Раздел 5

Верификация модели

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

- **Типичные ошибки; сингулярности и механизмы**

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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**

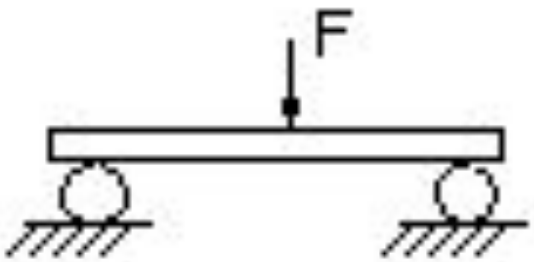
- **Некоторые примеры сингулярности:**
  - **Возможность движения модели как твердого тела**
  - **Соединение элементов с различным числом степеней свободы**
  - **Некорректная перекрестная связь степеней свободы**

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

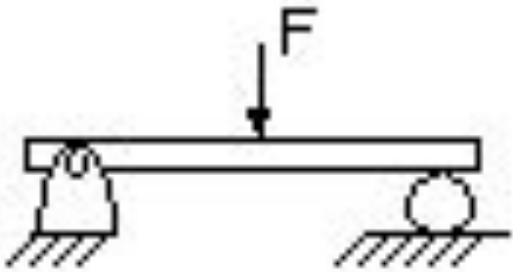
Сингулярности и механизмы (продолжение)

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

Движение твердого тела



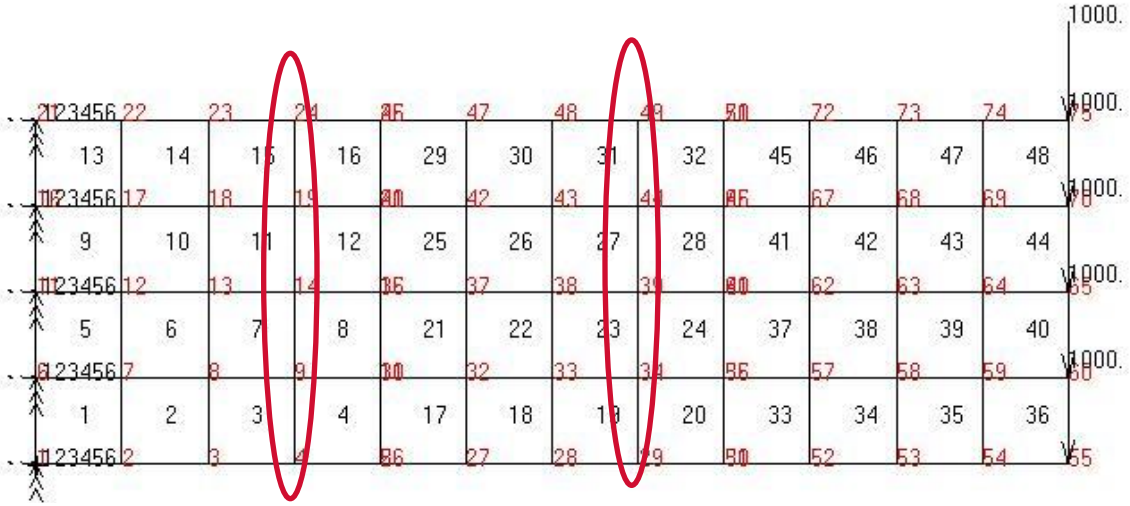
Адекватные закрепления



MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

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**



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

- **Процедура автоматической проверки в MSC.NASTRAN**

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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.

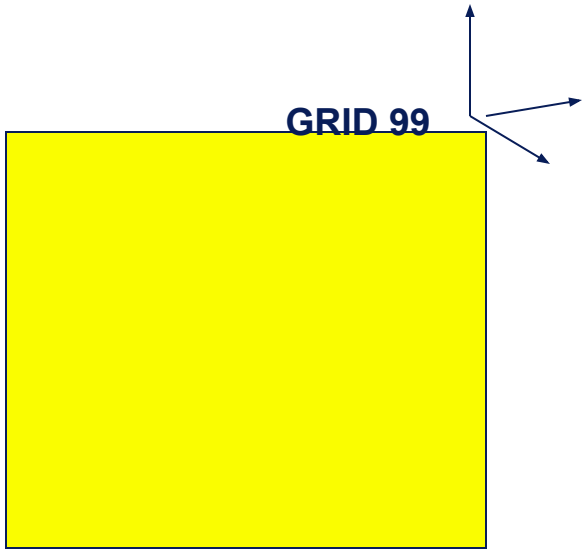
MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

Как работает AUTOSPC

GRID 99 Составляющие жесткости

T1	✓	
T2	✓	
T3	✓	
R1	✗	
R2	✗	
R3	✗	

Неха Элемент

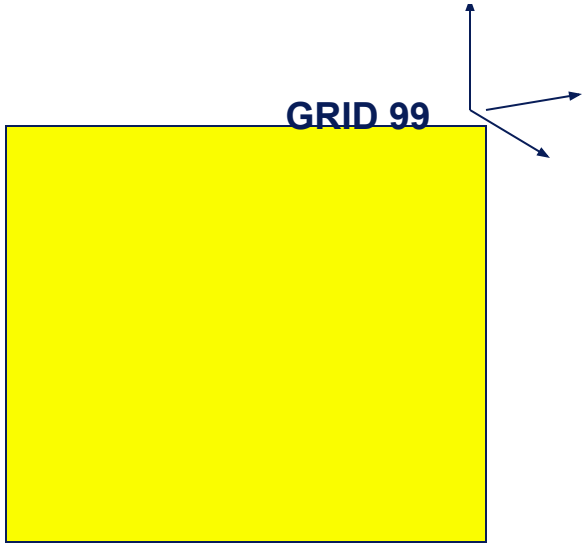


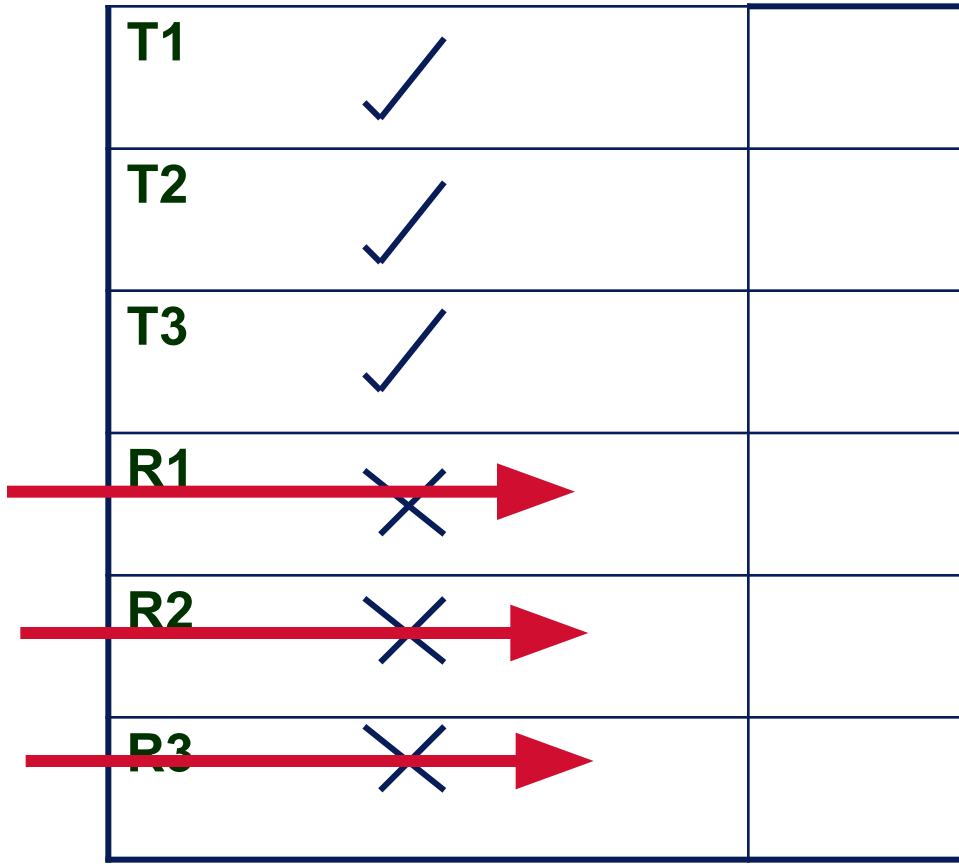
MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Как работает AUTOSPC (продолжение)

GRID 99 Составляющие жесткости

- Успешное исключение нулевых компонент жесткости

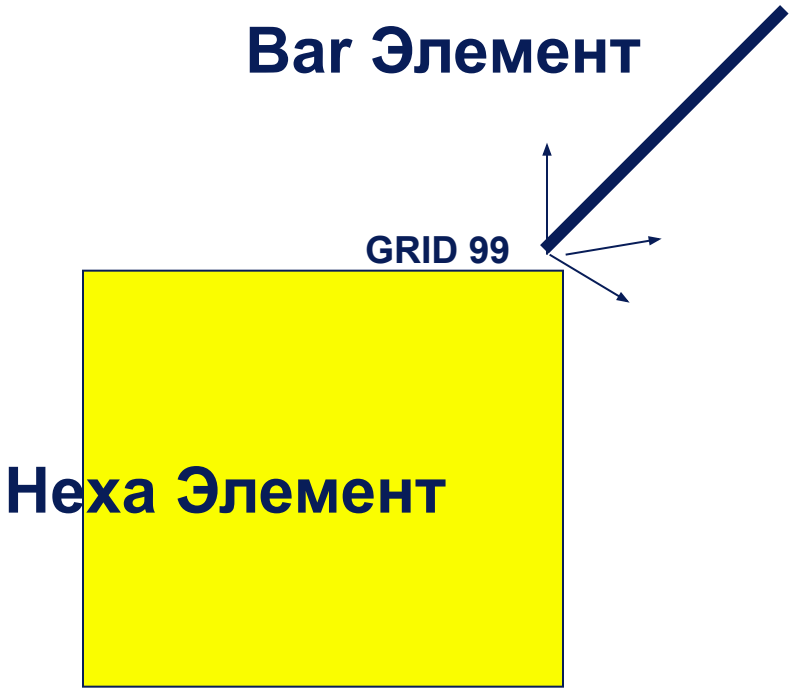




MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Проблемы с AUTOSPC

- Нет исключения нулевых компонент жесткости Solid элемента

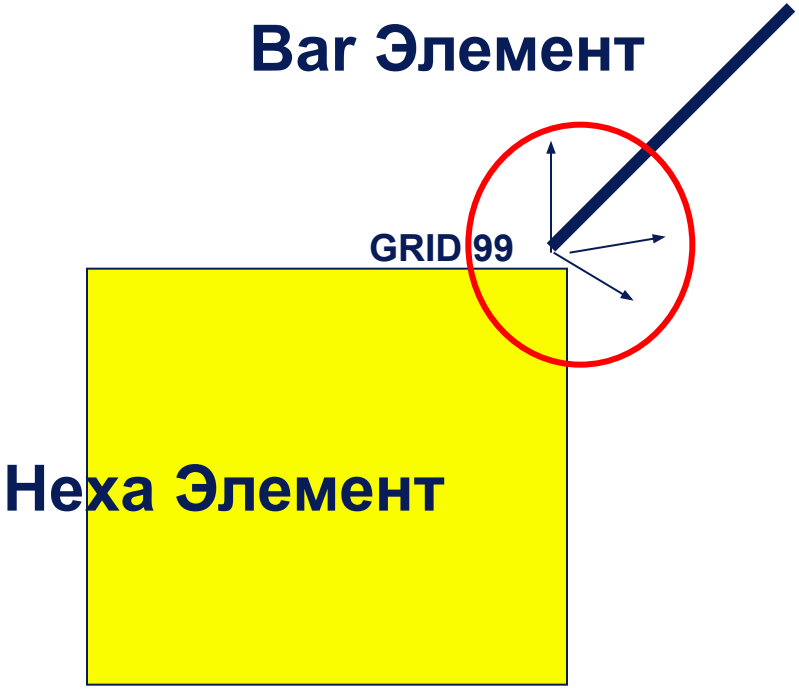


Solid		Bar	
T1	✓	T1	✓
T2	✓	T2	✓
T3	✓	T3	✓
R1	✗	R1	✓
R2	✗	R2	✓
R3	✗	R3	✓

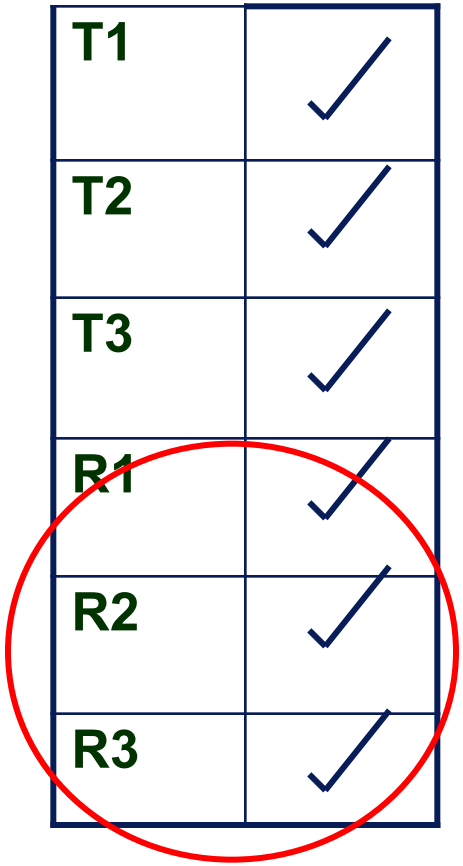
MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

Проблемы с AUTOSPC (продолжение)

- Нет исключения нулевых компонент жесткости Solid элемента



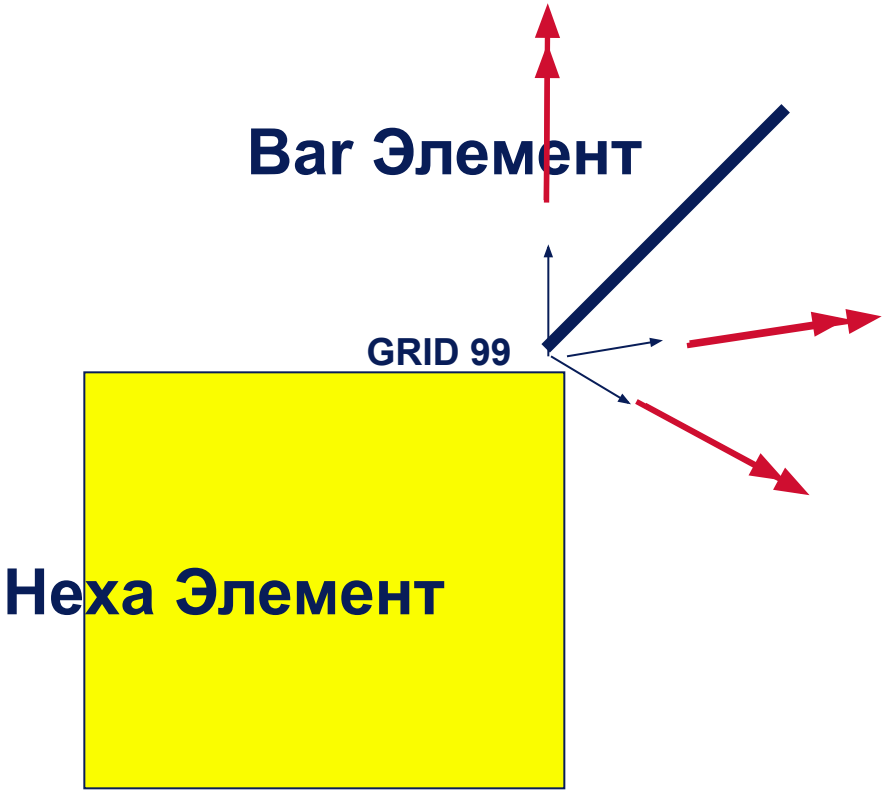
Комбинированные компоненты жесткости



MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

Проблемы с AUTOSPC (продолжение)

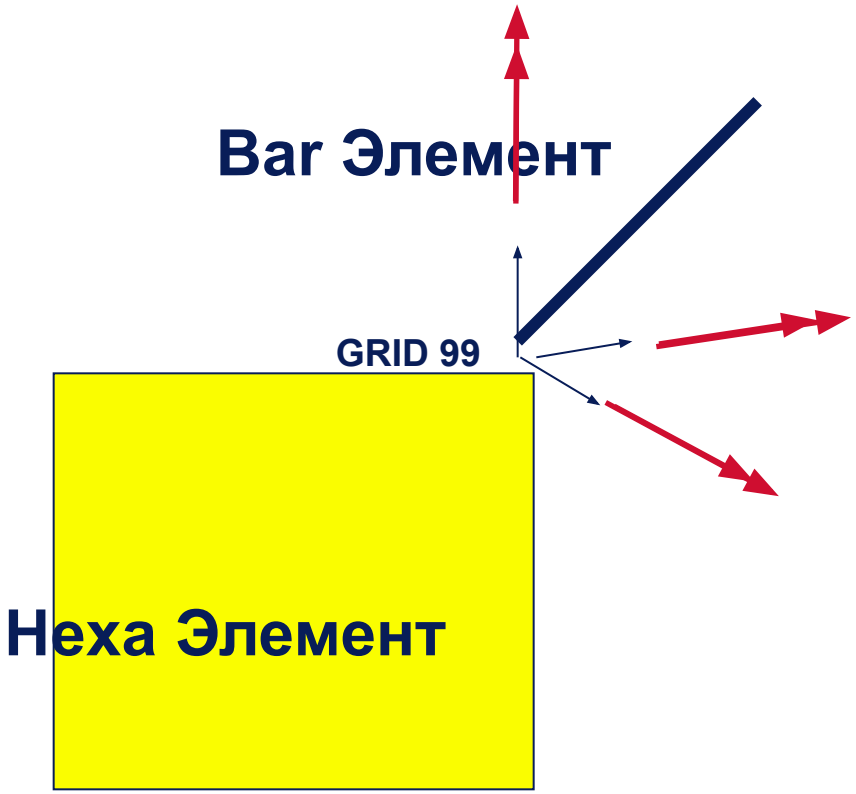
- 3 Механизма !!!



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Проблемы с AUTOSPC (продолжение)

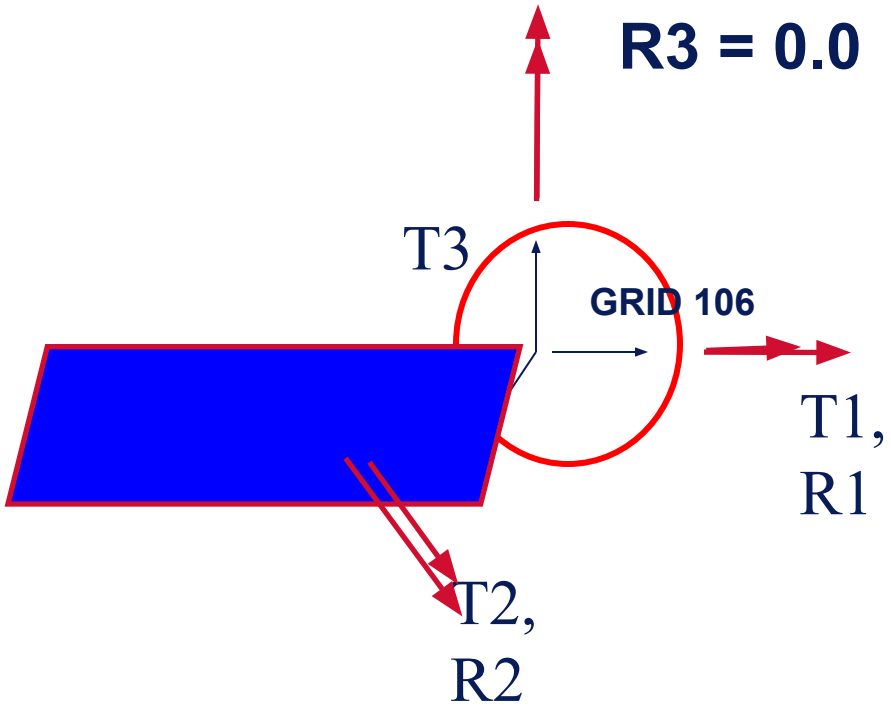
- **Варианты решения:**
  - Задать SPC вручную
  - Задать MPC's (будет рассмотрено ниже)
  - Приложить жесткие связи (будет рассмотрено ниже)



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

AUTOSPC с CQUAD4's

- CQUAD4



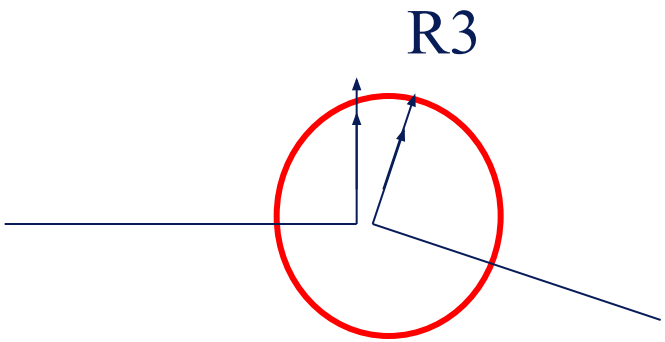
GRID 106 жесткость

T1	✓
T2	✓
T3	✓
R1	✓
R2	✓
R3	✗

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Проблемы с AUTOSPC (продолжение)

- 2 CQUAD4's



GRID 106 жесткость

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

- Возможен механизм !

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Проблемы с AUTOSPC (продолжение)

- **Варианты решения:**

PARAM,K6ROT, К (где К- жесткость)

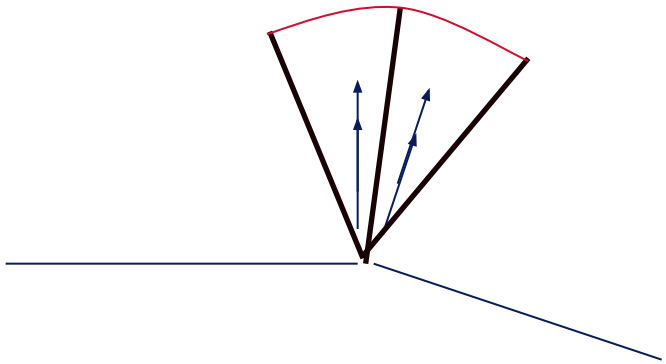
Не рекомендуется для использования в нелинейных расчетах

PARAM,SNORM, Угол

Рекомендуется

2 * угол

Все векторы в пределах угла усредняются



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

G R I D P O I N T S I N G U L A R I T Y T A B L E

POINT ID	TYPE	FAILED DIRECTION	STIFFNESS RATIO	OLD USET EXCLUSIVE	OLD USET UNION	NEW USET EXCLUSIVE	NEW USET 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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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 SPC

  Исключение 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*.

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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 .pch файл:
  - PARAM,SPCGEN,1 PARAM,CHEKOUT,yes
- А далее избирательно использовать в модели сгенерированные записи SPC1

MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

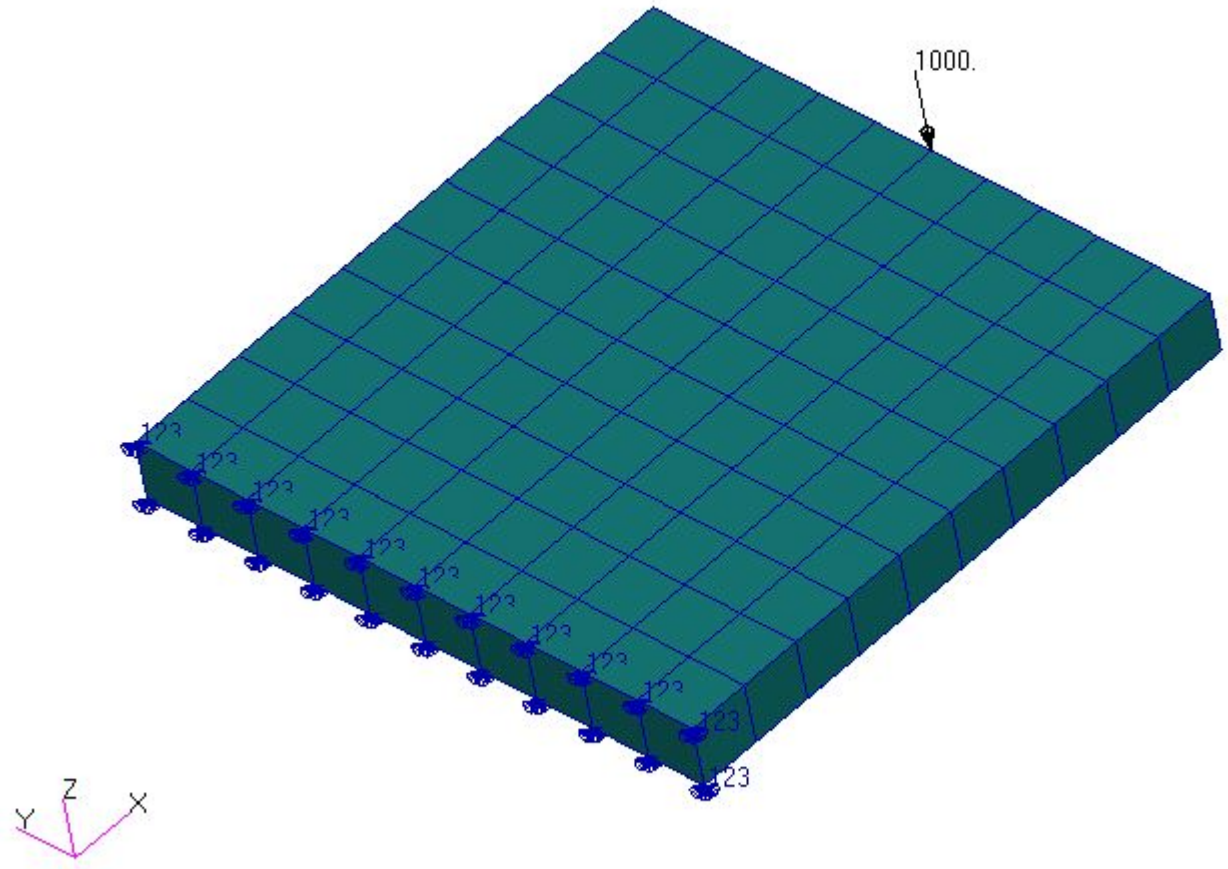
Пример AUTOSPC

- 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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

AUTOSPC Пример (продолжение)

- section5_1.bdf



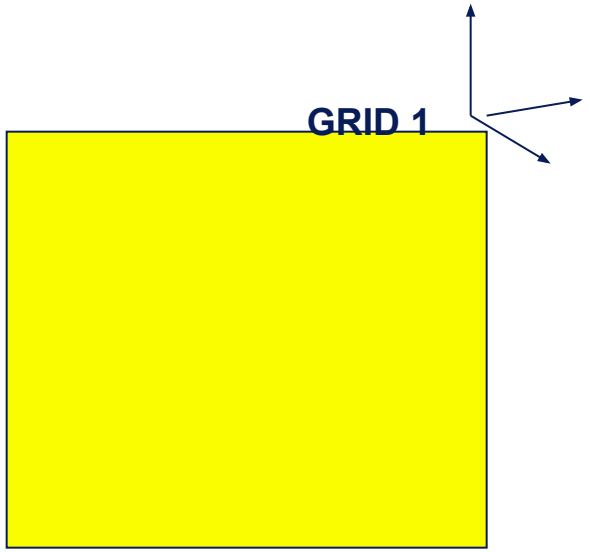
MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Пример AUTOSPC (продолжение)

- section5_1.bdf

G R I D P O I N T S I N G U L A R I T Y T A B L E

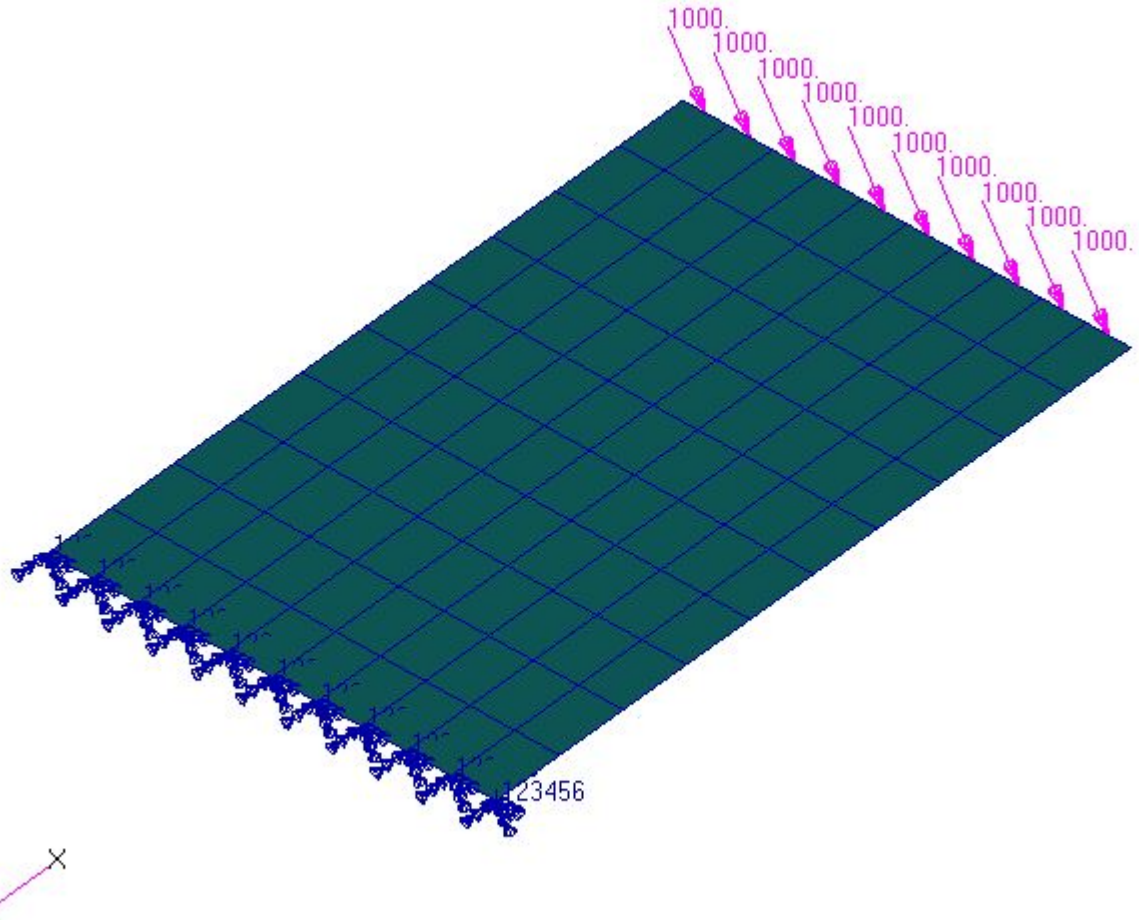
0	POINT ID	TYPE	DIRECTION	FAILED RATIO	STIFFNESS EXCLUSIVE	STIFFNESS UNION	OLD USET EXCLUSIVE	OLD USET UNION	NEW USET EXCLUSIVE	NEW USET UNION
	1	G	4	0.00E+00	BF	F	SB	S	*	
	1	G	5	0.00E+00	BF	F	SB	S	*	
	1	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*	
	2	G	4	0.00E+00	BF	F	SB	S	*	
	2	G	5	0.00E+00	BF	F	SB	S	*	
	2	G	6	0.00E+00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



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

AUTOSPC Пример (продолжение)

- section5_2.bdf



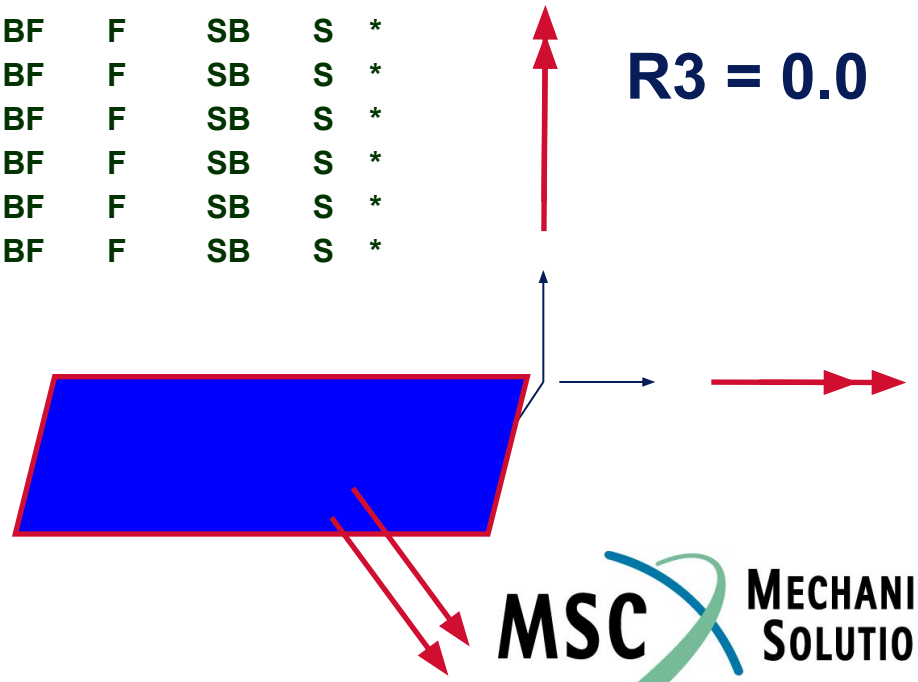
MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

AUTOSPC Пример (продолжение)

- section5_2.bdf

0 G R I D P O I N T S I N G U L A R I T Y T A B L E

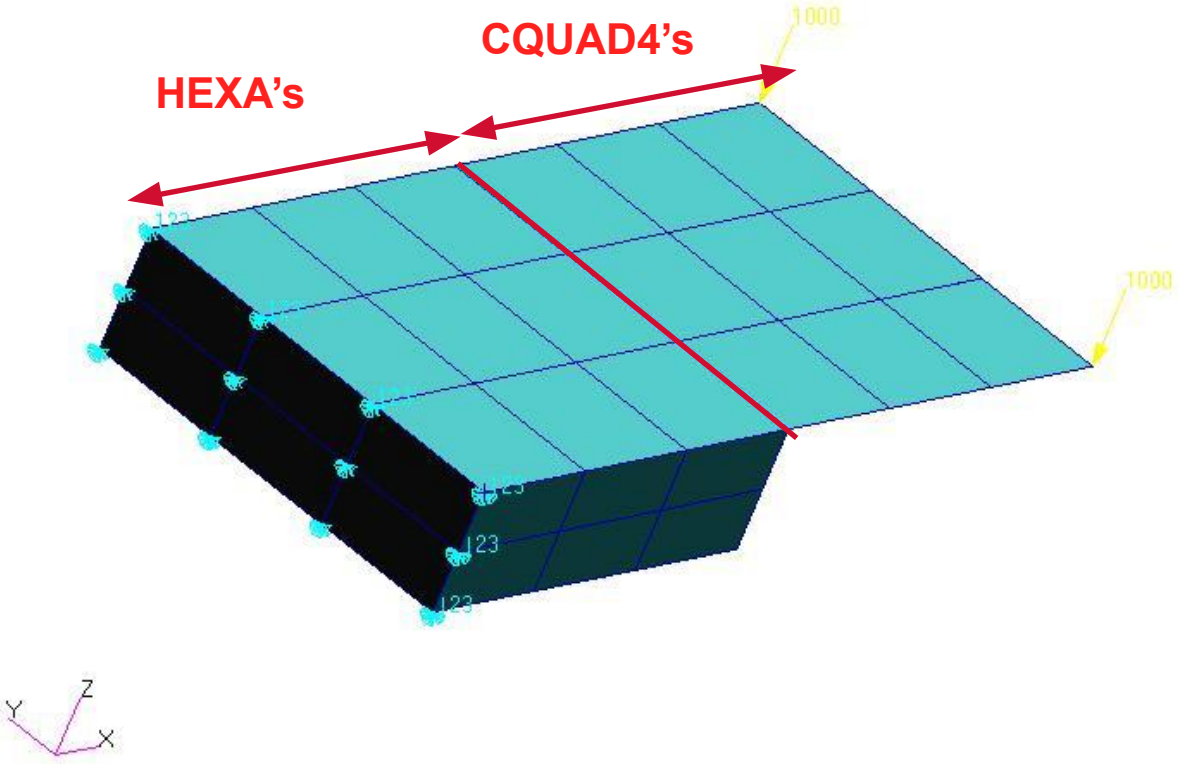
0 POINT ID	TYPE DIRECTION	FAILED	STIFFNESS RATIO	OLD USET EXCLUSIVE	OLD USET UNION	NEW USET EXCLUSIVE	NEW USET UNION	
2	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
3	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
4	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
5	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
6	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
7	G	6	0.00E+00	BF	F	SB	S	*
8	G	6	0.00E+00	BF	F	SB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



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

AUTOSPC Пример (продолжение)

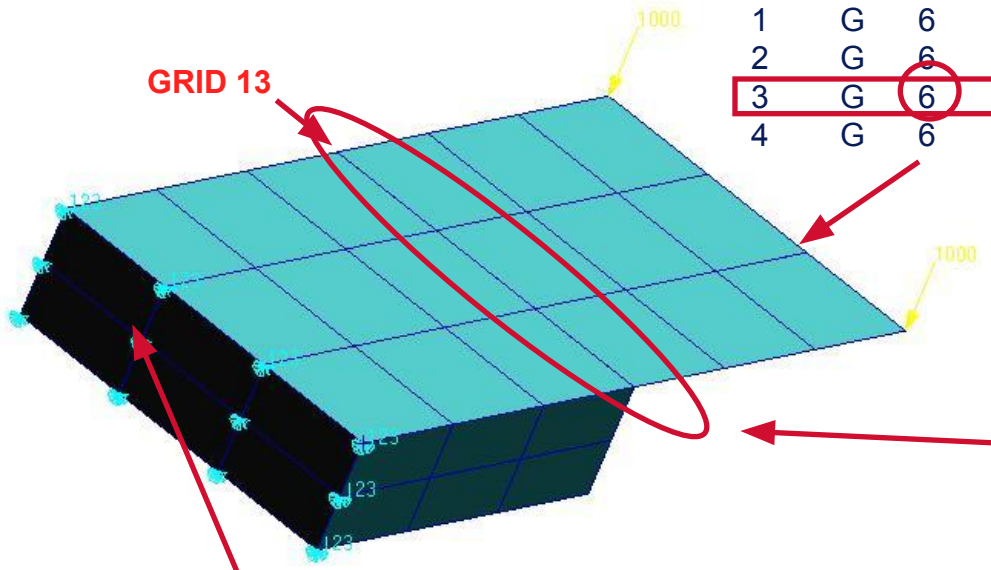
- section5_3.bdf



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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?!

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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                                                    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.
```


MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

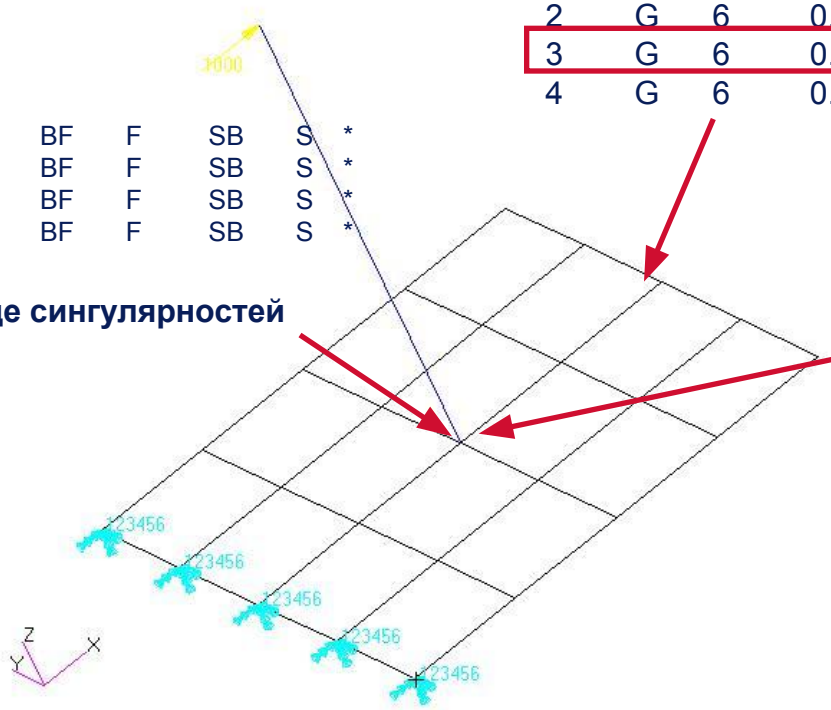
AUTOSPC Пример (продолжение)

- **section5_4.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	*

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	*

Узла 13 нет в таблице сингулярностей



Что происходит здесь?!

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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.
0                                                                    SUBCASE 1
0
      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.
```


MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

- **Диагностирование ошибок**

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

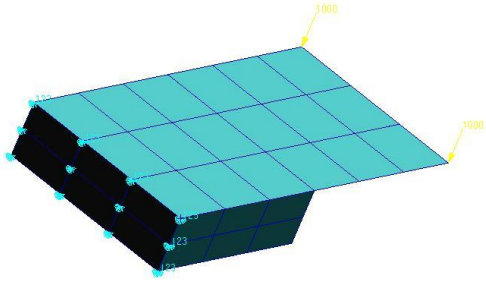
Отладка модели

- 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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Отладка модели (продолжение)

- из файла section5_3.f06
  - Это самая распространенная FATAL ERROR (ф ошибка)
  - Проверьте номер фатальной ошибки
  - Посмотрите ее описание



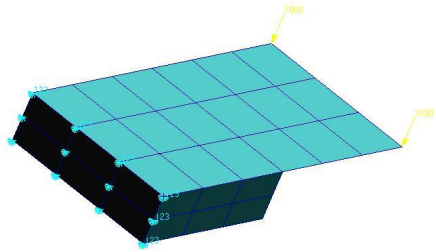
```
     THE FOLLOWING DEGREES OF FREEDOM HAVE FACTOR DIAGONAL RATIOS GREATER THAN
    1.00000E+07 OR HAVE NEGATIVE TERMS ON THE FACTOR DIAGONAL.
0                                                          SUBCASE 1
0
      GRID POINT ID      DEGREE OF FREEDOM   MATRIX/FACTOR DIAGONAL RATIO       MATRIX

          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.
```


MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Отладка модели (продолжение)

- из файла section5_3.f06
  - Обращается внимание на сингуляр механизм
  - Указывается точка GRID 13, и DOF R2
  - Есть ли что-нибудь особенное у этой точки?



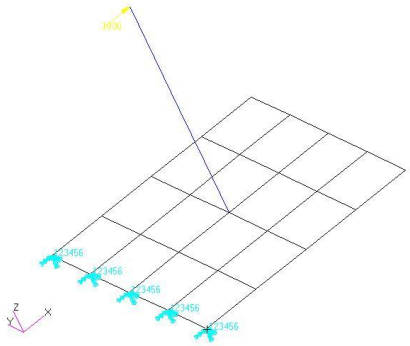
```
     THE FOLLOWING DEGREES OF FREEDOM HAVE FACTOR DIAGONAL RATIOS GREATER THAN
    1.00000E+07 OR HAVE NEGATIVE TERMS ON THE FACTOR DIAGONAL.
0                                                                  SUBCASE 1
0
      GRID POINT ID      DEGREE OF FREEDOM   MATRIX/FACTOR DIAGONAL RATIO      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.
```


MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

Отладка модели (продолжение)

- из файла section5_4.f06
  - Обращается внимание на сингулярн механизм
  - 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                                                          SUBCASE 1
0
      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.
```


MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Отладка модели (продолжение)

- Коррективы в Section5_3.bdf
- Оцените результаты и последствия изменений

Закрепленные DOF 4,5,6

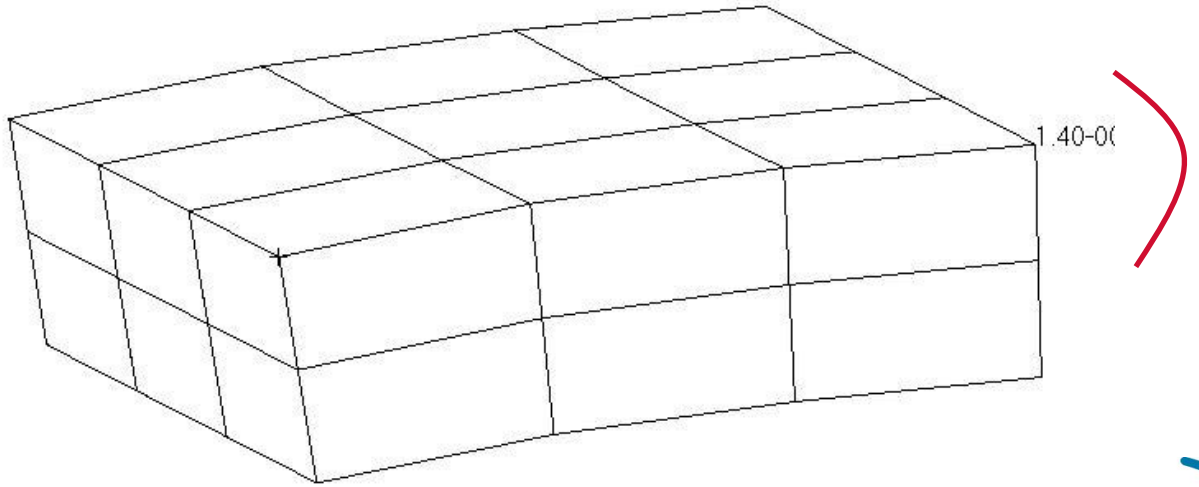
**Выглядит неплохо,
но будьте осторожны!**

MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

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

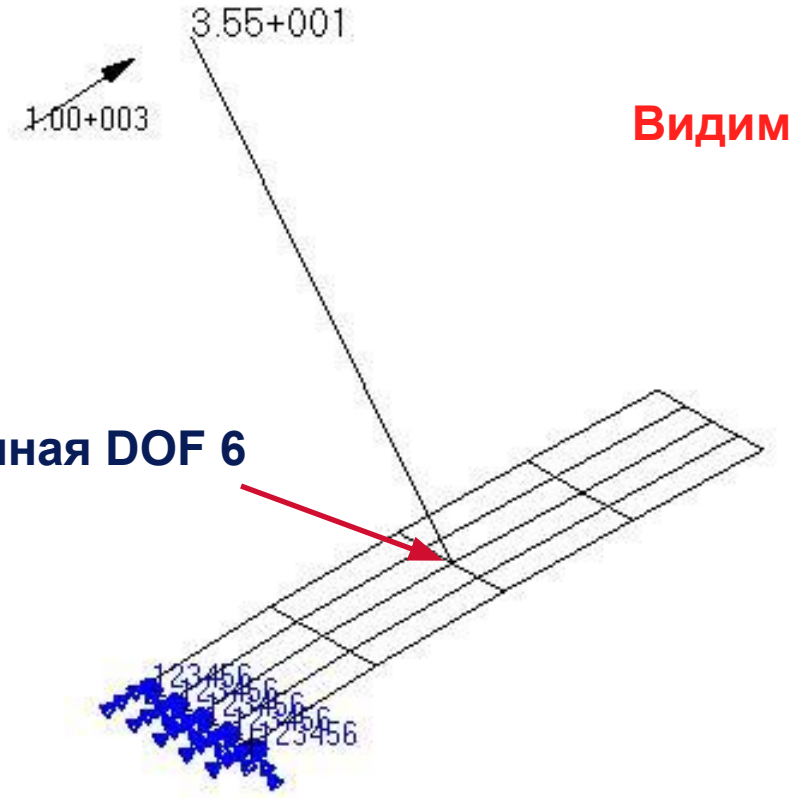


NAS101, Pa

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Отладка модели (продолжение)

- Коррективы в Section5_4.bdf
- Оцените результаты и последствия изменений



Видимых сложностей нет

Закрепленная DOF 6

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

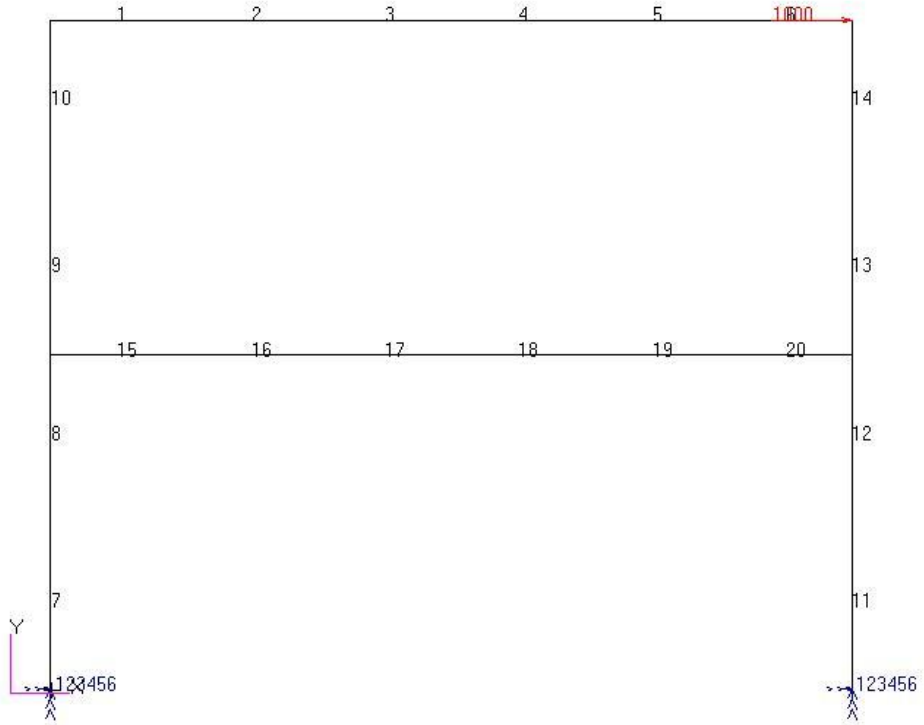
Отладка модели (продолжение)

- 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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Отладка модели (продолжение)

- Запустите Section5_5.bdf
- Проверьте сообщения и правильность результатов анализа



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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.
```


MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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.
```


MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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.

MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

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.
```


MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

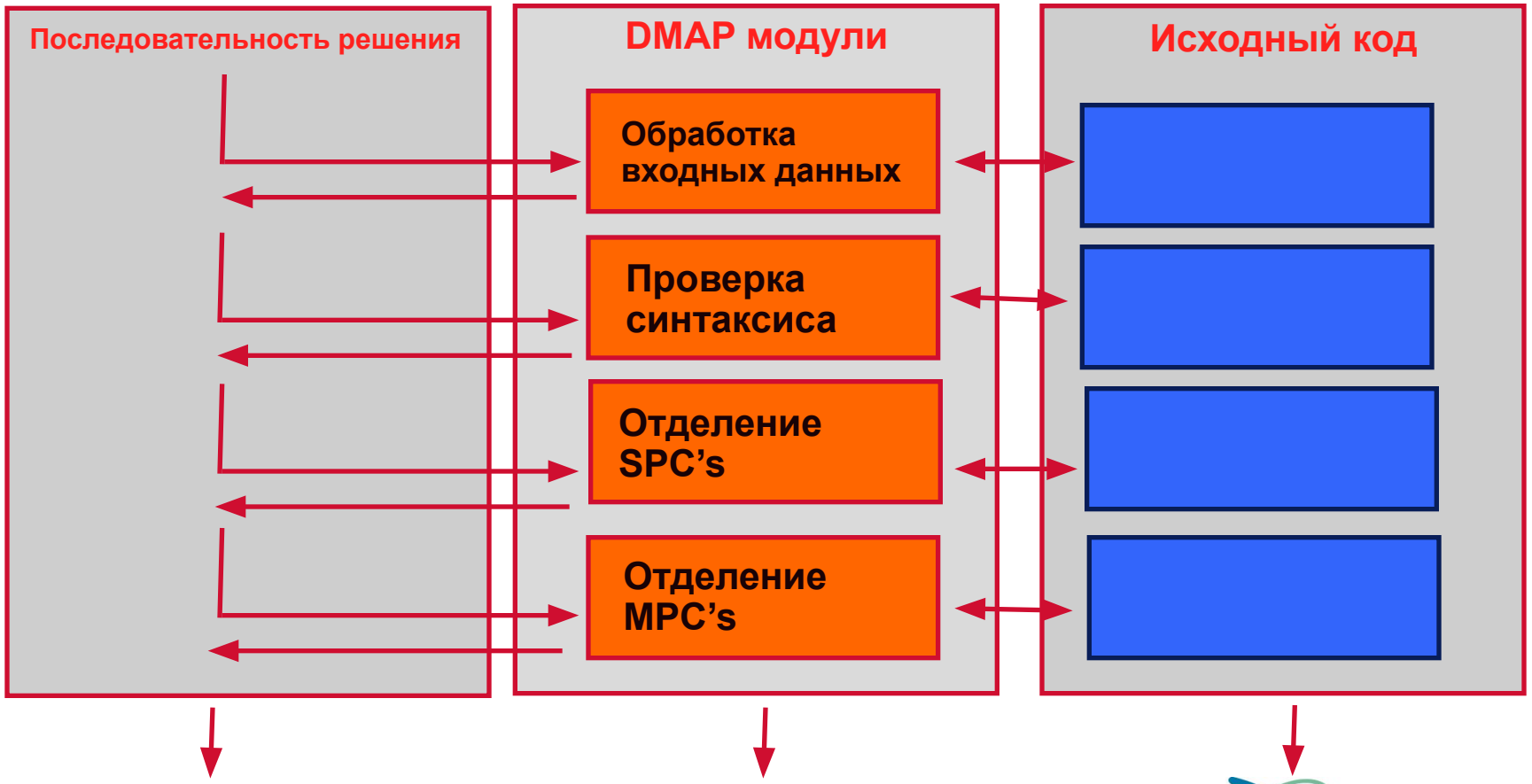
Дальнейшая отладка модели

- 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.

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Дальнейшая отладка модели (продолжение)

- Схема использования DMAP



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

- Основные виды проверок

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

Основные виды проверок (продолжение)

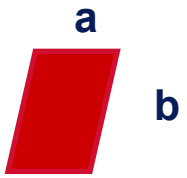
- Перед анализом
  - Искаженная форма элементов
    - Используйте препроцессор для визуальной проверки правильности формы элементов
    - Используйте предупреждающие сообщения (WARNING messages) в файле .f06
  - Согласованность единиц измерения модели
    - Проверка по силе: СИЛА = МАССА * УСКОРЕНИЕ

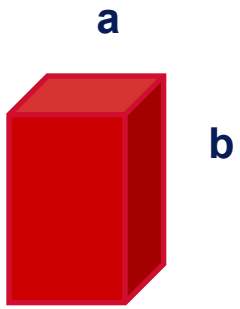
MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

Основные виды проверок (продолжение)

Искаженная форма элементов

Соотношение сторон



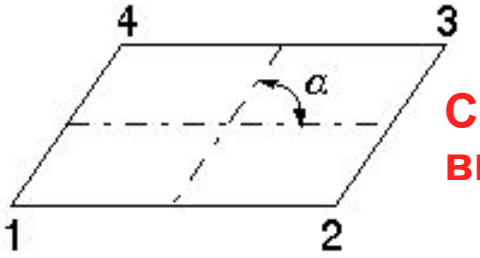


- Соотношение сторон должно быть меньше, чем 4:1 (более низкое для мест с высоким градиентом напряжений). В случае одноосных полей напряжений допустимы большие отношения сторон.

MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

Основные виды проверок (продолжение)

- **Искаженная форма элементов**
  - **Наклон**



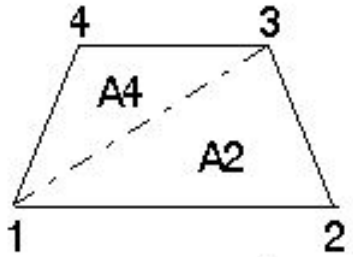
Сообщение об искажении выдается, если α < 30°

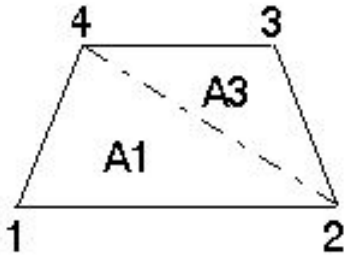
- **Четырехугольные элементы должны быть близки к квадрату настолько, насколько это возможно.**

MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

Основные виды проверок (продолжение)

- **Искаженная форма элементов**
  - **Трапеция (2 направления)**





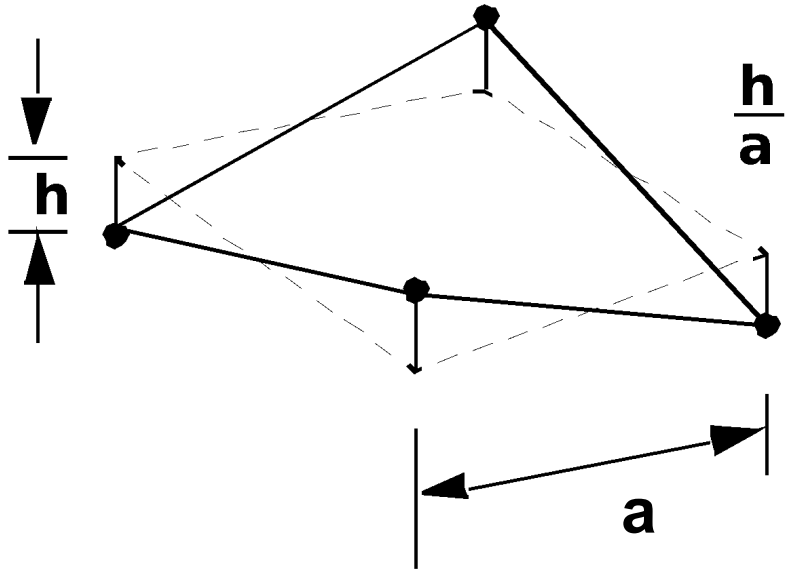
$$Ji = \frac{1}{2} Ai \qquad Ja = \frac{1}{4} (J\,1 + J\,2 + J\,3 + J\,4)$$

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

MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

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.**



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Основные виды проверок (продолжение)

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

Сравним ее с энергией системы

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Основные виды проверок (продолжение)

- **Если эта величина 10^{-6} ,и больше, это значит, что модель плохо обусловлена.**

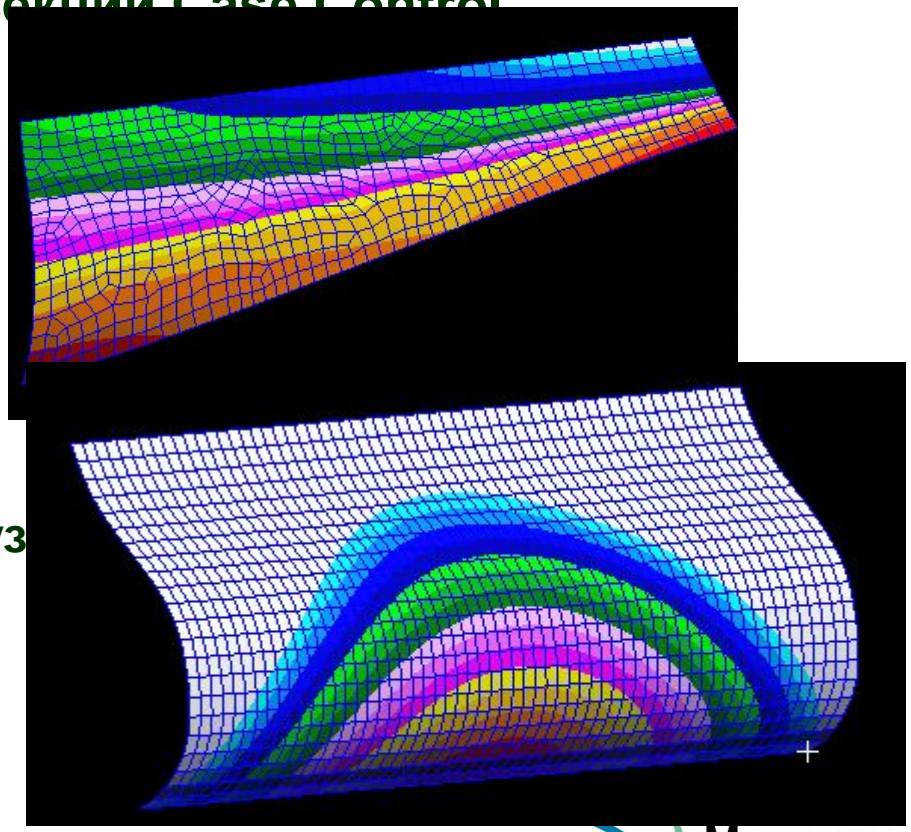
- **Для каждого типа конструкции, модели и расчета**
  - **Посмотрите значение ипсилон после**
  - **Сравните с допустимыми значениями**

```
*** 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
```


MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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 нагруз



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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/    LOAD
  DAREA ID    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  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       ----      -1.818989E-12     ----       0.000000E+00     ----       9.313226E-10
               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 -1.818989E-12  0.000000E+00  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  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  0.000000E+00 -6.116941E+05
```


MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Основные виды проверок (продолжение)

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Основные виды проверок (продолжение)

- **Проверка сил реакций**

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

SPCFORCE RESULTANT

SUBCASE/ DAREA ID	LOAD 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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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 = ½ Суммарная сила * Суммарное перемещение
= (приблизительно) ½ OLOAD * Максимум перемещений
(если пик перемещений около средней линии действия нагрузки)

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

0 MAXIMUM DISPLACEMENTS

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

Значение !!!

Работа = (приблиз.) ½ OLOAD * Макс. перемещение
(2e3 * 36.5 *.5 = 36.5e3)

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Основные виды проверок. Пример

- Запустите section5_6.bdf
  - Выполните следующие проверки:
    - Значение ипсилон
    - Суммирование приложенных нагрузок
    - Суммирование сил реакции
    - Значения энергии деформации
    - Максимальные перемещения

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

- Практика моделирования

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

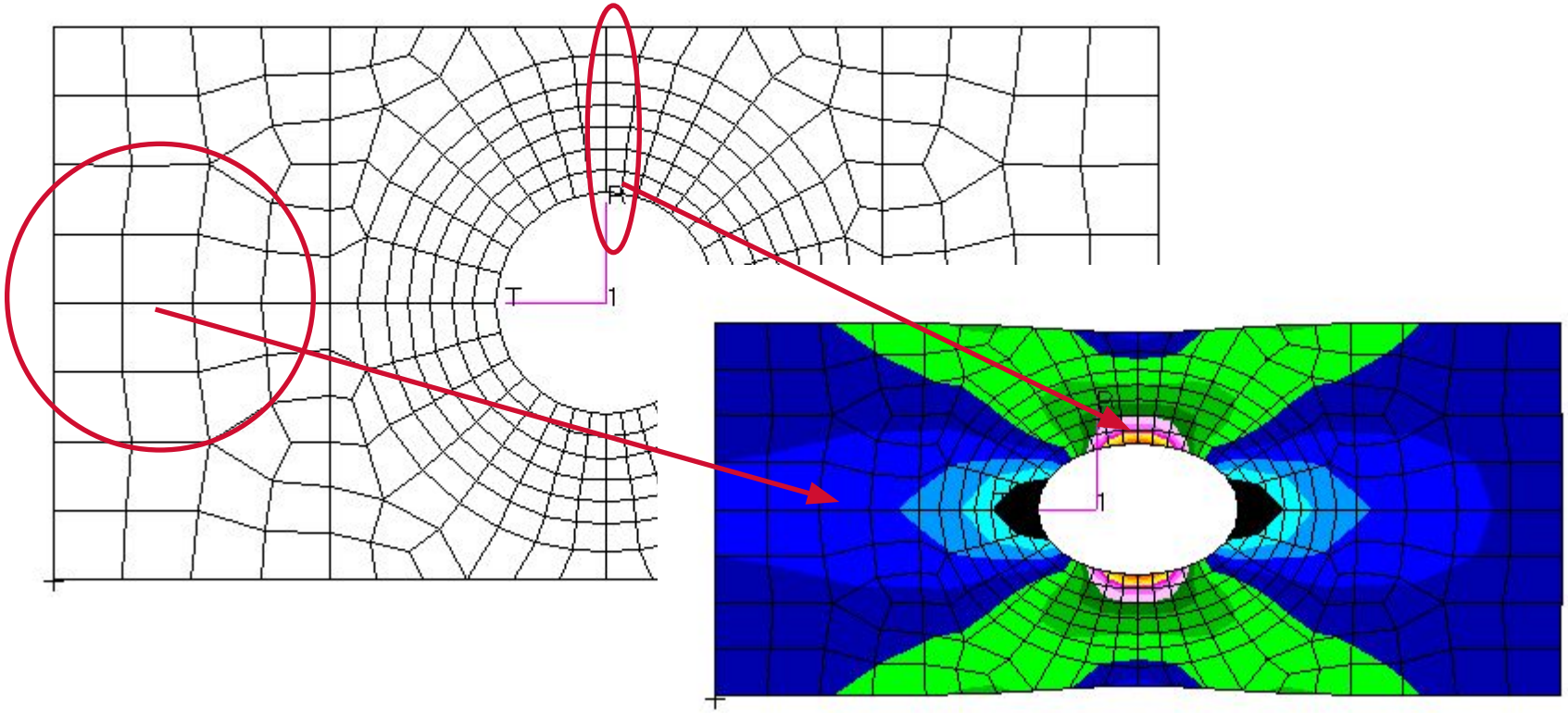
Практика моделирования

- **Основные моменты:**
  - **Плотность сетки – должна соответствовать поставленным целям**
  - **Качество сетки – должно соответствовать поставленным целям**
  - **Нагружение**
  - **Граничные условия**

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Практика моделирования (продолжение)

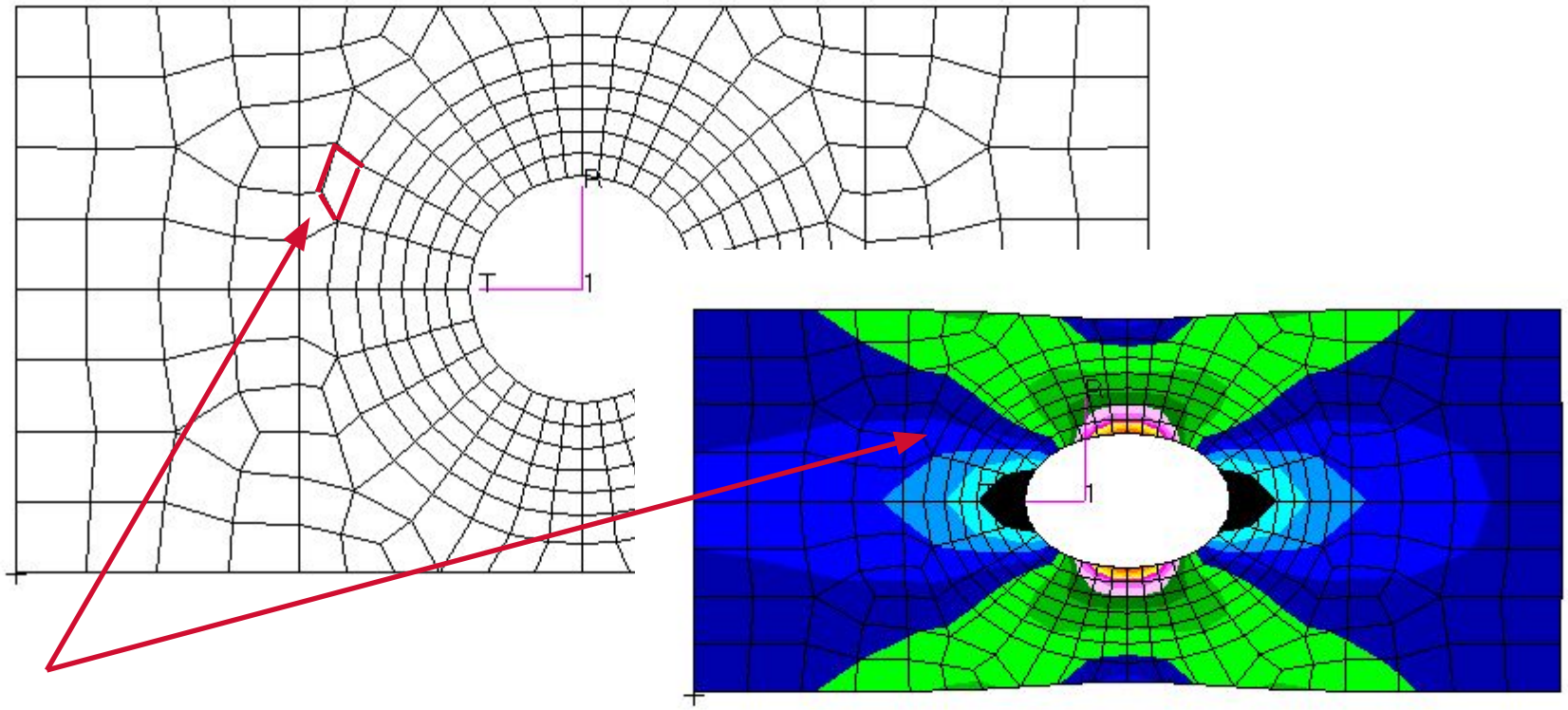
- Плотность сетки – должна соответствовать поставленным целям



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Практика моделирования (продолжение)

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



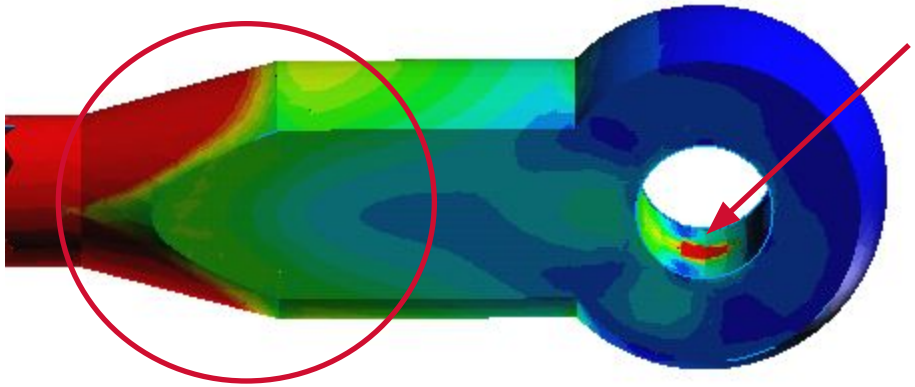
MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Практика моделирования (продолжение)

- **Нагружение**
  - **Простая сосредоточенная нагрузка?**

Хорошее локальное распределение напряжений

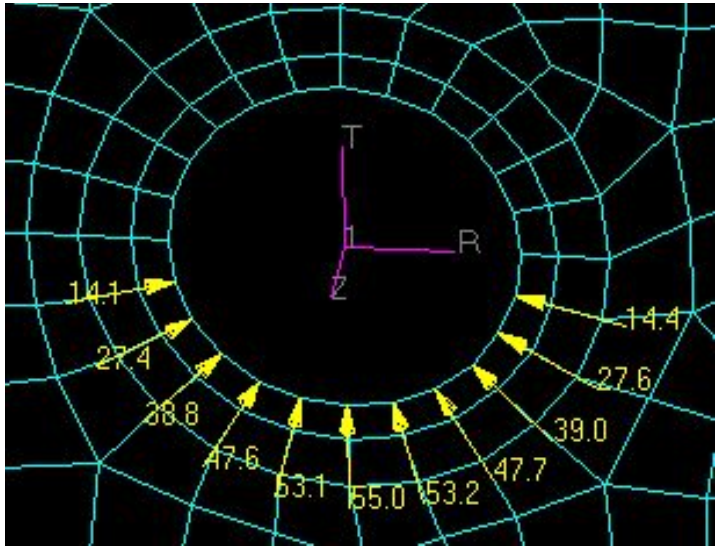
Плохое распределение напряжений

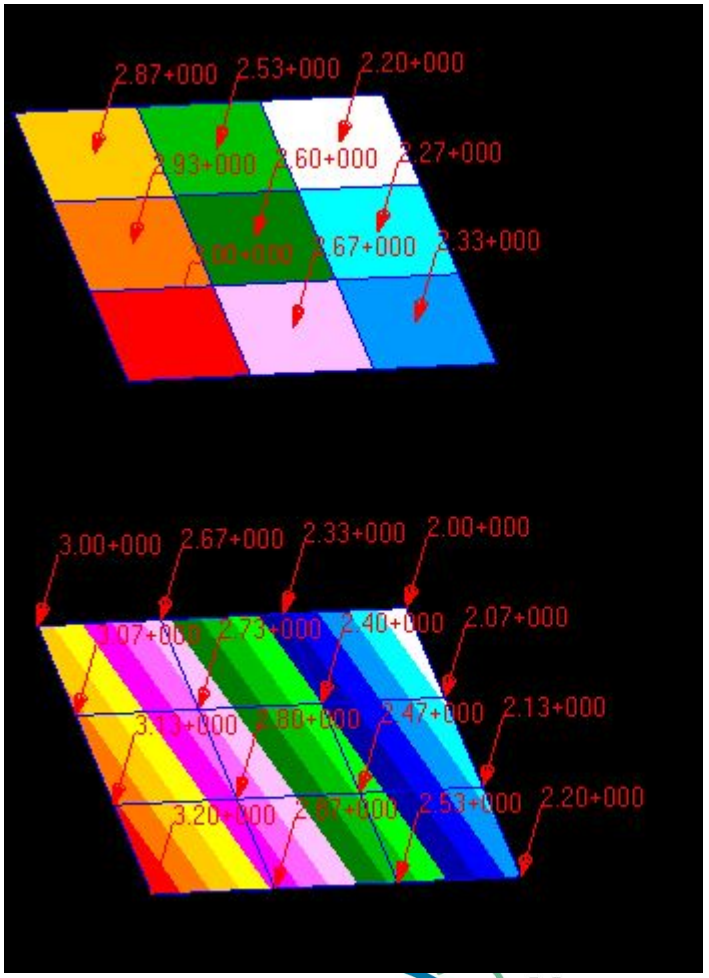


MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Практика моделирования (продолжение)

- **Нагружение**
  - **Более сложная нагрузка?**





MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

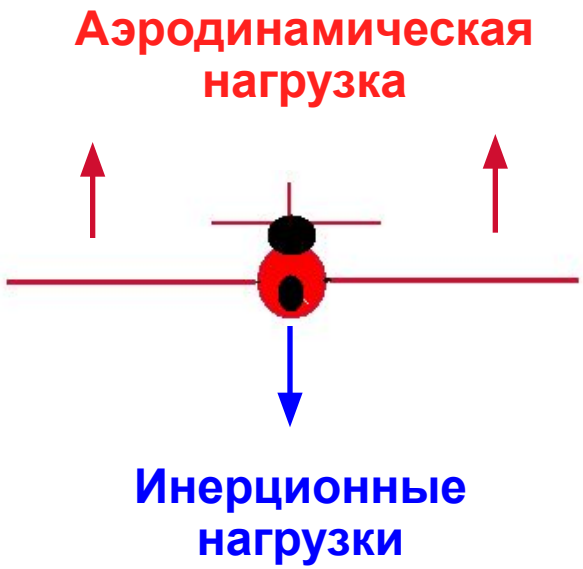
Практика моделирования (продолжение)

- **Граничные условия**
  - **Неправильное определение выходной системы координат для SPC, MPC и RIGID элементов может «испортить» модель**
  - **Чрезмерное закрепление модели может привести к большему 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.**

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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.**



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Граничные условия для группы узлов

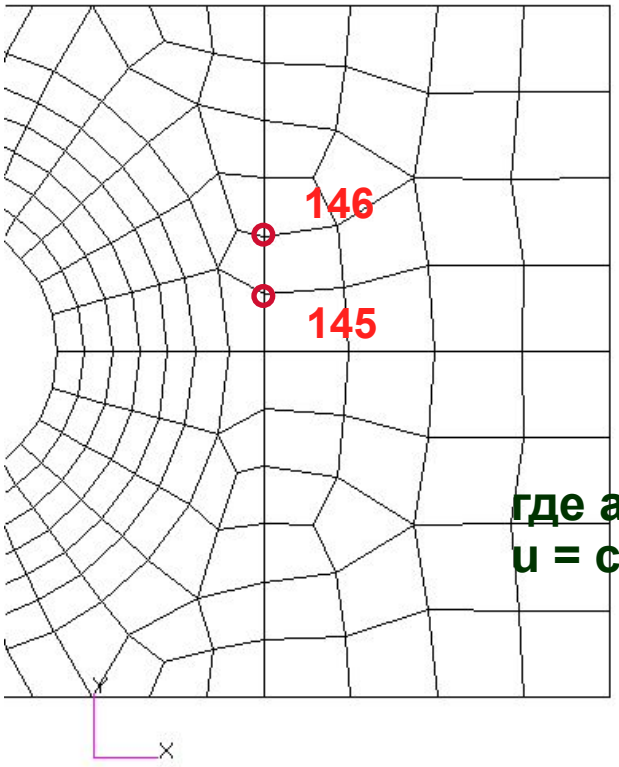
- Граничные условия для группы узлов (MPC) задаются пользователем в виде линейного уравнения, которое задает соотношения между перемещениями по степеням свободы.

- 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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Граничные условия для группы узлов (продолжение)

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



$$-1.0*Ux_{145} + 1.0*Ux_{146} = 0.0$$

$$-1.0*Uy_{145} + 1.0*Uy_{146} = 0.0$$

Общая форма записи $\Sigma\, a_i*U_i = 0.0$

где a = коэффициент,
u = степень свободы

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Граничные условия для группы узлов (продолжение)

Case Control

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

Bulk Data

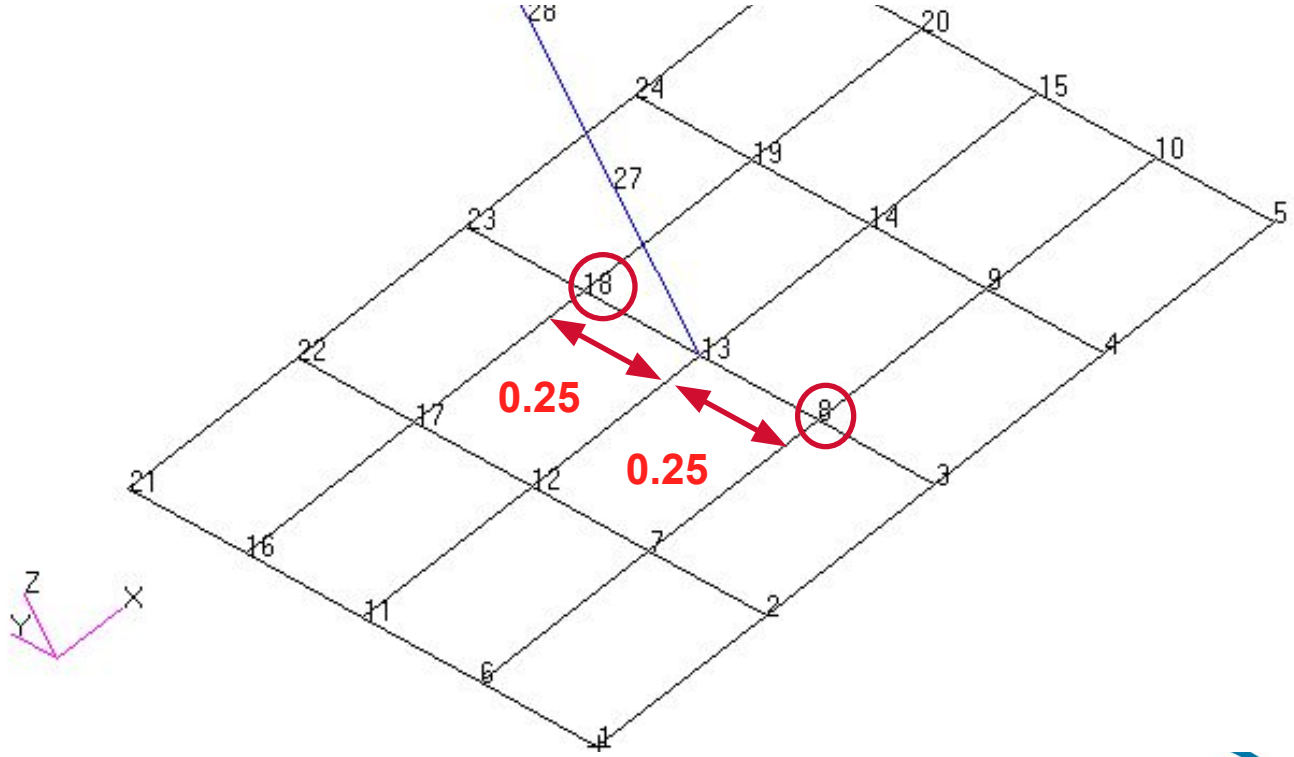
```
$      SID   GRID  DOF  A1    GRID  DOF   A2
MPC     1     145   1    -1.    146   1     1.
MPC     1     145   2    -1.    146   2     1.
```

- 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.

MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

Граничные условия для группы узлов – пример

- **Переделаем файл section5_4.bdf**
  - **Используем MPC для того, чтобы избавиться от сингулярности (ранее мы использовали SPC)**



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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 отличии от MPC, элементы R-типа не выбираются в секции CASE CONTROL. Они описываются только в секции BULK DATA следующими записями:

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

- **RSPLINE** Определяет граничное уравнение коэффициенты которого определяются перемещениями и углами наклона гибкой трубчатой балки

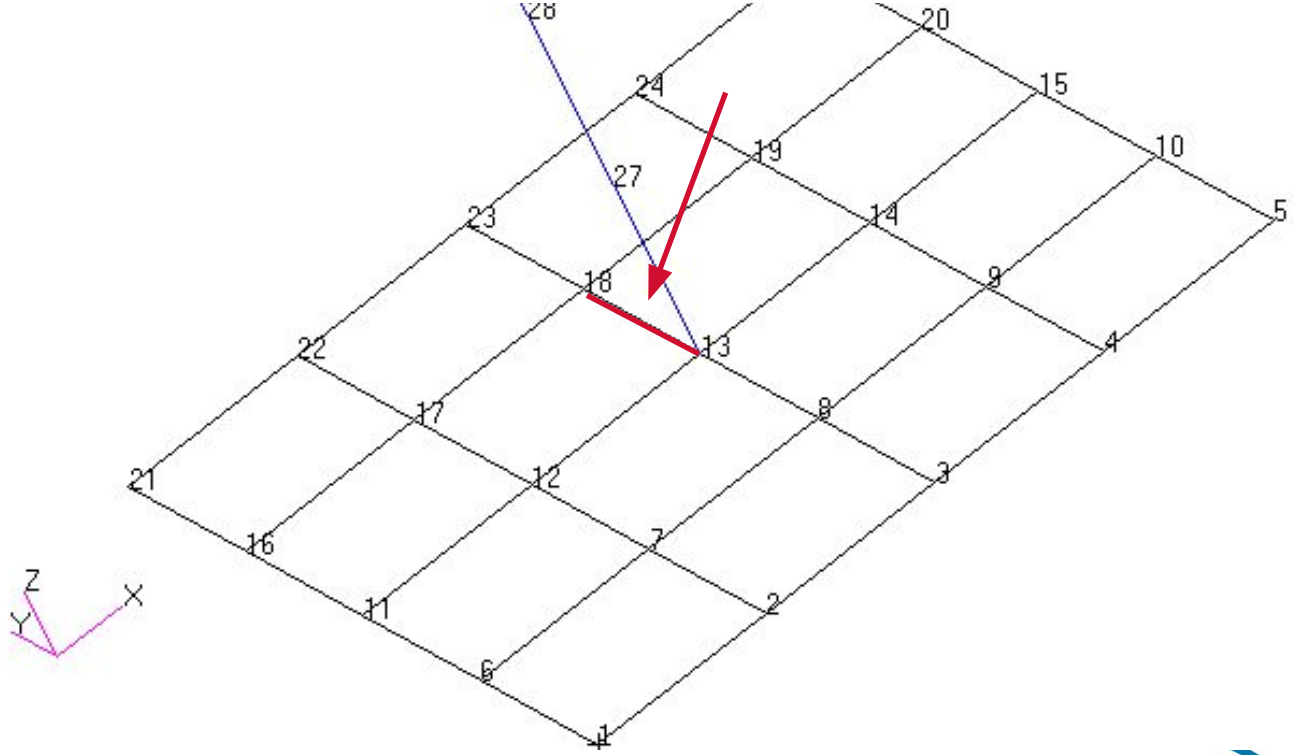
- **RSSCON** Используется для соединения Plate элементов с Solid элементами

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

- **Пример использования элемента RBAR**
  - **MPC в section5_4.bdf могут быть заменены RBAR элементом**
  - **Внутренне создается MPC-уравнение**



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

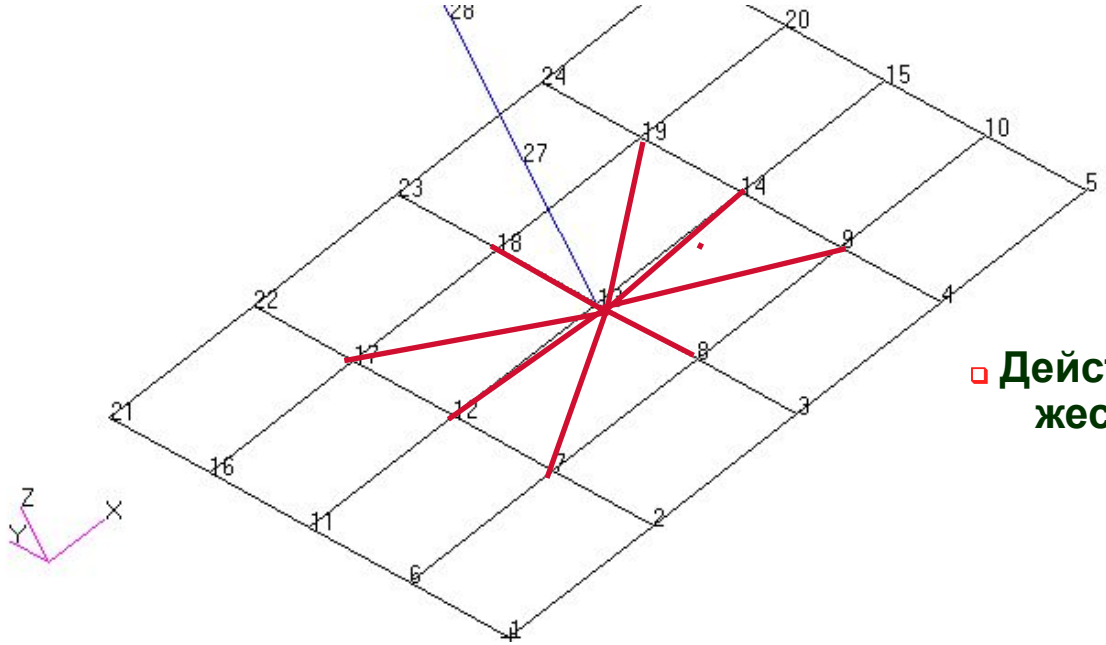
- **Пример использования элемента RBAR**
  - **RBAR является более предпочтительным чем использование элемента BEAM с искусственно завышенной жесткостью, так как у него отсутствуют побочные жесткостные эффекты**

```
$ RBAR Creation
$23456781234567812345678123456781234567812345678
$          ID        GRID1    GRID2    DOF1    DOF2
RBAR       21        13       18       123456  123456
```


MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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»**

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

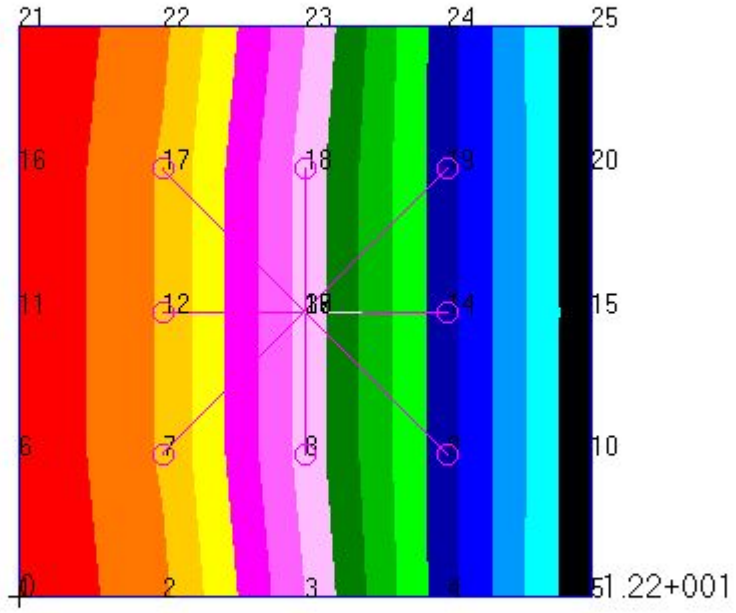
- **Пример использования элемента RBE2**
  - **Степени свободы центра «паука» являются независимыми степенями свободы**
  - **Другие степени свободы являются зависимыми и не должны иметь перекрестных связей**

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

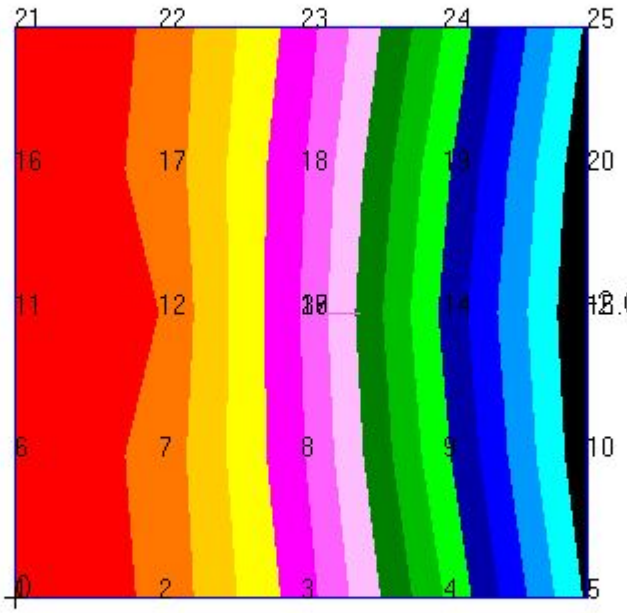
Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

- **Пример использования элемента RBE2**

RBE2 метод



SPC метод



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

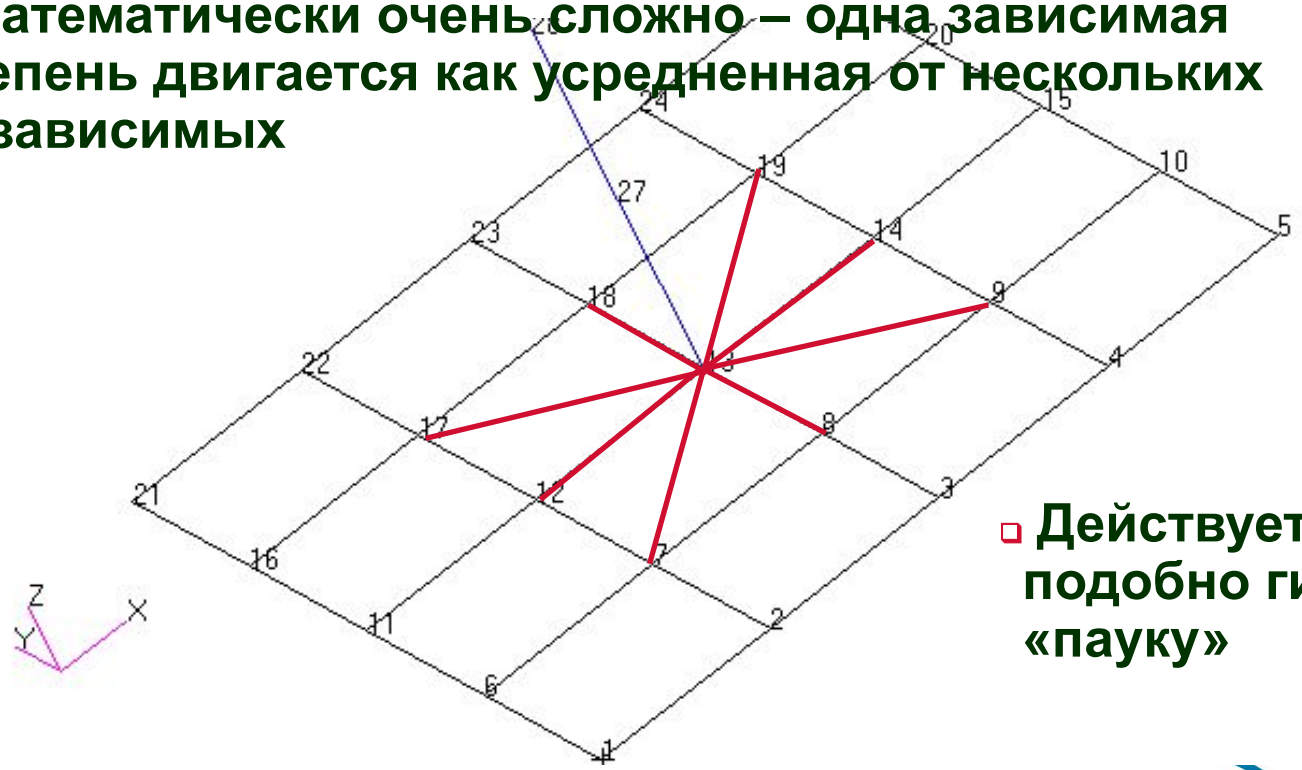
Примеры использования элемента RBE2

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Жесткие (Rigid) элементы (продолжение)

- **Пример использования элемента RBE3**
  - **MPC в section5_4.bdf могут быть заменены RBE3 элементами**
  - **Математически очень сложно – одна зависимая степень двигается как усредненная от нескольких независимых**



- **Действует подобно гибкому «пауку»**

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Жесткие элементы (пример)

- **Используйте файл section5_4.bdf**
  - **Попробуйте модифицировать его с использованием:**
    - **RBAR**
    - **RBE2**
    - **RBE3**
  - **Сравните распределение перемещений**

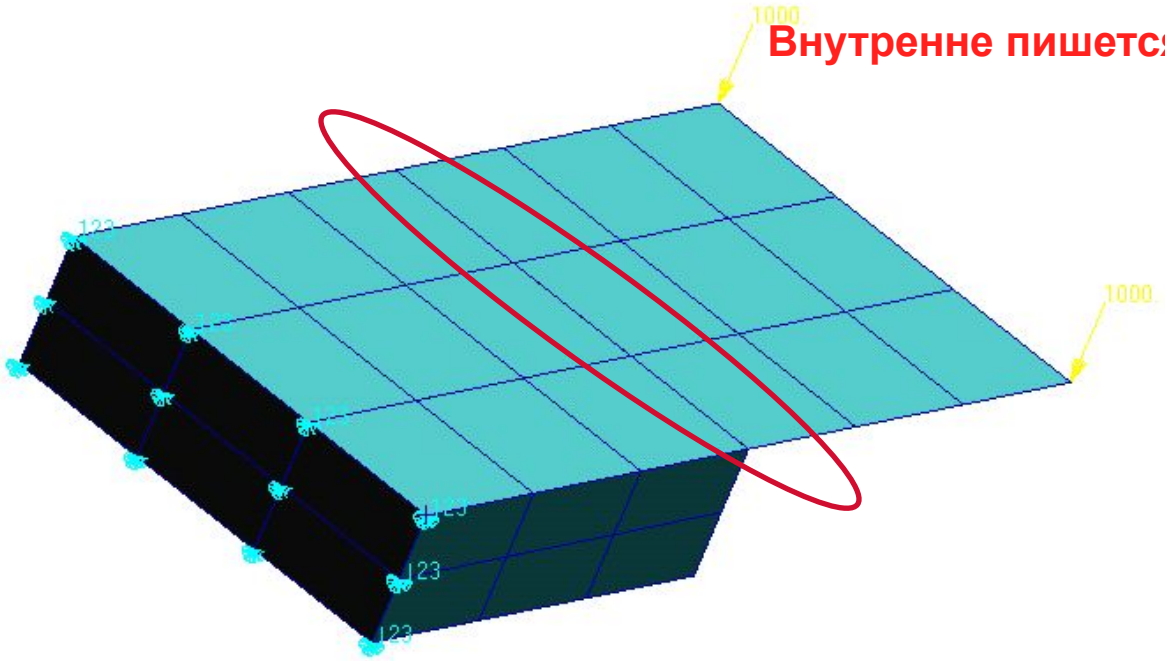
MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Жесткие элементы

- **RSSCON**

Соединение Solid элемента с Plate

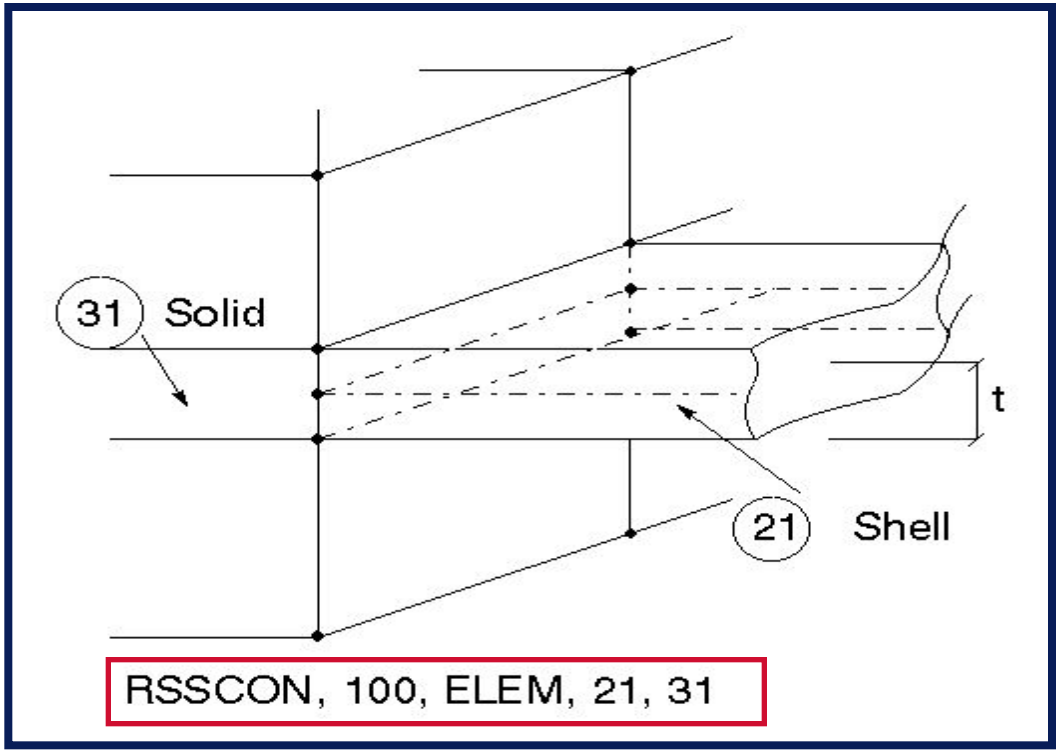
Внутренне пишется MPC



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Жесткие элементы (продолжение)

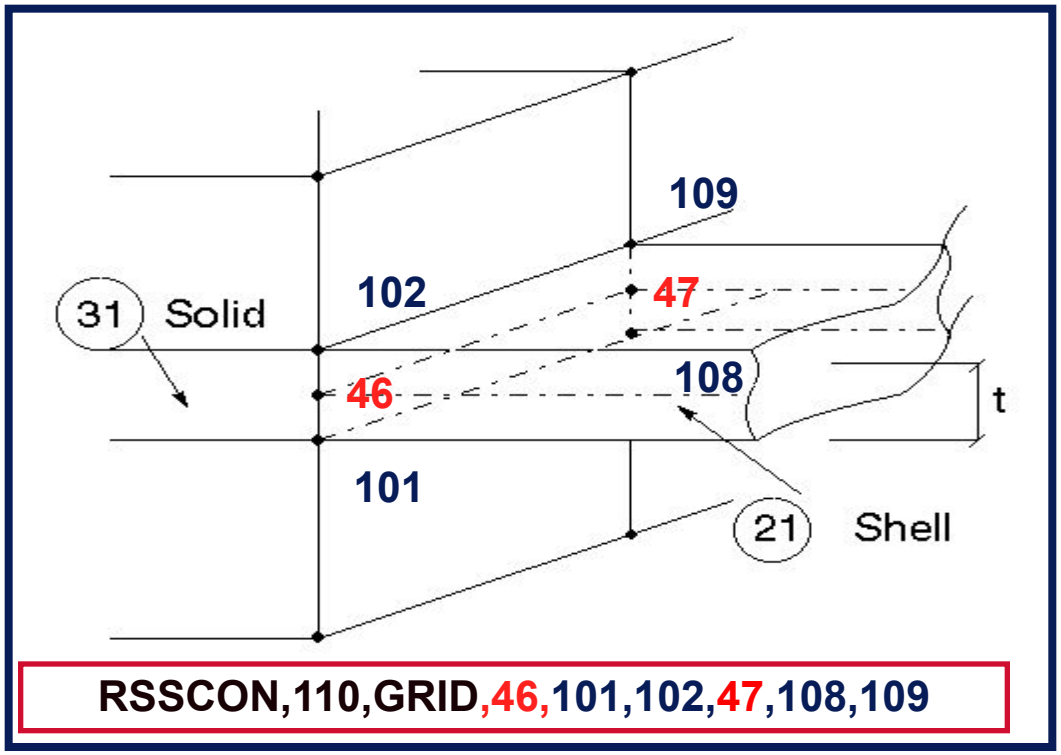
- **RSSCON – метод элементов**



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Жесткие элементы (продолжение)

- **RSSCON – метод узлов**



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Жесткие элементы (продолжение)

- **Используйте файл section5_3.bdf**
  - **Попробуйте модифицировать его с использованием:**
    - **RSSCON – узловой метод**
    - **RSSCON – метод элементов**
  - **Сравните распределение перемещений**

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Общая информация о модели

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

ELSUM

- **Формат:**

  ELSUM = I

  Где I – Номер набора или ‘ALL’

- **Ограничения:**
- **Массовые данные выводятся только для элементов CBAR, CBEAM, CBEND, CHEXA, CONROD, CPENTA, CQUAD4, CQUAD8, CQUADR, CROD, CSHEAR, CTETRA, CTRIAR, CTRIA3, CTRIAX6, CTUBE**

0

E L E M E N T P R O P E R T Y S U M M A R Y

0ELEMENT TYPE = ROD

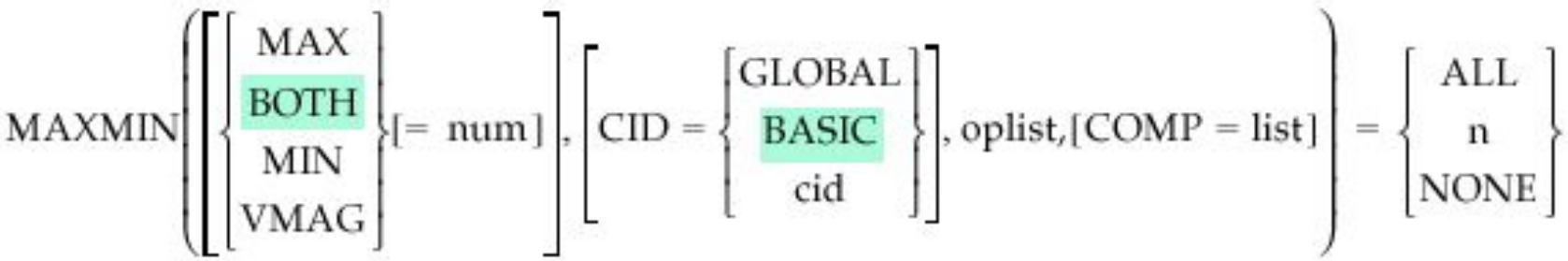
ID	MID	LENGTH	AREA	VOLUME	SM	NSM	TM	WEIGHT
401	202	1.000000E+01	6.000000E+00	6.000000E+01	4.800000E+02	5.000000E+00	4.850000E+02	4.850000E+02
402	201	1.000000E+01	4.000000E+00	4.000000E+01	1.600000E+02	8.000000E+00	1.680000E+02	1.680000E+02
403	202	1.000000E+01	6.000000E+00	6.000000E+01	4.800000E+02	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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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:



Пример:

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

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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
$
PBEAML  1       1               BAR
        1.      2.
$
MAT1    1       1.+7            .3      .1
$
ENDDATA
```

Узел 9 использует CORD2R 1 для вывода результатов

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

OLOAD OUTPUT

0

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

Перемещения для узла 9 в системе координат 1

Суммарный вектор для узла 9

Максимум по углам поворота

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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

MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

Симметрия конструкции

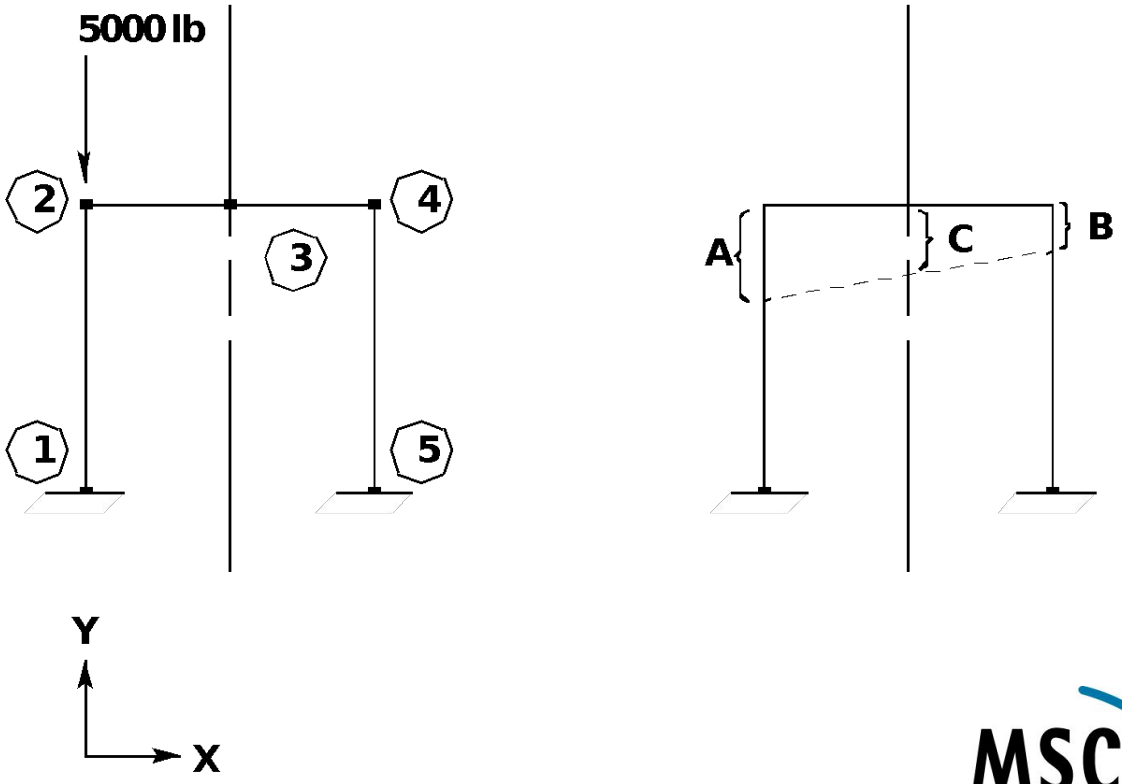
- Свойства симметрии часто могут использоваться в процессе моделирования для уменьшения ресурсов, требуемых для расчета.

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Симметрия конструкции
(продолжение)

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

Полная модель

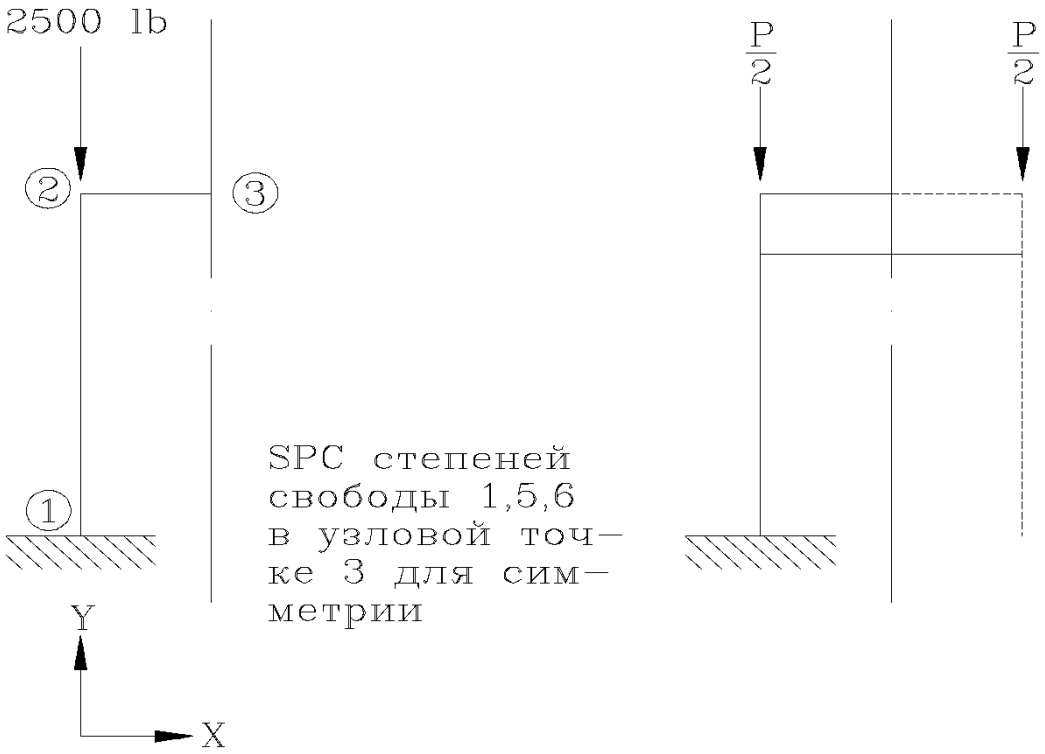


MSC Mechanical Solutions
A Division of MSC.Software

Симметрия конструкции (продолжение)

Симметричная модель

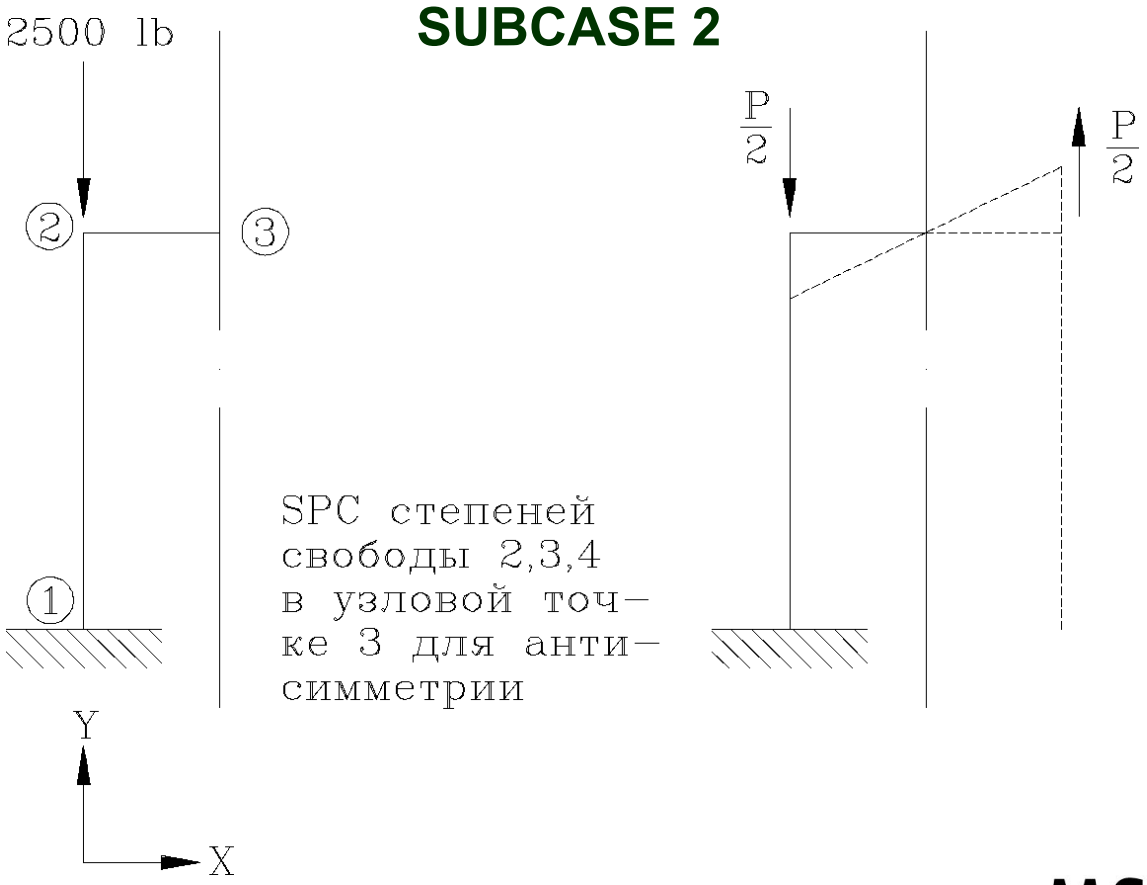
SUBCASE 1



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Симметрия конструкции (продолжение)

Антисимметрия



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

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
    $
```


MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Симметрия конструкции (продолжение)

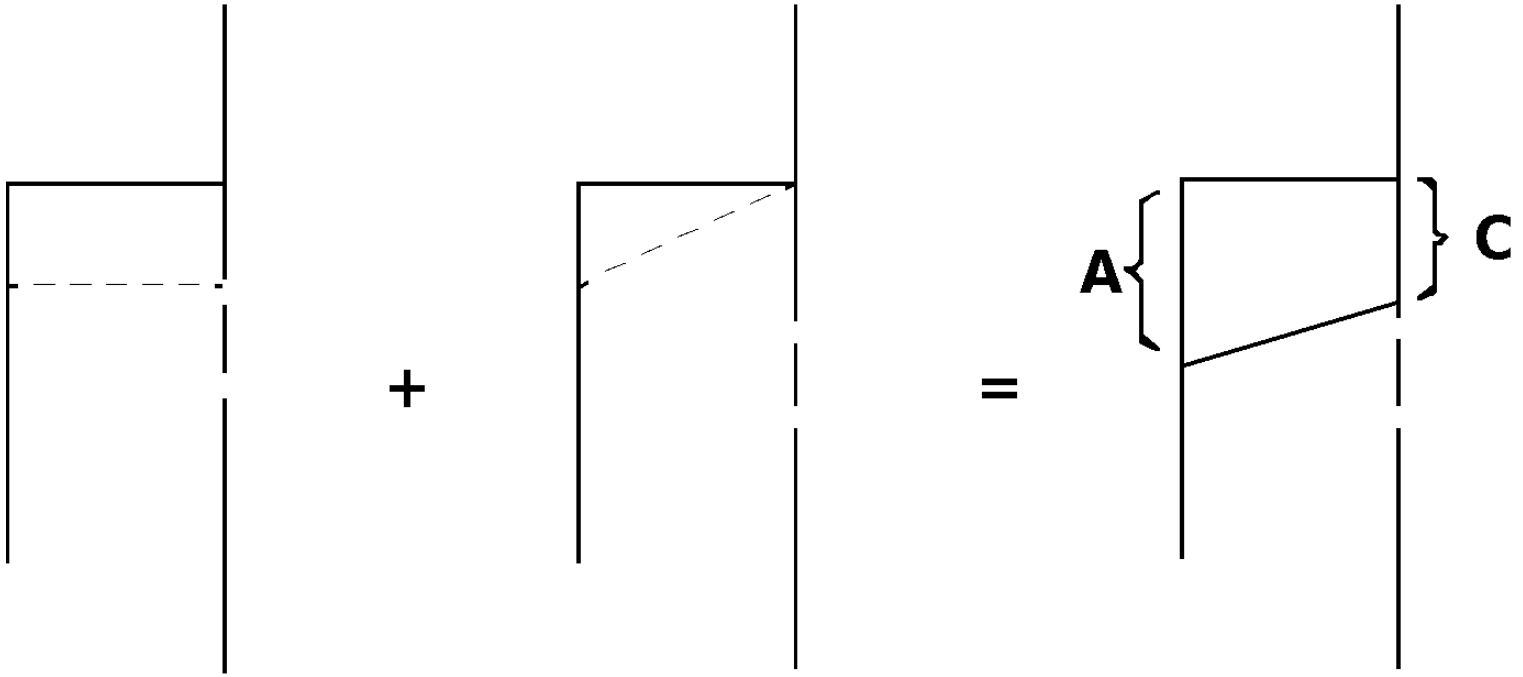
Входной файл MSC/NASTRAN (продолжение)

```
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
```


MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Симметрия конструкции (продолжение)

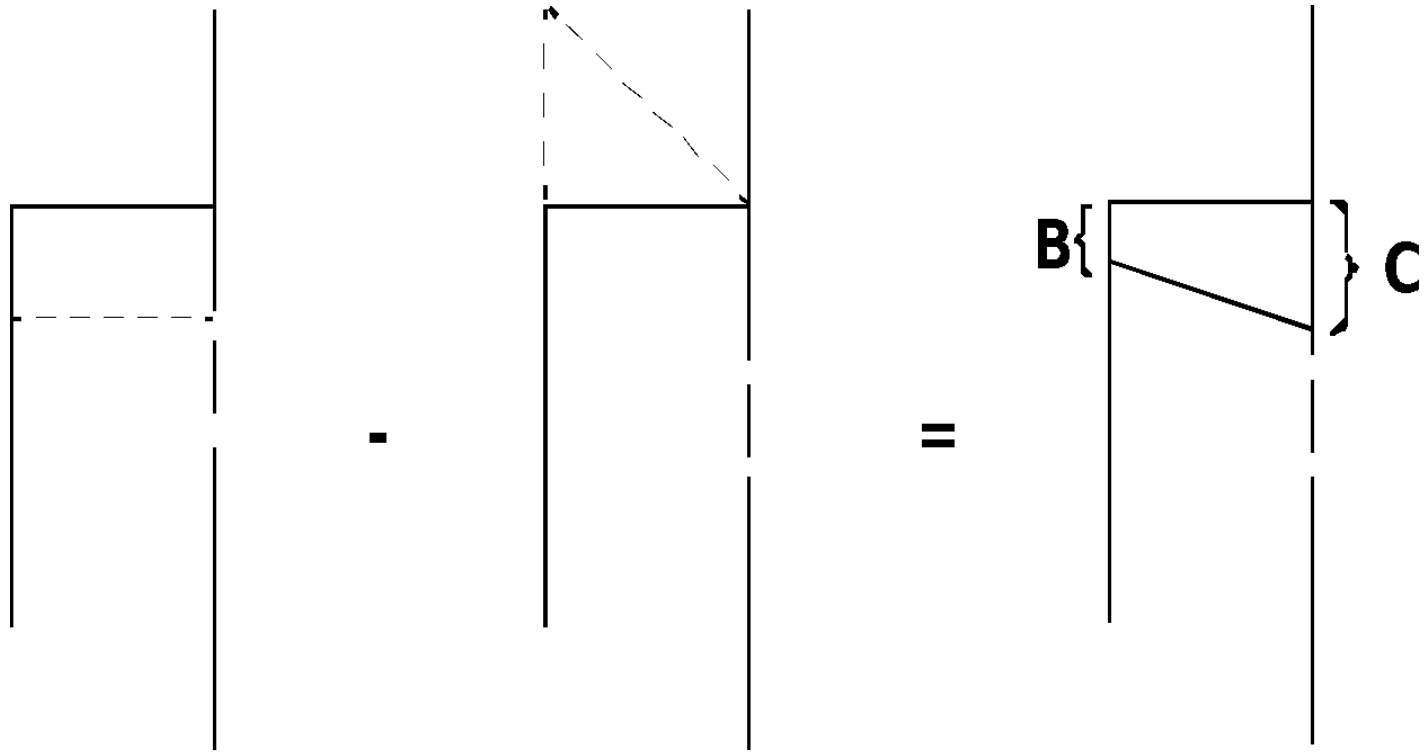
- SUBCOM 3 рассчитывает перемещения левой части модели.



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Симметрия конструкции (продолжение)

- SUBCOM 4 рассчитывает перемещения правой части модели.

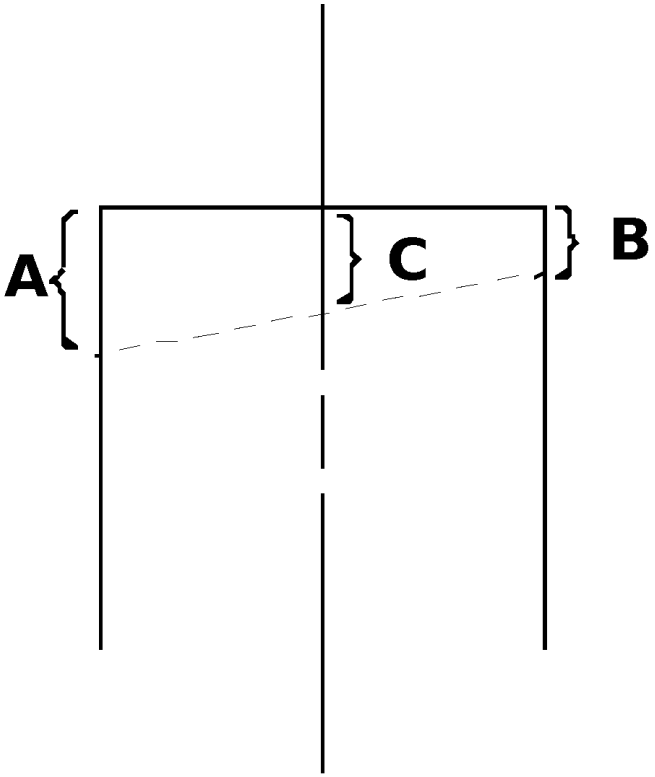


SUBCASE 1 - SUBCASE 2 = SUBCOM 4

MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software

Симметрия конструкции (продолжение)

- **SUBCOM 3 и SUBCOM 4 представляют полную модель.**



MSC MECHANICAL SOLUTIONS
A Division of MSC.Software