Суперэлементы в MSC.Nastran - 2004

С.А. Сергиевский
MSC.Software Corporation

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

MSC.Nastran: Метод суперэлементов

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

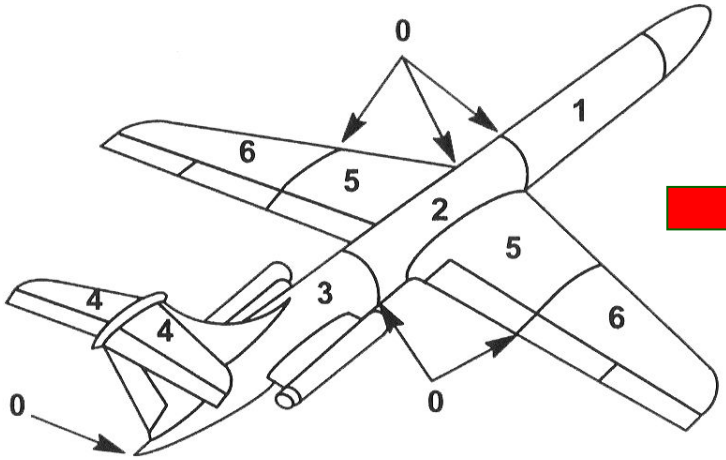
MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

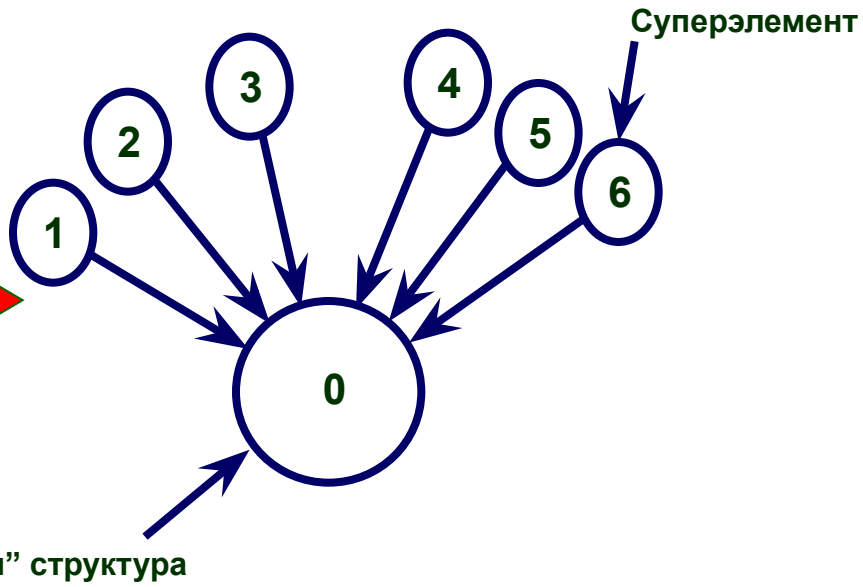
Идея метода суперэлементов

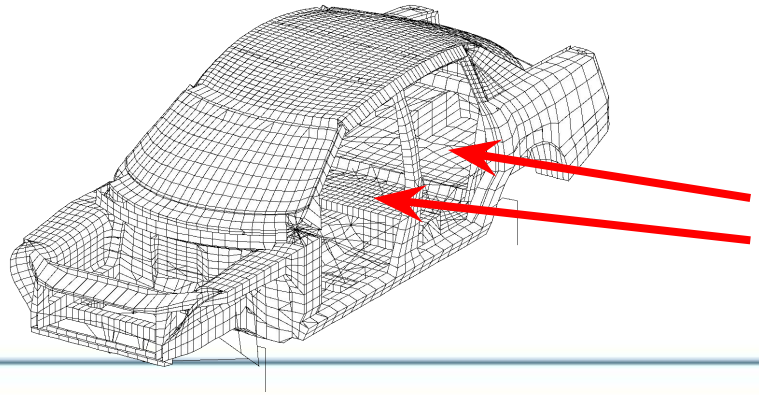
- Конструкция разделяется на подконструкции – суперэлементы (СЭ)
- Каждый суперэлемент обрабатывается отдельно
- Узлы на границах суперэлементов включаются в “остаточную” структуру (нулевой суперэлемент)
- Уравнения “остаточной” структуры решаются с учётом матриц масс, демпфирования и жёсткости суперэлементов,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

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

Идея метода суперэлементов







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

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

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

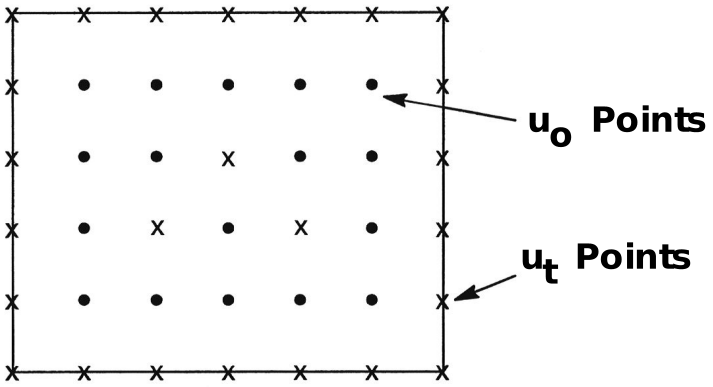
MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

Суперэлементы – *редуцирование* модели

- ***Статическое* и *динамическое* редуцирование**
  - **Статическое редуцирование:**

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

    - **внутренние динамические эффекты суперэлемента игнорируются**
  - **Динамическое редуцирование (<u>в дополнение</u> к статическому редуцированию) – учёт внутренних динамических эффектов суперэлемента**



$$\{u_o\} = \left[G_{ot} \middle| G_{oq}\right]\left\{\frac{u_t}{u_q}\right\}$$

    - ***метод Крейга-Бамптона***

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

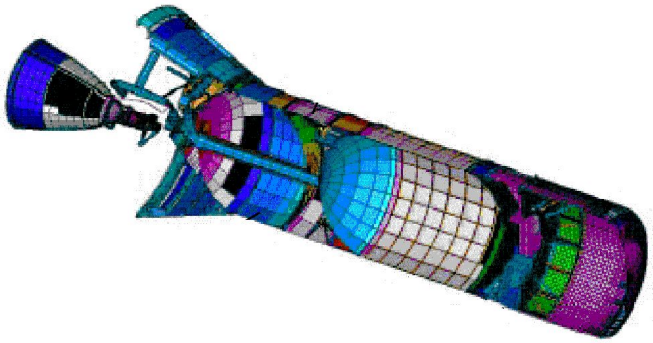
Метод Крейга-Бамптона

- 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

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

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)**



MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

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**

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

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**

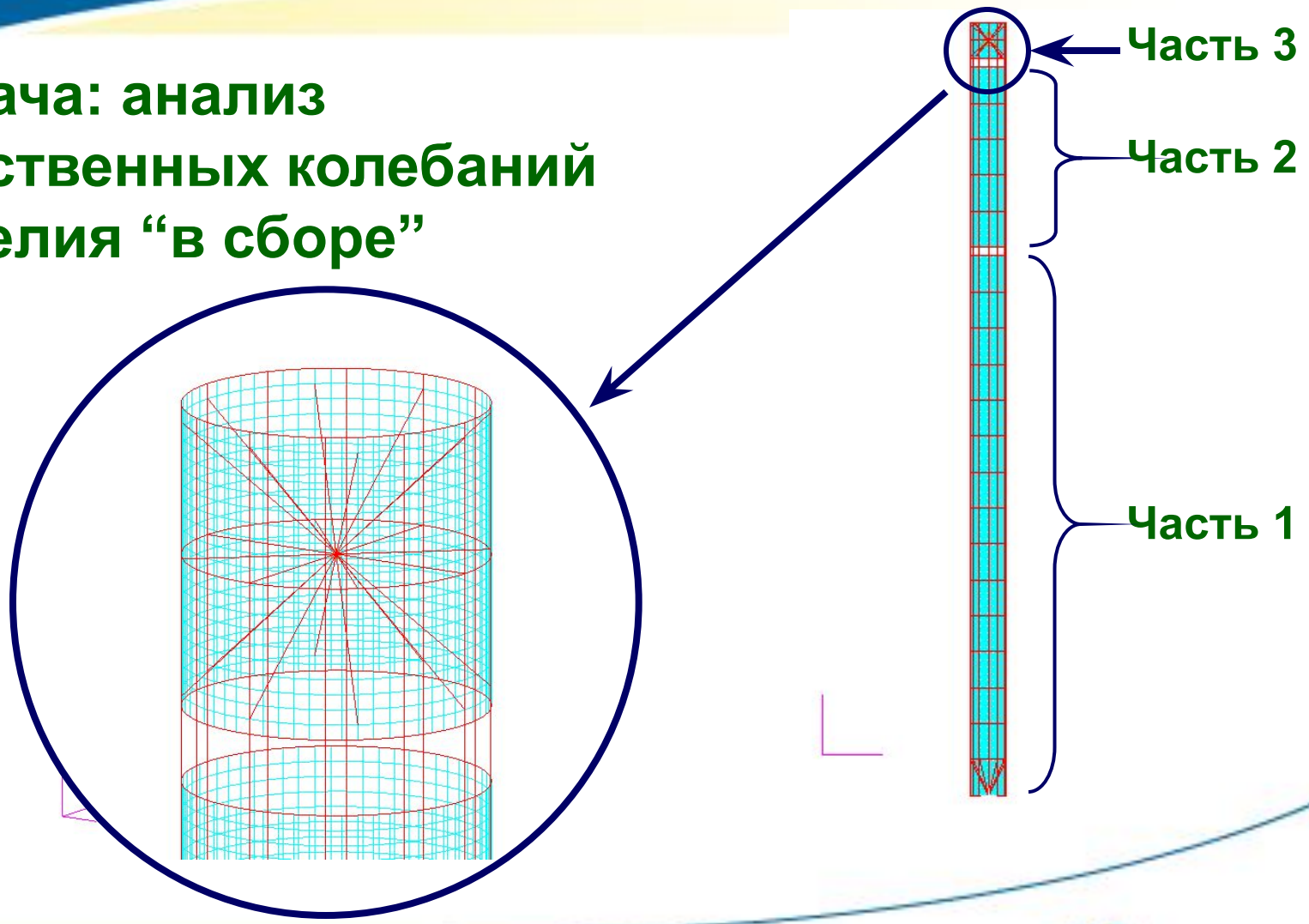
MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

Пример
анализа собственных колебаний модели с применением технологии суперэлементов

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

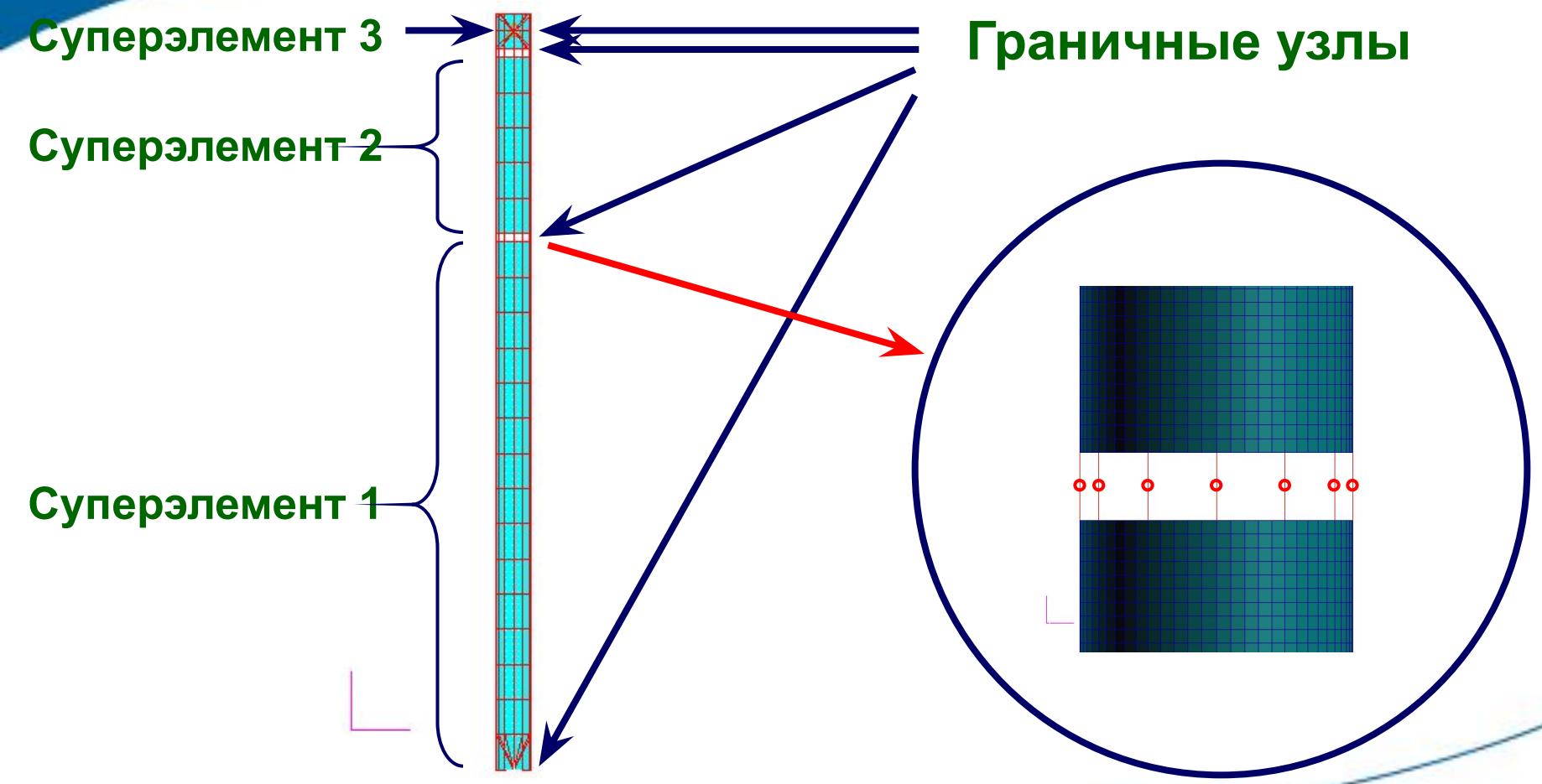
Модель

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



MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

Суперэлементы



MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

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  ..............
PLOTEL ..............
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

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

Шаг 1 – редуцирование суперэлемента

- **Результаты расчёта:**
  - Файл *.pch* (или *.op2* 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

MSC SOFTWARE SIMULATING REALITY

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

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

Шаг 2 – расчёт изделия в сборе

- **Входной файл MSC.Nastran (продолжение)**

```
BEGIN BULK
PARAM    AUTOSPC YES
PARAM,POST,-1
EIGRL    10          2.
$ Description of residial structure
PLOTEL   ...............
GRID     ...............
.......................
$ Description of connectivity between
$ superelements and residial 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

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

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

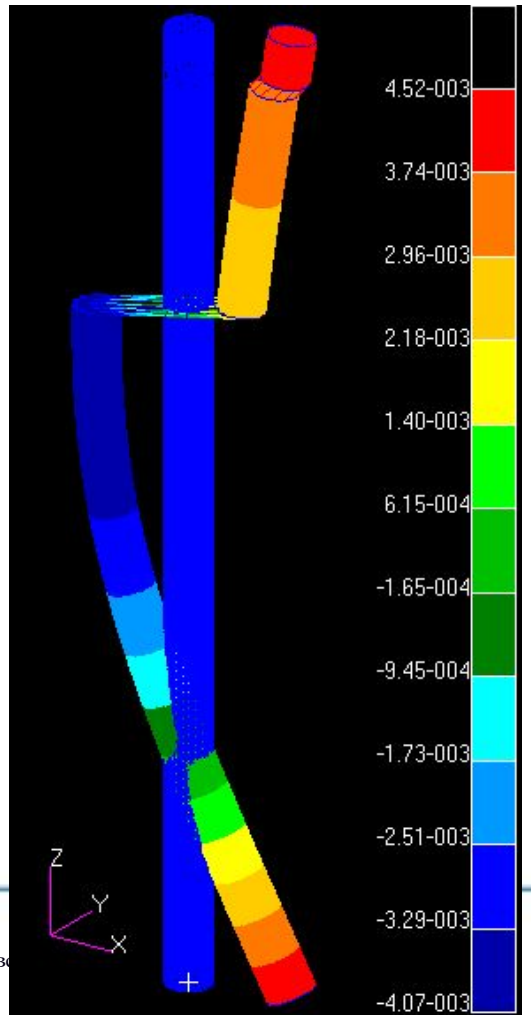
- **С использованием суперэлементов**

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

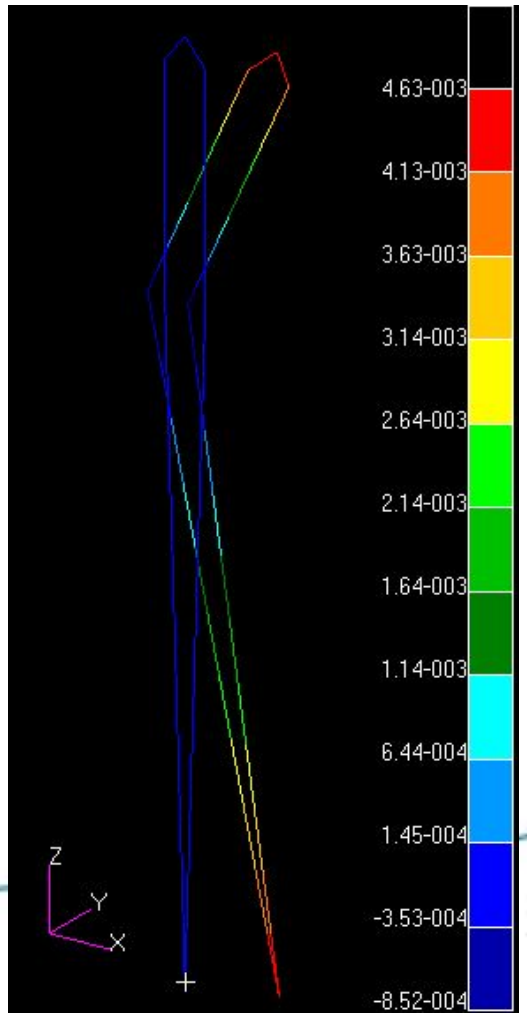
MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

Результаты расчёта

- Без деления модели на суперэлементы



- С использованием суперэлементов



MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

Эффективность метода суперэлементов

- **Анализ влияния характеристик опор двигателя на вибрации автомобиля**

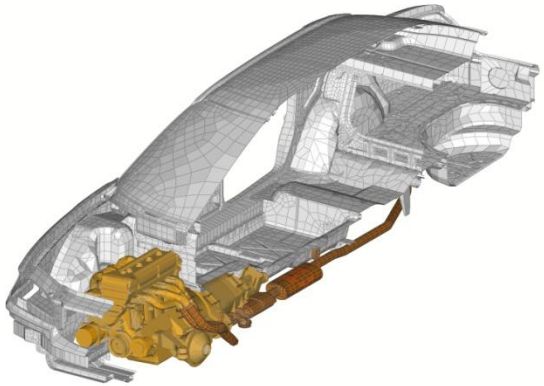


Рис. 1. КЭМ автомобиля ГАЗ-3103 “Волга”

- **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***

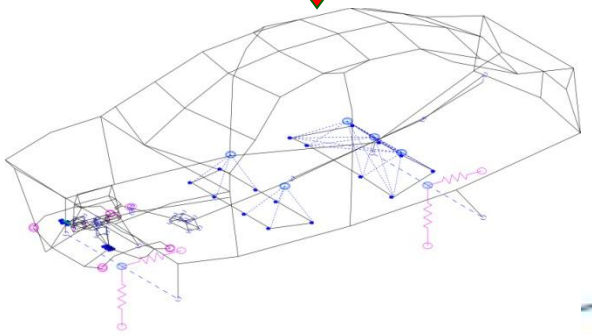


Рис. 2. Динамическая редуцированная модель ГАЗ-3103

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY