

# ***Суперэлементы в MSC.Nastran - 2004***

***С.А. Сергеевский  
MSC.Software Corporation***

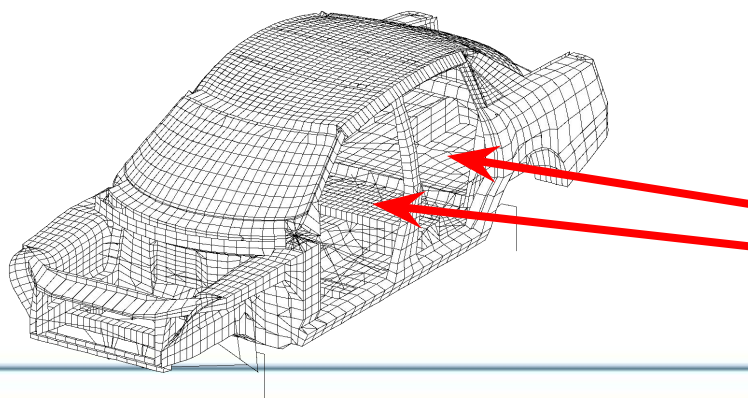
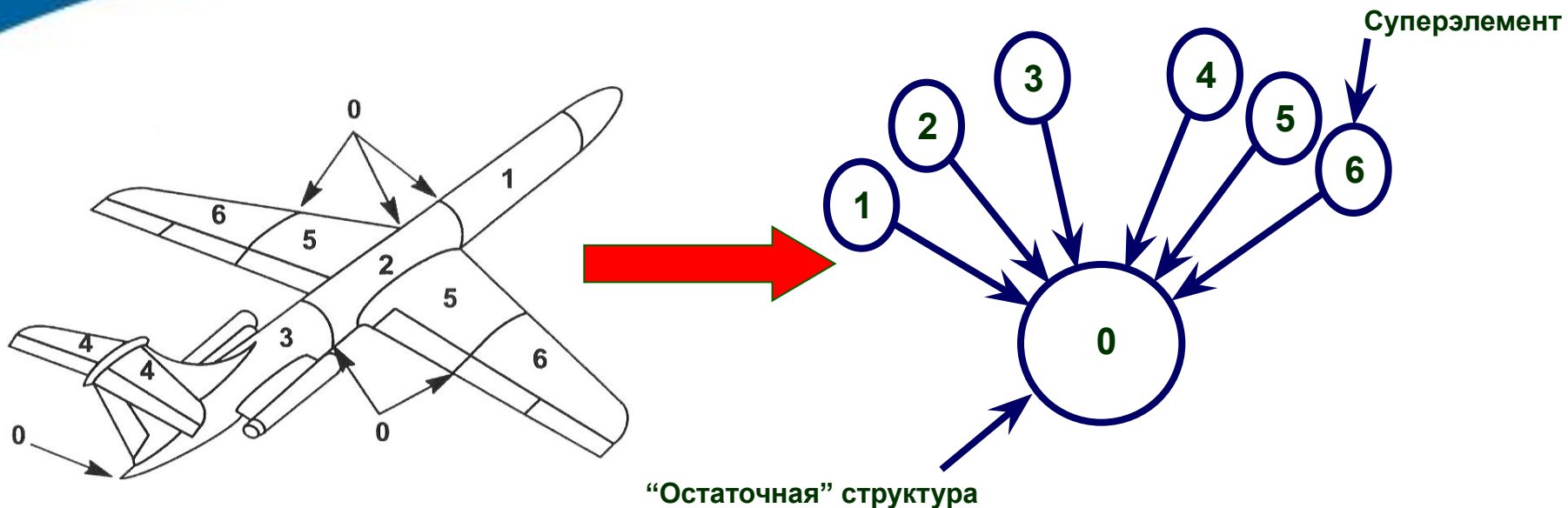
# MSC.Nastran: Метод суперэлементов

- **Использование метода суперэлементов MSC.Nastran:**
  - Решение больших задач на ЭВМ с ограниченными ресурсами
  - Обеспечение конфиденциальности разработок

# Идея метода суперэлементов

- ❑ Конструкция разделяется на подконструкции – суперэлементы (СЭ)
- ❑ Каждый суперэлемент обрабатывается отдельно
- ❑ Узлы на границах суперэлементов включаются в “остаточную” структуру (нулевой суперэлемент)
- ❑ Уравнения “остаточной” структуры решаются с учётом матриц масс, демпфирования и жёсткости суперэлементов, “присоединённых” к граничным узлам

# Идея метода суперэлементов



**Отдельные компоненты модели (например, люки, двери) могут представляться в виде суперэлементов, характеристики которых получают экспериментально**

# Что дает использование суперэлементов

## □ Преимущества:

- Возможность решения очень больших задач
- Эффективное взаимодействие предприятий-партнёров
- Эффективное моделирование повторяющихся компонентов конструкции
- Сокращение затрат времени на выполнение “вариантных” расчетов
- Возможность глобально-локального анализа

## □ Недостатки:

- Необходимость затрат времени на дополнительные вычисления (заметно на небольших задачах)
- Все суперэлементы должны быть линейными
- Приблизительный характер динамических расчетов (погрешность оцениваема и “управляема”)
- Использование предполагает “разумный” подход квалифицированного пользователя

# Суперэлементы – редуцирование модели

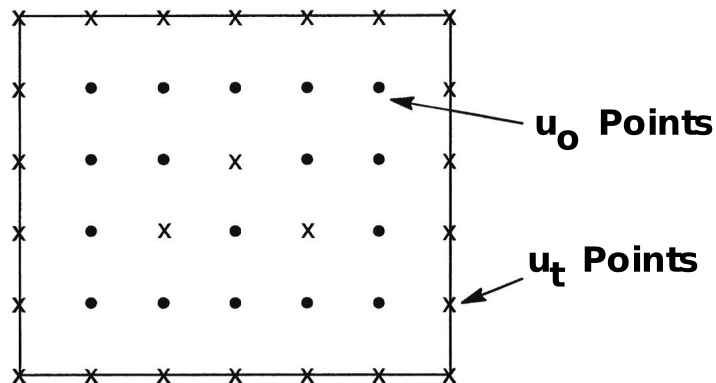
## □ Статическое и динамическое редуцирование

### ▪ Статическое редуцирование:

$$[G_{oa}]\{u_a\} = \{u_o\}$$

– внутренние динамические эффекты суперэлемента игнорируются

### ▪ Динамическое редуцирование (в дополнение к статическому редуцированию) – учёт внутренних динамических эффектов суперэлемента



$$\{u_o\} = [G_{ot} | G_{oq}] \begin{Bmatrix} u_t \\ u_q \end{Bmatrix}$$

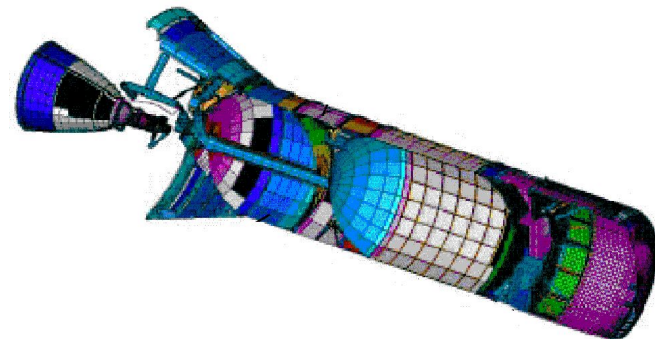
– метод Крейга-Бамптона

# Метод Крейга-Бамптона

- ❑ Степени свободы СЭ: внешние (перемещения граничных узлов) и внутренние (формы колебаний)
- ❑ Внешним степеням свободы соответствуют “статические” моды деформации
- ❑ Внутренним степеням свободы соответствуют моды собственных колебаний, вычисленные при закрепленных граничных узлах
- ❑ Вычисленные моды (“статические” моды и моды собственных колебаний) используются при динамическом анализе
- ❑ Размерность вектора  $q$  – регулятор точности модели

# Использование метода Крейга-Бамптона

- ❑ Метод Крейга-Бамптона широко используется при разработке сложных изделий, содержащих коммерческую конфиденциальную информацию и государственную тайну (в том числе, в международных проектах)





# Метод Крейга-Бамптона в MSC.Nastran

- ❑ **Реализация метода Крейга-Бамптона в MSC.Nastran**
  - Специальные alter'ы, дополняющие “стандартный” MSC.Nastran
  - Суперэлементы Part с “ручным” формированием файла для подключения суперэлемента к “остаточной” структуре – доступны начиная с MSC.Nastran версия 70
  - Суперэлементы Part с “полуавтоматическим” формированием файла для подключения суперэлемента к “остаточной” структуре – доступны начиная с MSC.Nastran версия 2004

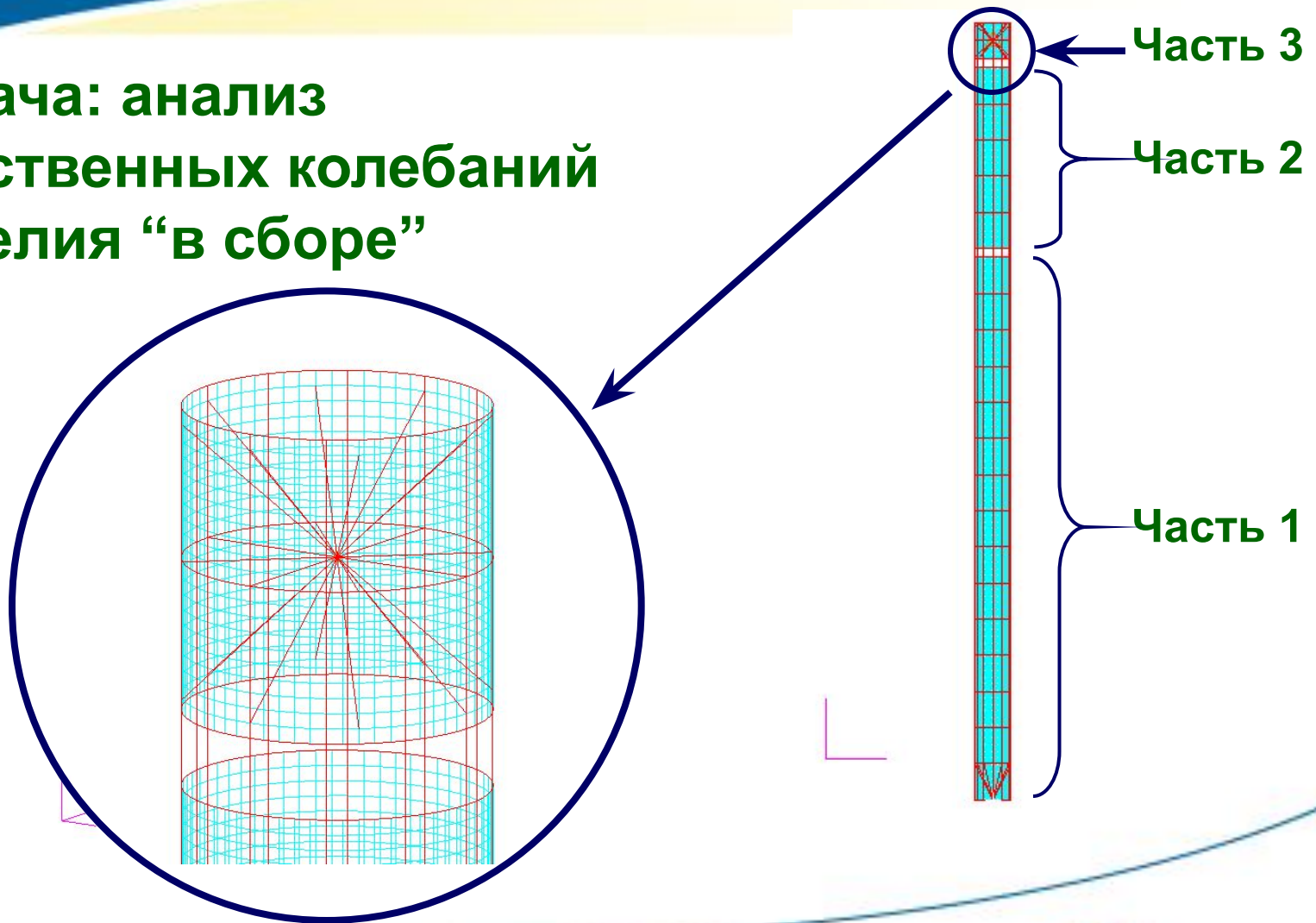
# Формат суперэлементов

- ❑ В MSC.Nastran начиная с v2004 доступны следующие форматы представления суперэлементов:
  - MATRIXDB – формат базы данных MSC.Patran
  - DMIGDB – аналог MATRIXDB с модификацией представления граничных матриц
  - DMIGOP2 – формат OP2
  - DMIGPCH – граничные матрицы выводятся в файл *.pch* в виде операторов DMIG

# **Пример анализа собственных колебаний модели с применением технологии суперэлементов**

# Модель

- ❑ **Задача: анализ собственных колебаний изделия “в сборе”**



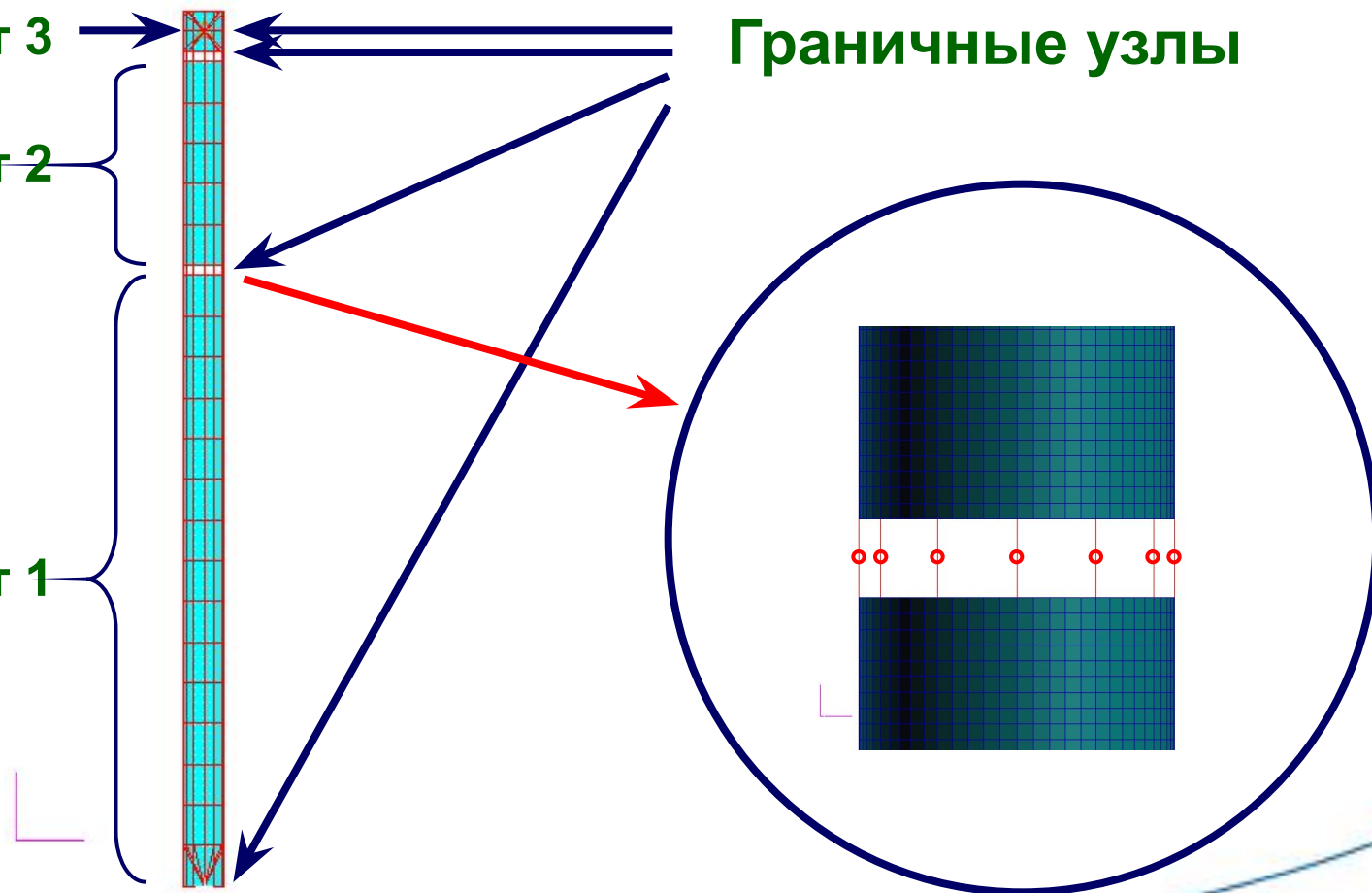
# Суперэлементы

Суперэлемент 3

Суперэлемент 2

Суперэлемент 1

Граничные узлы



# Шаг 1 – редуцирование суперэлемента

## □ Входной файл MSC.Nastran

```
SOL 103  
CEND  
SET 1 = 40001 THRU 40012  
SET 2 = 19001,19011 THRU 19022  
SUBCASE 1  
  METHOD = 1  
  VECTOR(SORT1,REAL)=2  
EXTSEOUT(ASMBULK,EXTID=1,DMIGPCH)  
BEGIN BULK  
PARAM  AUTOSPC YES  
PARAM  GRDPNT 0  
EIGRL  1      4.  
$ Description of the model  
PBAR  .....  
CBAR  .....  
PSHELL .....  
CQUAD .....  
PLOTTEL .....  
MAT1  .....  
GRID  .....  
.....  
$ Superelement  
SPOINT,100001,THRU,100040 |  
QSET1,0,100001,THRU,100040 |  
ASET1,123456,19001,THRU,19022  
ENDDATA
```

Суперэлемент 1,  
вывод – файл *.pch*

Диапазон учитываемых  
частот собственных  
колебаний – до 4 Гц

“Резерв” размерности  
вектора  $Q$  - 40

Граничные узлы и их  
степени свободы

# Шаг 1 – редуцирование суперэлемента

## □ Результаты расчёта:

- Файл *.pch* (или *.or2* или *.db*) – редуцированные матрицы суперэлемента
- Файл *.asm* – “заготовка” для подготовки входного файла MSC.Nastran для последующего расчёта изделия “в сборе”

```
SEBULK      1 PRIMARY      MANUAL
SECONCT     1  0          NO
 19001 19001 19011 19011 19012 19012 19013 19013
 19014 19014 19015 19015 19016 19016 19017 19017
 19018 19018 19019 19019 19020 19020 19021 19021
 19022 19022
$ BOUNDARY GRID DATA
GRID 19001    0.  0.  0.
.....
.....
```

“Заготовка” оператора для подсоединения СЭ к “остаточной” структуре

Описание граничных точек суперэлемента

# Шаг 2 – расчёт изделия в сборе

## □ Входной файл MSC.Nastran

```
SOL 103
CEND
SUBCASE 1
  SUPER = 1
  METHOD = 1
  K2GG = KAAX
  M2GG = MAAX
SUBCASE 2
  SUPER = 2
  METHOD = 1
  K2GG = KAAX
  M2GG = MAAX
SUBCASE 3
  SUPER = 3
  METHOD = 3
  K2GG = KAAX
  M2GG = MAAX
SUBCASE 10
  METHOD = 10
  VECTOR(SORT1,REAL)=ALL
```

Ввод матриц суперэлемента 1

Ввод матриц суперэлемента 2

Ввод матриц суперэлемента 3

Расчёт для “остаточной”  
структуры



# Шаг 2 – расчёт изделия в сборе

## ❑ Входной файл MSC.Nastran (продолжение)

```
BEGIN BULK
PARAM AUTOSPC YES
PARAM,POST,-1
EIGRL 10 2.
$ Description of residual structure
PLOTTEL .....
GRID .....
.....
$ Description of connectivity between
$ superelements and residual structure
INCLUDE 'n_01.asm'
INCLUDE 'n_02.asm'
INCLUDE 'n_03.asm'
$ Superelement 1
INCLUDE 'n_01.pch'
$ Superelement 2
INCLUDE 'n_02.pch'
$ Superelement 3
INCLUDE 'n_03.pch'
ENDDATA
```

Интересуемся частотами в диапазоне до 2 Гц

Описание сопряжения суперэлементов с “остаточной” структурой

“Подключение” файлов с граничными матрицами суперэлементов

# Результаты расчёта

## ❑ Без деления модели на суперэлементы

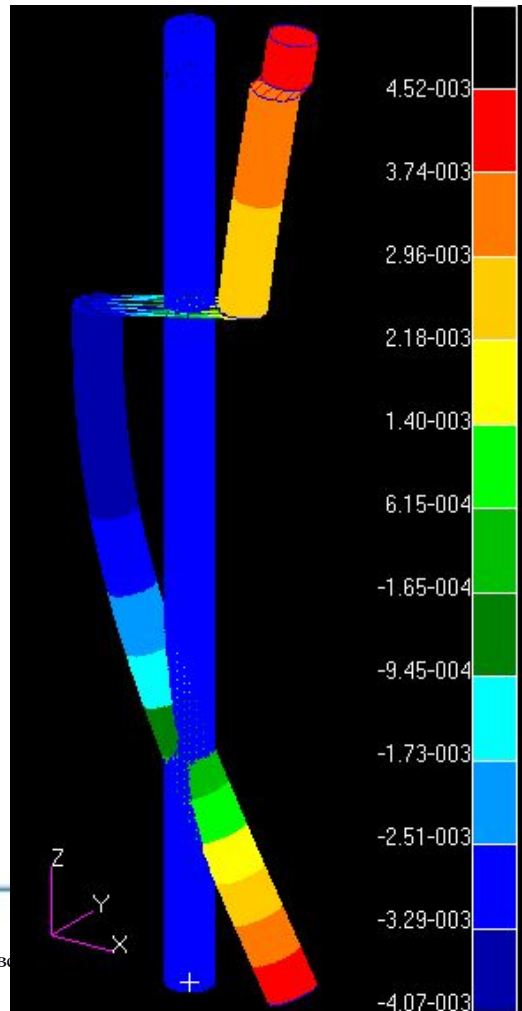
1. 6.983073E-01
2. 7.354412E-01
3. 7.403246E-01
4. 8.533084E-01
5. 8.533233E-01
6. 8.576912E-01
7. 9.583896E-01
8. 9.583901E-01
9. 9.782804E-01
10. 9.893590E-01
11. 1.370908E+00
12. 1.387318E+00
13. 1.966427E+00
14. 1.966994E+00

## ❑ С использованием суперэлементов

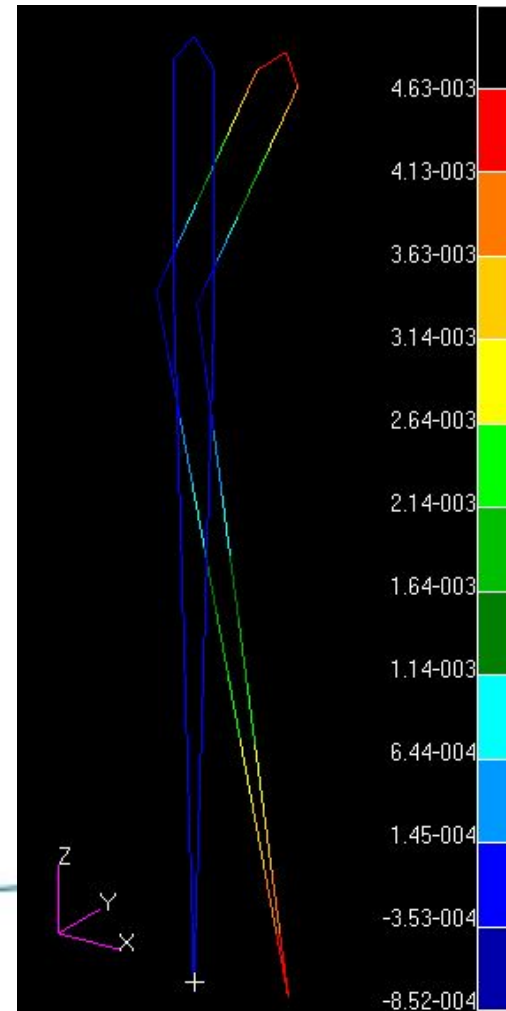
1. 6.983073E-01
2. 7.356633E-01
3. 7.405441E-01
4. 8.533084E-01
5. 8.533233E-01
6. 8.576912E-01
7. 9.583898E-01
8. 9.583902E-01
9. 9.785060E-01
10. 9.895640E-01
11. 1.372427E+00
12. 1.388882E+00
13. 1.967998E+00
14. 1.968606E+00

# Результаты расчёта

- ❑ Без деления модели на суперэлементы



- ❑ С использованием суперэлементов



# Эффективность метода суперэлементов

## ❑ Анализ влияния характеристик опор двигателя на вибрации автомобиля

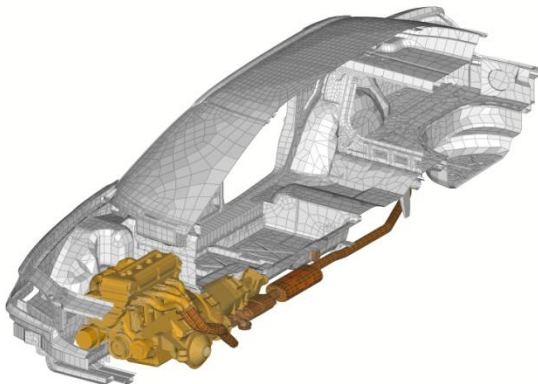


Рис. 1. КЭМ автомобиля ГАЗ-3103 "Волга"



- ❑ Полная КЭ модель автомобиля: более сотни тысяч узлов
- ❑ Время расчета – *десятки часов*

- ❑ Редуцированная КЭ модель автомобиля: сотни узлов. По сути, моделируются только опоры двигателя и места расположения пассажиров ("чувствительных элементов"), остальные узлы – только для визуализации колебаний
- ❑ Время расчета – *десятки секунд*

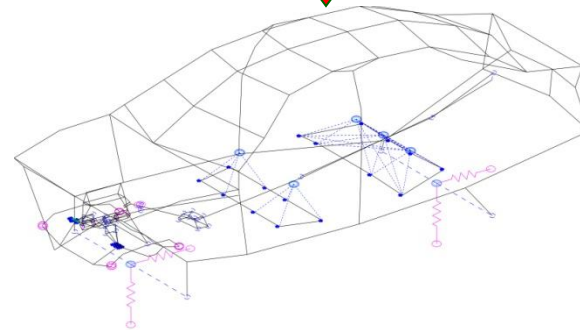


Рис. 2. Динамическая редуцированная модель ГАЗ-3103