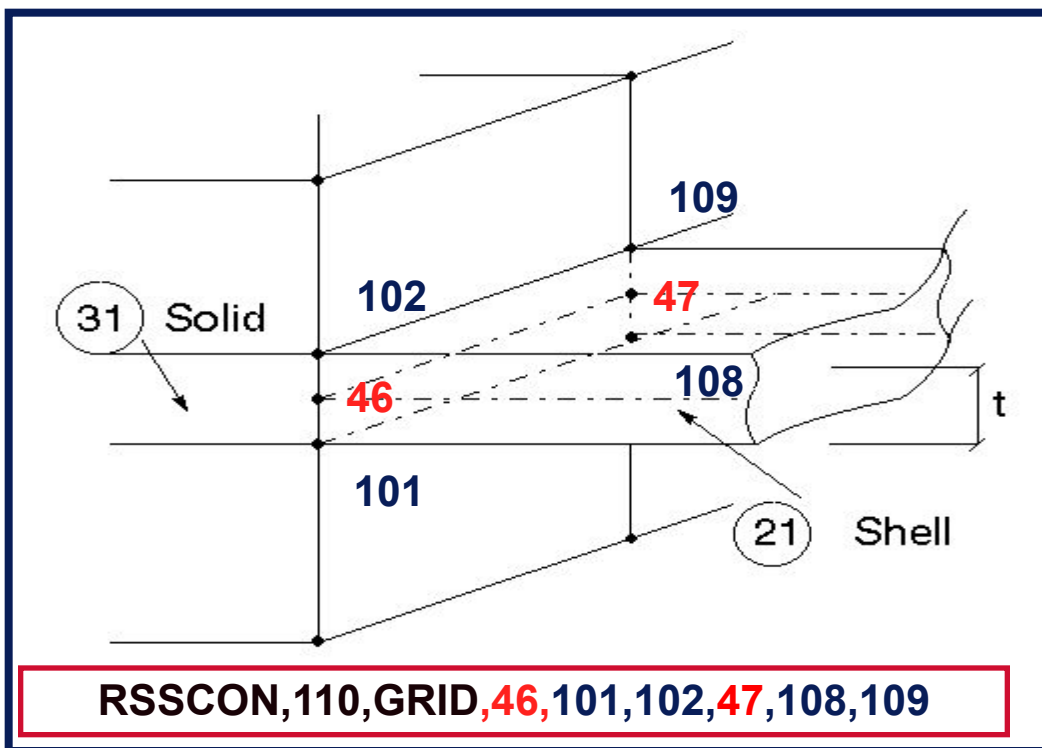
# Жесткие элементы (продолжение)

## □ RSSCON – метод элементов



# Жесткие элементы (продолжение)

## □ RSSCON – метод узлов



# Жесткие элементы (продолжение)

## □ Используйте файл section5\_3.bdf

- Попробуйте модифицировать его с использованием:
  - RSSCON – узловой метод
  - RSSCON – метод элементов
- Сравните распределение перемещений



# Общая информация о модели

# ELSUM

- Команда ELSUM секции Case Control выводит обобщенную информацию о запрошенных элементах
- Распечатка включает в себя
  - Номера элементов
  - Номер материала
  - Длину или толщину
  - Площадь
  - Объем
  - Конструкционную массу
  - Не конструкционную массу
  - Общую массу
  - Общий вес

# ELSUM

- **Формат:**

**ELSUM = I**

Где I – Номер набора или 'ALL'

- **Ограничения:**

- **Массовые данные выводятся только для элементов СВАР, СВЕАМ, СВЕНД, СЧЕХА, СОНРОД, СПЕНТА, СКУАД4, СКУАД8, СКУАДР, СРОД, СШЕАР, СТЕТРА, СТРИАР, СТРИА3, СТРИАХ6, СТУБЕ**

```
0
ELEMENT PROPERTY SUMMARY
ELEMENT TYPE = ROD
  ID      MID      LENGTH      AREA      VOLUME      SM      MSM      TM      WEIGHT
  401     202     1.000000E+01  6.000000E+00  6.000000E+01  4.800000E+02  5.000000E+00  4.850000E+02  4.850000E+02
  402     201     1.000000E+01  4.000000E+00  4.000000E+01  1.600000E+02  8.000000E+00  1.680000E+02  1.680000E+02
  403     202     1.000000E+01  6.000000E+00  6.000000E+01  4.800000E+02  5.000000E+00  4.850000E+02  4.850000E+02
SUBTOTAL MASS =      1.120000E+03  1.800000E+01  1.138000E+03  1.138000E+03
TOTAL   MASS =      1.120000E+03  1.800000E+01  1.138000E+03  1.138000E+03
```

# MAX/MIN для перемещений и сил реакций

- В решении SOL 101 существует опция для вывода MAX/MIN значений перемещений и сил реакций для каждого варианта (SUBCASE)
- Если запрос сделан, то распечатка добавляется к  
Формат:

$$\text{MAXMIN} \left( \left[ \left[ \begin{array}{c} \text{MAX} \\ \text{BOTH} \\ \text{MIN} \\ \text{VMAG} \end{array} \right] [= \text{num}] \right], \left[ \text{CID} = \left[ \begin{array}{c} \text{GLOBAL} \\ \text{BASIC} \\ \text{cid} \end{array} \right] \right], \text{oplist}, [\text{COMP} = \text{list}] \right) = \left[ \begin{array}{c} \text{ALL} \\ \text{n} \\ \text{NONE} \end{array} \right]$$

Пример:

```
MAXMIN (BOTH=10,CID=1000,DISP,COMP=T1/T3)=501
```

# MAX/MIN для перемещений и сил реакций

```

$ file maxmin.dat
sol 101
cend
title = cantilever beam model
subtitle = OLOAD OUTPUT
spc = 1
disp=all
maxmin(vmag=2,disp,spcf)=all
subcase 1
label = pload1
load = 1
subcase 2
label = load in x, y, and z
load = 2
begin bulk
pload1,1,1,fy,fr,0.,1.,1.,1.
=,=,* (1),==
=(6)
force,2,9,,1.,1.,1.,1.
PARAM GRDPNT 0
PARAM POST -1
$
cord2r,1,,0.,0.,0.,0.,1.,0.
,1.,0.,1.

```

```

GRID 1 0 0.0 0.0 0.0 0
GRID 2 0 12.5 0.0 0.0 0
GRID 3 0 25. 0.0 0.0 0
GRID 4 0 37.5 0.0 0.0 0
GRID 5 0 50. 0.0 0.0 0
GRID 6 0 62.5 0.0 0.0 0
GRID 7 0 75. 0.0 0.0 0
GRID 8 0 87.5 0.0 0.0 0
GRID 9 0 100. 0.0 0.0 1
$
CBEAM 1 1 1 2 1.
CBEAM 2 1 2 3 1.
CBEAM 3 1 3 4 1.
CBEAM 4 1 4 5 1.
CBEAM 5 1 5 6 1.
CBEAM 6 1 6 7 1.
CBEAM 7 1 7 8 1.
CBEAM 8 1 8 9 1.
$
SPC 1 1 123456 0.0
$
EBEAML 1 1 BAR
1. 2.
$
MAT1 1 1.+7 .3 .1
$
ENDDATA

```

**Узел 9 использует CORD2R 1 для вывода результатов**

# MAX/MIN для перемещений и сил реакций

```

0      *** T1 ***   D I S P L A C E M E N T   M A X / M I N   V A L U E   S U M M A R Y           RESULTS FOR SUBCASE           1
MAXMIN OPTIONS: SET=ALL, CID=BASIC, VMAG=2, VMAG=2, COMP=T1
POINT ID. TYPE   CID           ***TMAG***           T2           T3           R1           R2           R3
1      G   BASIC           0.000000E+00        0.000000E+00        0.000000E+00        0.000000E+00        0.000000E+00        0.000000E+00
2      G   BASIC           5.404634E-02        0.000000E+00        0.000000E+00        8.251953E-03        0.000000E+00        0.000000E+00
8      G   BASIC           1.563420E+00        0.000000E+00        0.000000E+00        2.495117E-02        0.000000E+00        0.000000E+00
9      G   BASIC           1.875780E+00        0.000000E+00        0.000000E+00        2.500000E-02        0.000000E+00        0.000000E+00
9      G           1           0.000000E+00        0.000000E+00        1.875780E+00        1.767767E-02        -1.767767E-02        0.000000E+00
1      CANTILEVER BEAM MODEL           FEBRUARY 13, 2001 MSC.NASTRAN 1/17/01 PAGE 12
0      OLOAD OUTPUT
  
```

Максимум по перемещениям

```

0      *** R1 ***   D I S P L A C E M E N T   M A X / M I N   V A L U E   S U M M A R Y           RESULTS FOR SUBCASE           1
MAXMIN OPTIONS: SET=ALL, CID=BASIC, VMAG=2, VMAG=2, COMP=R1
POINT ID. TYPE   CID           T1           T2           T3           ***RMAG***           R2           R3
1      G   BASIC           0.000000E+00        0.000000E+00        0.000000E+00        0.000000E+00        0.000000E+00        0.000000E+00
2      G   BASIC           5.404634E-02        0.000000E+00        0.000000E+00        8.251953E-03        0.000000E+00        0.000000E+00
8      G   BASIC           1.563420E+00        0.000000E+00        0.000000E+00        2.495117E-02        0.000000E+00        0.000000E+00
9      G   BASIC           1.875780E+00        0.000000E+00        0.000000E+00        2.500000E-02        0.000000E+00        0.000000E+00
9      G           1           0.000000E+00        0.000000E+00        1.875780E+00        1.767767E-02        -1.767767E-02        0.000000E+00
  
```

Максимум по углам поворота

Суммарный вектор для узла 9

Перемещения для узла 9  
в системе координат 1

# Проверка геометрии элементов

- Препроцессоры могут генерировать сетку с плохой геометрией элементов (соотношение сторон, наклон, выход из плоскости и т.п.)
- Ранее печаталось отдельное сообщение для каждого элемента, который не удовлетворял рекомендациям MSC.Nastran (это часто приводило к большому количеству сообщений, которые большинство пользователей игнорировало)
- Сейчас существует опция, позволяющая управлять этими сообщениями (т.е. можно их проигнорировать, запретив печать, но делать это НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ)
- Управление происходит с помощью команды GEOMCHECK секции Executive Control

# Симметрия конструкции

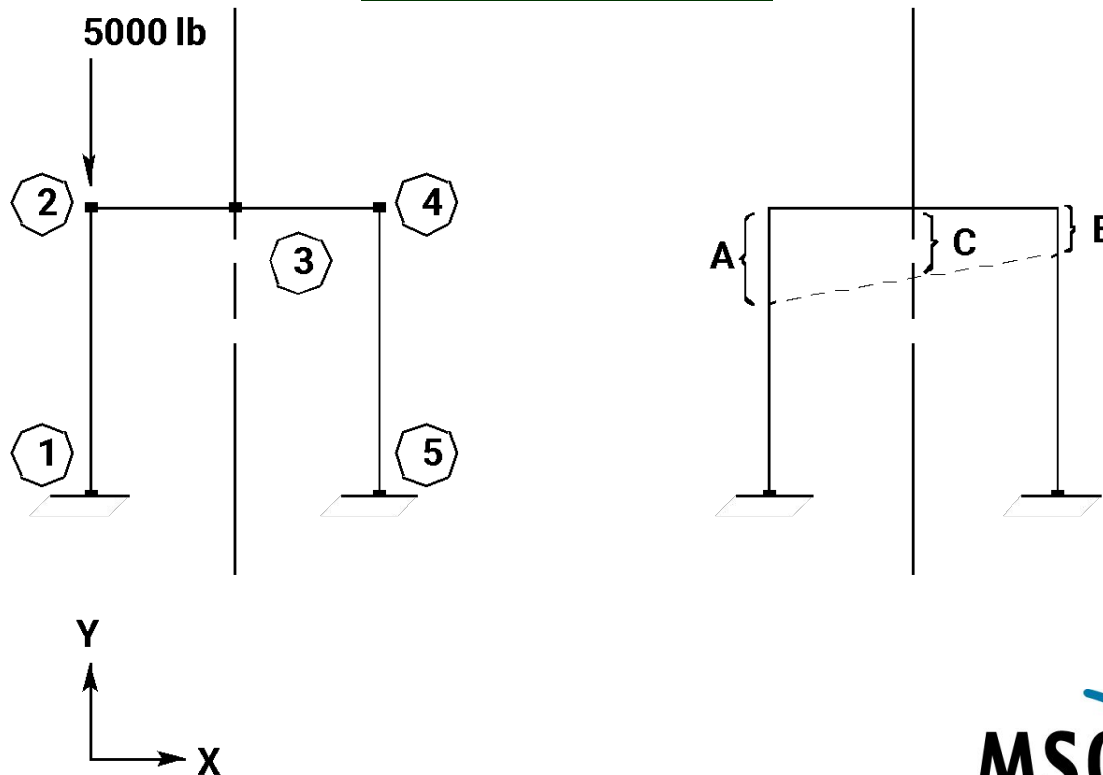
- Свойства симметрии часто могут использоваться в процессе моделирования для уменьшения ресурсов, требуемых для расчета.



# Симметрия конструкции (продолжение)

- Следующий пример демонстрирует использование симметрии при моделировании и расчете рамы.

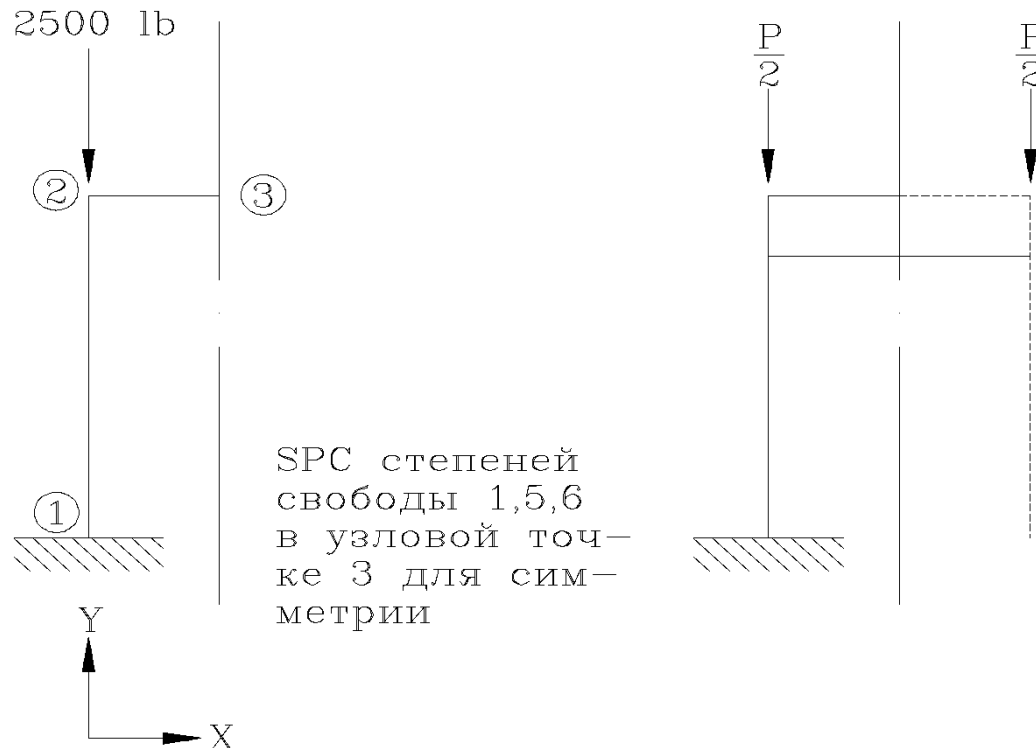
## Полная модель



# Симметрия конструкции (продолжение)

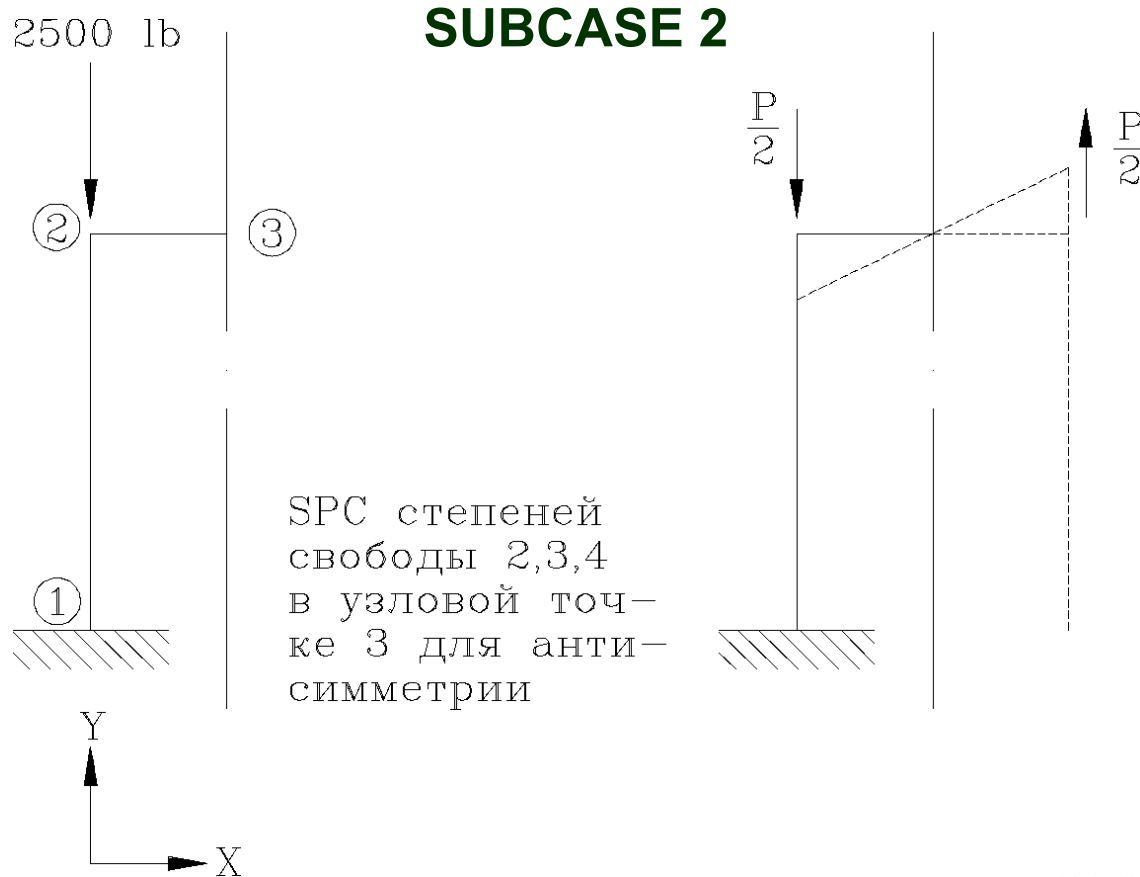
## Симметричная модель

### SUBCASE 1



# Симметрия конструкции (продолжение)

## Антисимметрия



# Симметрия конструкции (продолжение)

## Входной файл MSC/NASTRAN

```
ID  SYM,EX
TIME 5
SOL 101
CEND
$
TITLE =Пример использования условий симметрии/Антисимметрии
DISP = ALL
$
  SUBCASE 1
  LABEL = Симметричные ограничения
  SPC = 1
  LOAD = 1
$
  SUBCASE 2
  LABEL = Антисимметричные ограничения
  SPC = 2
  LOAD = 1
$
  SUBCOM 3
  LABEL = Левая сторона модели
  SUBSEQ 1.0, 1.0
$
  SUBCOM 4
  LABEL = Правая сторона модели
  SUBSEQ 1.0, -1.0
$
BEGIN BULK
$
GRID      1      0.0      0.0      0.0      123456
GRID      2      0.0     10.0      0.0      345
GRID      3      5.0     10.0      0.0      34
$
CBAR      1      100      1      2      -1.0      0.0      0.0
CBAR      2      100      2      3      0.0      1.0      0.0
PBAR     100      1      5.0      5.0      5.0
$
```

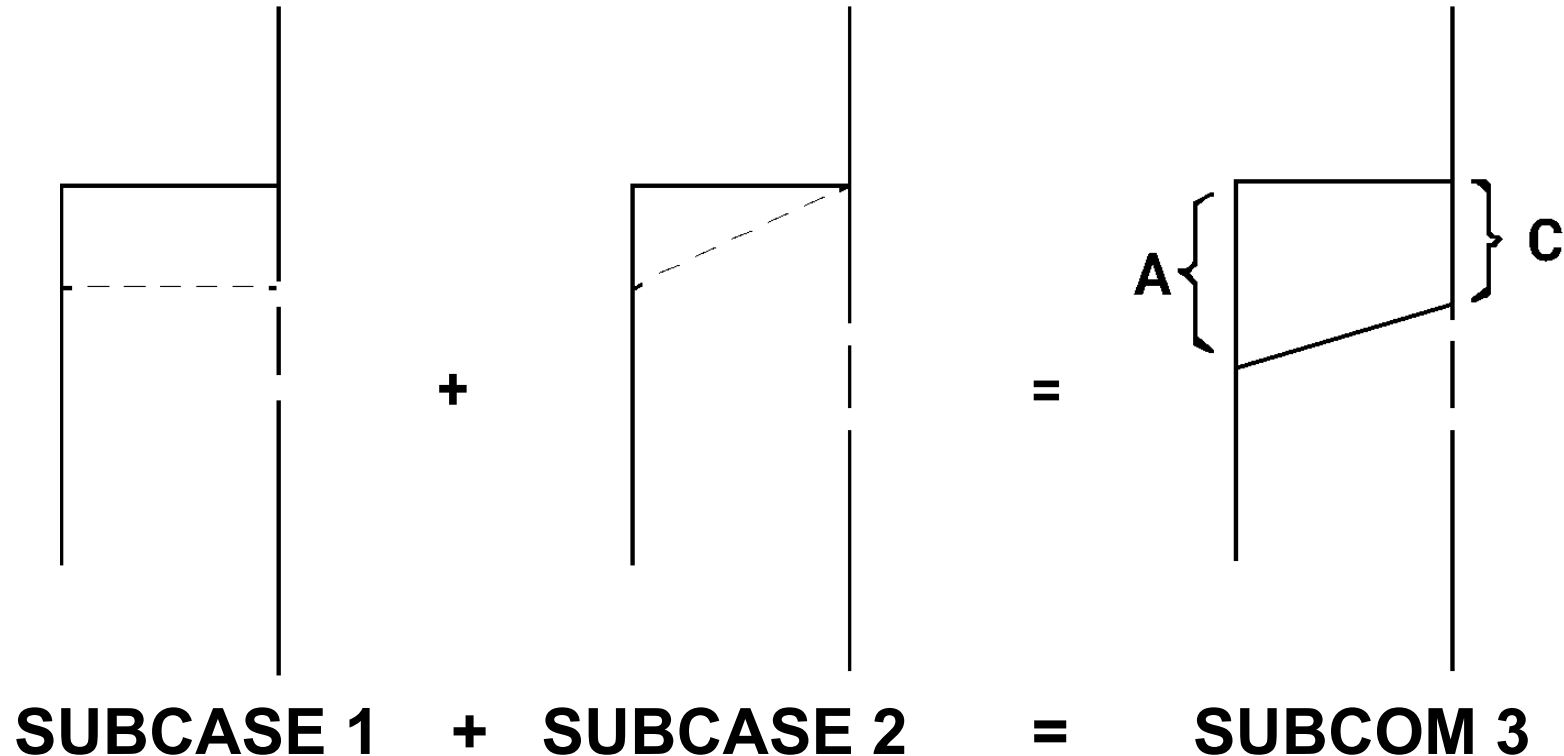
# Симметрия конструкции (продолжение)

## Входной файл MSC/NASTRAN (продолжение)

```
MAT1    1      3.E+7      0.3
$
FORCE   1      2      2500.    0.0    -1.0    0.0
$
SPC1    1     156      3
SPC1    2      2      3
$
ENDDATA
```

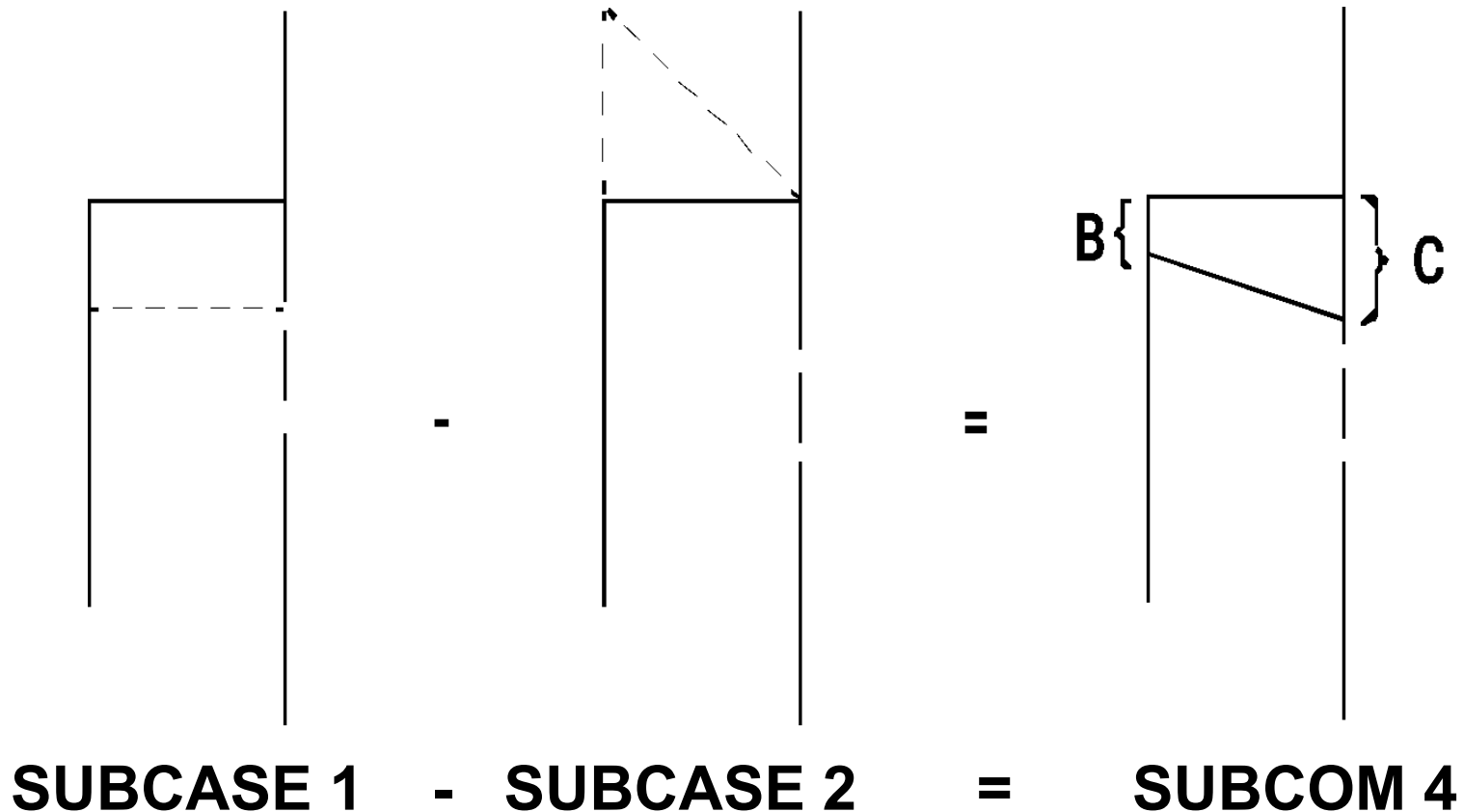
# Симметрия конструкции (продолжение)

- SUBCOM 3 рассчитывает перемещения левой части модели.



# Симметрия конструкции (продолжение)

- SUBCOM 4 рассчитывает перемещения правой части модели.



# Симметрия конструкции (продолжение)

- SUBCOM 3 и SUBCOM 4 представляют полную модель.

