

**Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
Кафедра Конструирования и производства
радиоэлектронных средств**

Дисциплина: «САПР конструирования электронных средств»

ТЕМА №7 САЕ-системы

Лекция №10

**ТЕМА: «Системы инженерного расчета и
анализа деталей»**

**Доцент кафедры, к.п.н.,
Мордовин В.Н.**

2017 г.

СПб ГУТ)))

Цель занятия

1. Изучить программные комплексы конечно-элементного анализа (КЭА).
2. Ознакомиться с особенностями наиболее используемых программных комплексов КЭА.

Учебные вопросы

1. Функции программных комплексов конечно-элементного анализа (КЭА) в САЕ системах.

2. Краткий обзор программных комплексов конечно-элементного анализа.

2.1. Система расчета и оптимизации конструкций NASTRAN.

2.2. Интегрированная среда моделирования, анализа и проектирования Patran.

2.3. Система виртуального моделирования машин и механизмов ADAMS.

2.4. Система анализа нелинейных быстропротекающих динамических процессов Dytran.

2.5. Система комплексного нелинейного анализа конструкций MARC.

2.6. Универсальный конечно-элементный пакет ANSYS.

2.7. Система для высоконелинейного динамического анализа LS-DYNA.

2.8. Программный комплекс прочностного конечноэлементного анализа ABAQUS.

2.9. Система инженерных расчетов COSMOS.

2.10. Среда конечно-элементных расчётов T-FLEX Анализ.

3. САЕ-системы российской разработки.

ВВЕДЕНИЕ

CAE системы применяются во многих отраслях промышленности:

- *автомобильная промышленность;*
- *аэрокосмическая промышленность;*
- *энергетика;*
- *машиностроение и станкостроение;*
- *судостроение;*
- *оборонная промышленность;*
- *полупроводниковая промышленность;*
- *гражданское и промышленное строительство;*
- *химическая промышленность;*
- *производство товаров массового потребления;*
- *медицинская промышленность;*
- *телекоммуникационная отрасль.*

1. Функции программных комплексов конечно-элементного анализа в CAE системах.

Функции CAE систем довольно разнообразны:

- расчет установившихся и переходных процессов;
- моделирование полей физических величин;
- анализ прочности;
- расчет собственных частот и форм колебаний;
- анализ устойчивости;
- решение задач теплопередачи;
- исследование акустических явлений;
- анализ нелинейных статических процессов;
- анализ нелинейных динамических процессов;
- расчет критических частот и вибраций роторных машин;
- анализ частотных характеристик при воздействии;
- спектральный анализ.

В настоящее время разработано большое количество CAE систем в которых применяется метод КЭ.

Различные модули позволяют выполнять анализ прочности, теплопроводности, динамики жидкостей и газов, акустических и электромагнитных полей. Программные комплексы КЭА включают в себя библиотеки КЭ, решатель, препроцессор и постпроцессор.

Препроцессор представляет геометрическую модель объекта в сеточном виде.

Решатель собирает модели отдельных КЭ в общую систему алгебраических уравнений.

Решение системы производится одним из методов разреженных матриц.

Постпроцессор представляет результаты решения в графической форме.

2. Краткий обзор программных комплексов конечно-элементного анализа.

Среди CAE систем можно выделить программные комплексы КЭА:

- система расчета и оптимизации конструкций **NASTRAN**;
- система виртуального моделирования машин и механизмов **ADAMS**;
- система анализа нелинейных быстропротекающих динамических процессов **Dytran**;
- система комплексного нелинейного анализа конструкций **MARC**;
- универсальный конечно-элементный пакет **ANSYS**;
- система для высоконелинейного динамического анализа **LS-DYNA**;
- программный комплекс прочностного конечноэлементного анализа **ABAQUS**;
- система инженерных расчетов **COSMOS**;
- системы инженерного анализа комплекса **TFLEX PLM**.

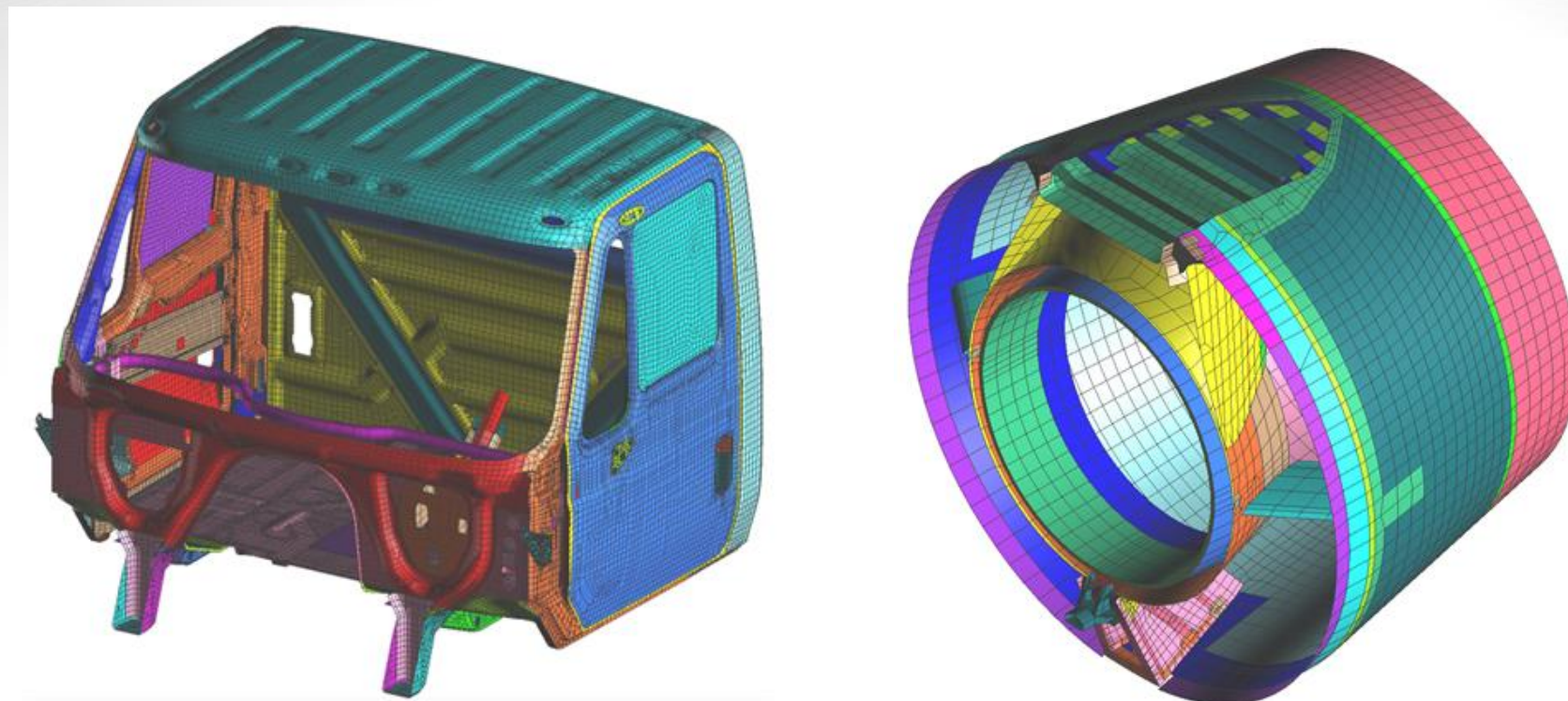
2.1. Система расчета и оптимизации конструкций NASTRAN

Nastran - продукт компании MSC.Software, конечно-элементная программная система.

Система Nastran выполняет:

- расчет напряженно - деформированного состояния;
- расчет собственных частот и форм колебаний;
- анализ устойчивости;
- решение задач теплопередачи;
- исследование установившихся и неустойчивых процессов;
- исследование акустических явлений;
- анализ нелинейных статических процессов;
- анализ нелинейных динамических переходных процессов;
- расчет критических частот и вибраций роторных машин;
- анализ частотных характеристик при воздействии случайных нагрузок;
- спектральный анализ;
- исследование аэроупругости.

Рис. 1. Виды моделей в системе Nastran.



В системе Nastran возможно моделирование практически всех типов материалов, а также композитных материалов. Функции системы включают технологию суперэлементов (подконструкций).

Система ориентирована на расчет и оптимизацию конструкций.

Система расчета и оптимизации конструкций NASTRAN

Оптимизация выполняется для задач устойчивости, установившихся и неуставившихся динамических переходных процессов, собственных частот и форм колебаний, акустики и аэроупругости.

При расчетах в программе применяются численные методы разреженных матриц, что существенно повышает скорость вычислений и эффективность обработки данных.

Для достижения высокого уровня точности расчета в Nastran применяются элементы супер высокого порядка аппроксимации.

Система Nastran тесно связана с интегрированной средой моделирования Patran на основе современного графического интерфейса пользователя. Она интегрируется во многие современные системы автоматизированного проектирования.

Использует макроязык DMAP для модификации и создания новых алгоритмов численного анализа, для интеграции Nastran с другими программами.

2.2. Интегрированная среда моделирования, анализа и проектирования Patran.

Программа Patran обеспечивает интеграцию автоматизированных систем проектирования, моделирования, анализа и оценки результатов расчетов на основе современного графического интерфейса пользователя.

Функциями Patran является разработка КЭ моделей и анализа результатов.

Применение Patran совместно с системой Nastran делает возможным получение оценок работоспособности и оптимальности конструкции изделий при их разработке, производстве и эксплуатации.

Предоставляет развитые средства генерации КЭ сеток.

Рис. 3. Окно интегрированной среды моделирования, анализа и проектирования Patran.

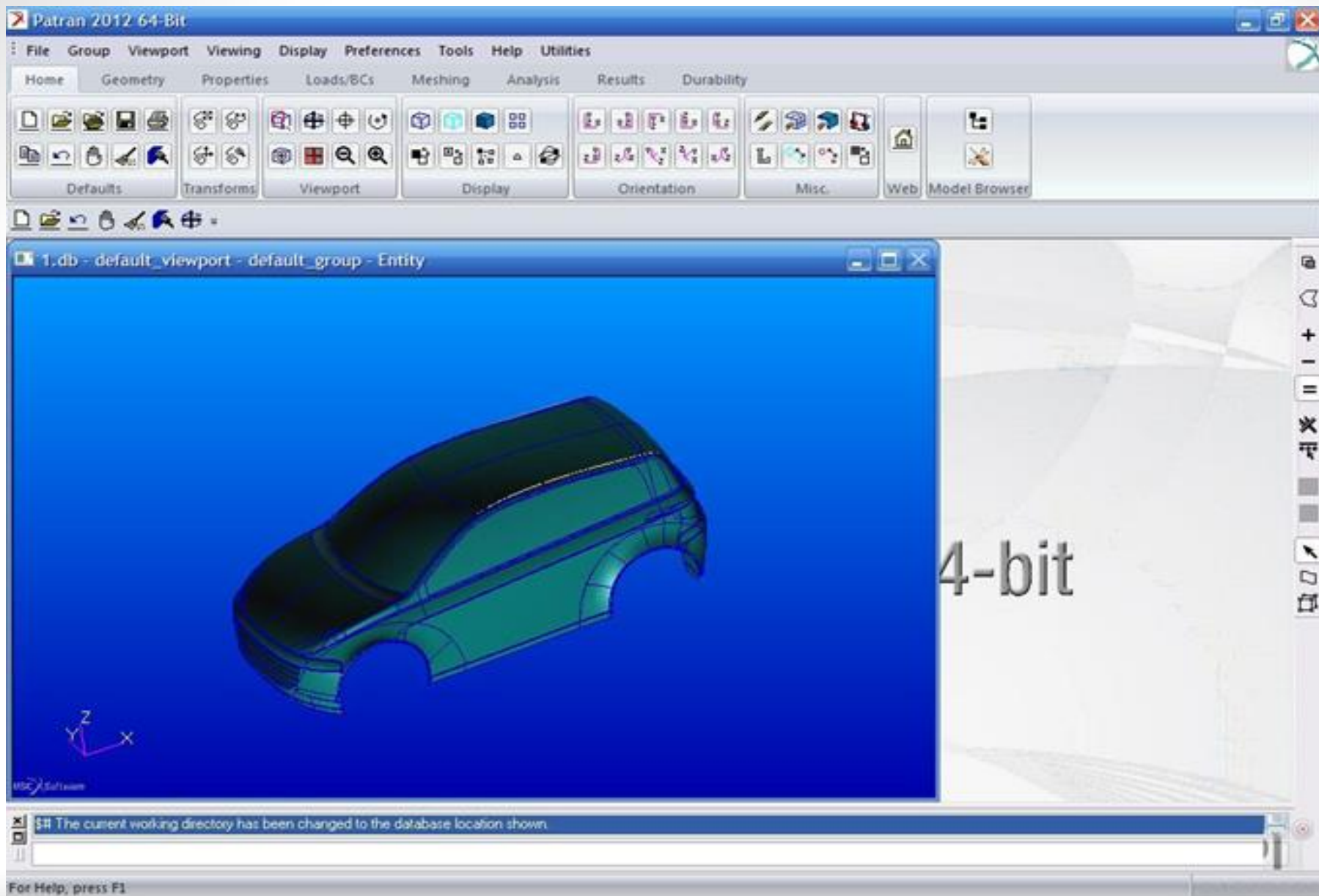
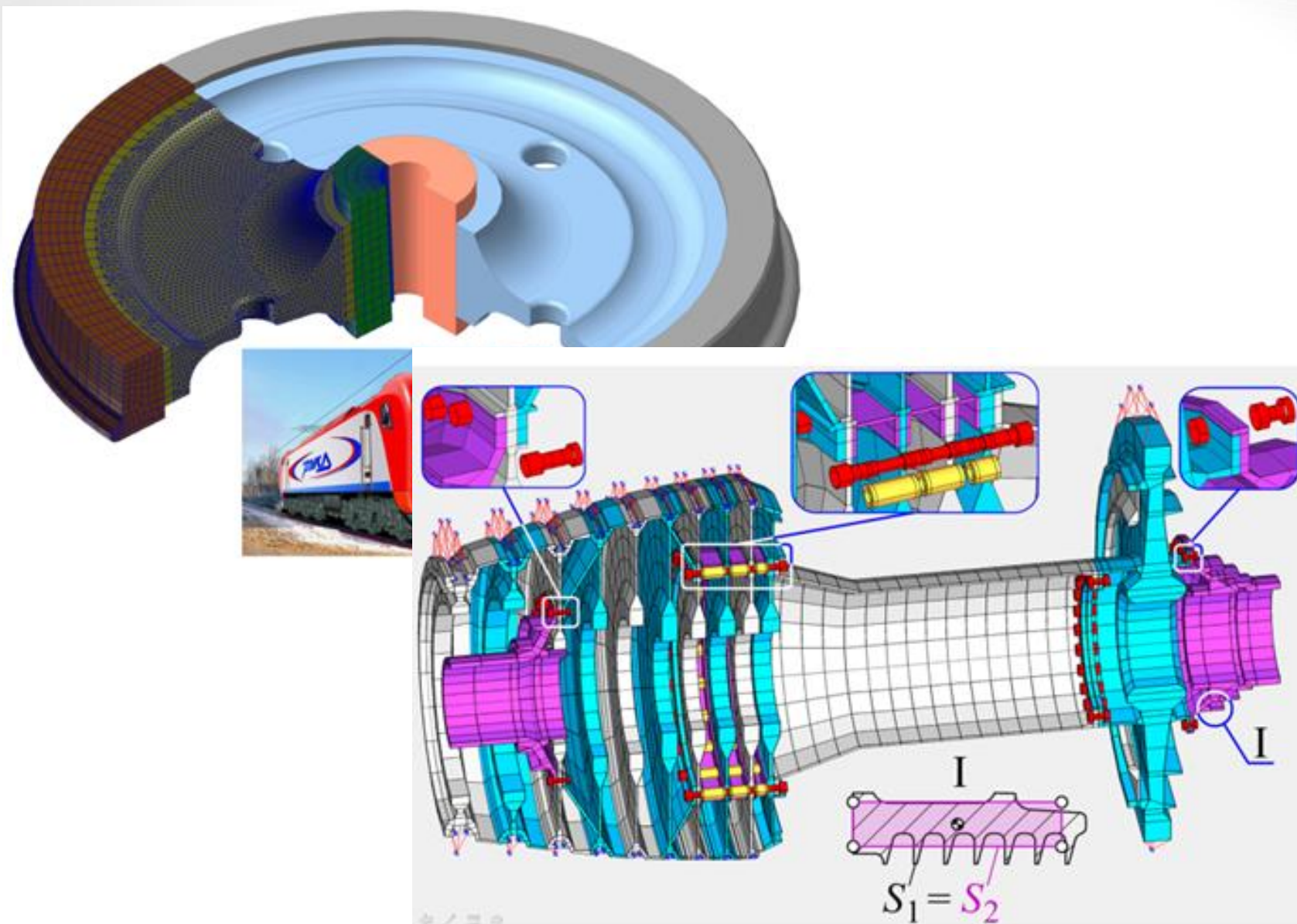


Рис. 4. Виды объектов в среде Patran.



Интегрированная среда моделирования, анализа и проектирования Patran.

В Patran встроен **макроязык *Patran Command Language*** (PCL) для создания специальных функций и для интеграции с собственными программными разработками. Предусмотрена *автоматическая запись в специальный файл всех выполненных команд* с возможностью его повторного использования.

Программа предоставляет обширные возможности создания и модифицирования геометрических моделей, контроля CAD-геометрии и преобразования ее перед построением конечно-элементной модели.

Patran предоставляет *прямой доступ* к CAD-геометрии. Интегрируется с ведущими системами инженерного анализа: ***Nastran, Dytran, Marc, ABAQUS, ANSYS, LS-DYNA, Pam-CRASH, SAMCEF, STAR-CD, FLUENT.***

2.3. Система виртуального моделирования машин и механизмов ADAMS.

Программный пакет ADAMS предназначен для виртуального моделирования сложных машин и механизмов.

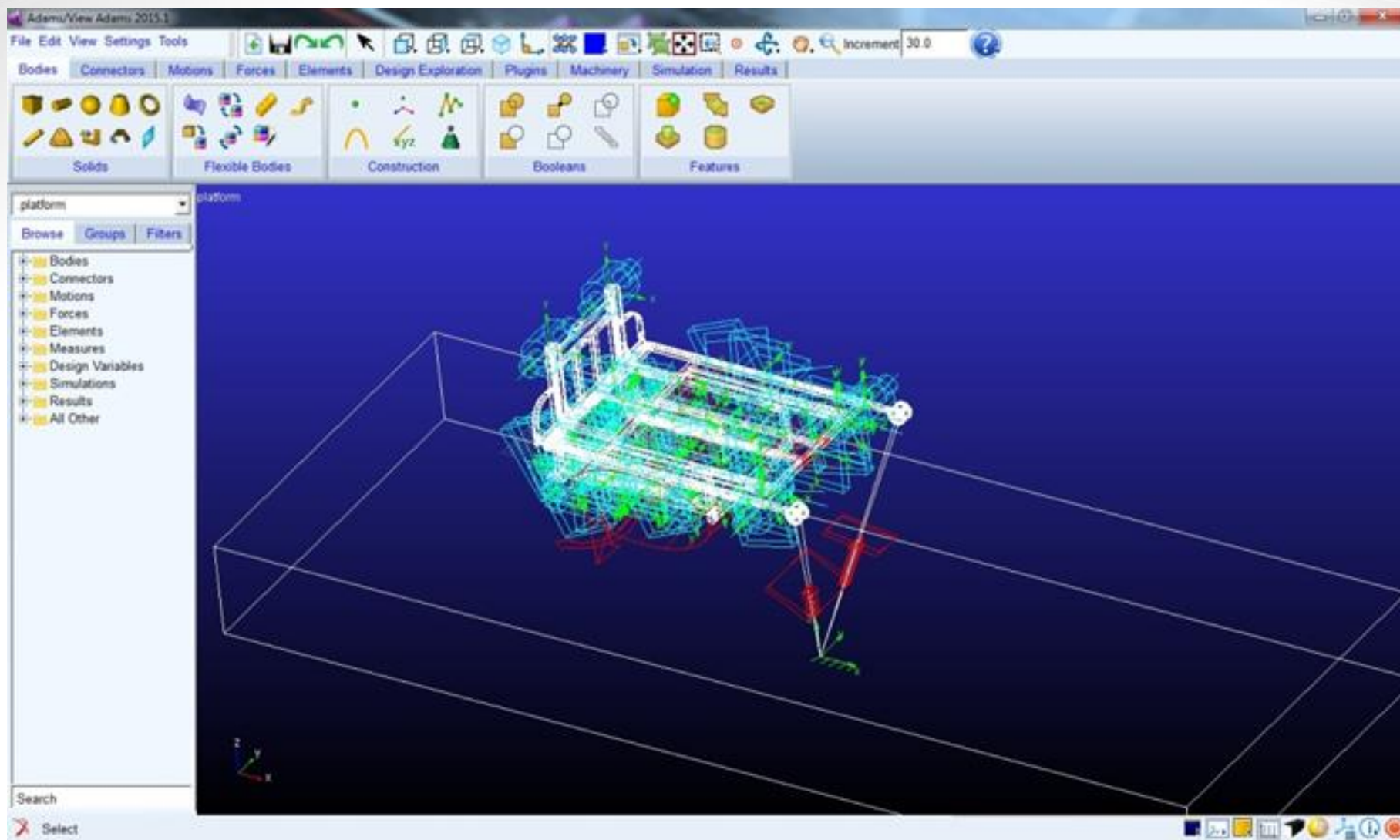
В основе пакета ADAMS высокоэффективный препроцессор и комплект специализированных решателей.

Препроцессор обеспечивает создание твердотельных моделей и импорт геометрических примитивов из многих CAD систем.

Основные модули программного пакета: ***препроцессор ADAMS/View, решатель ADAMS/Solver и постпроцессор ADAMS/Postprocessor.***

Постпроцессор обеспечивает анимацию полученных результатов, построение графиков, вывод результатов в различном виде.

Рис. 5. Виды объектов в среде ADAMS.



ADAMS

Программный пакет ADAMS обеспечивает импорт геометрических моделей из CAD систем в *форматах Parasolid, IGES, STEP, DXF, DWG, VDAFS.*

ADAMS предоставляет различные решатели: ***решатель на базе интегратора DIFSUB, решатель ABAM, решатель Runge- Kutta, специальный решатель Vibration, для анализа в частотной области.***

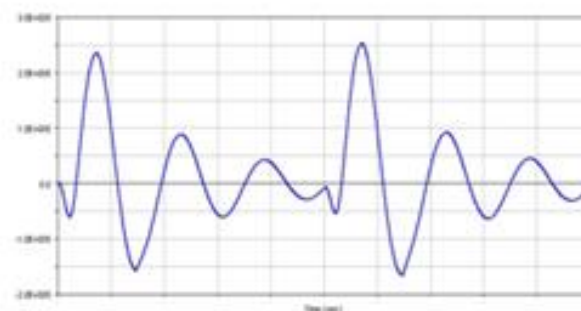
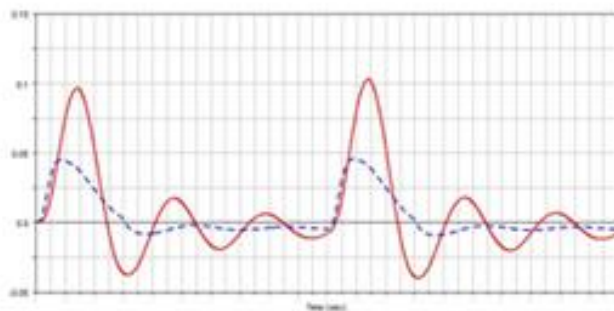
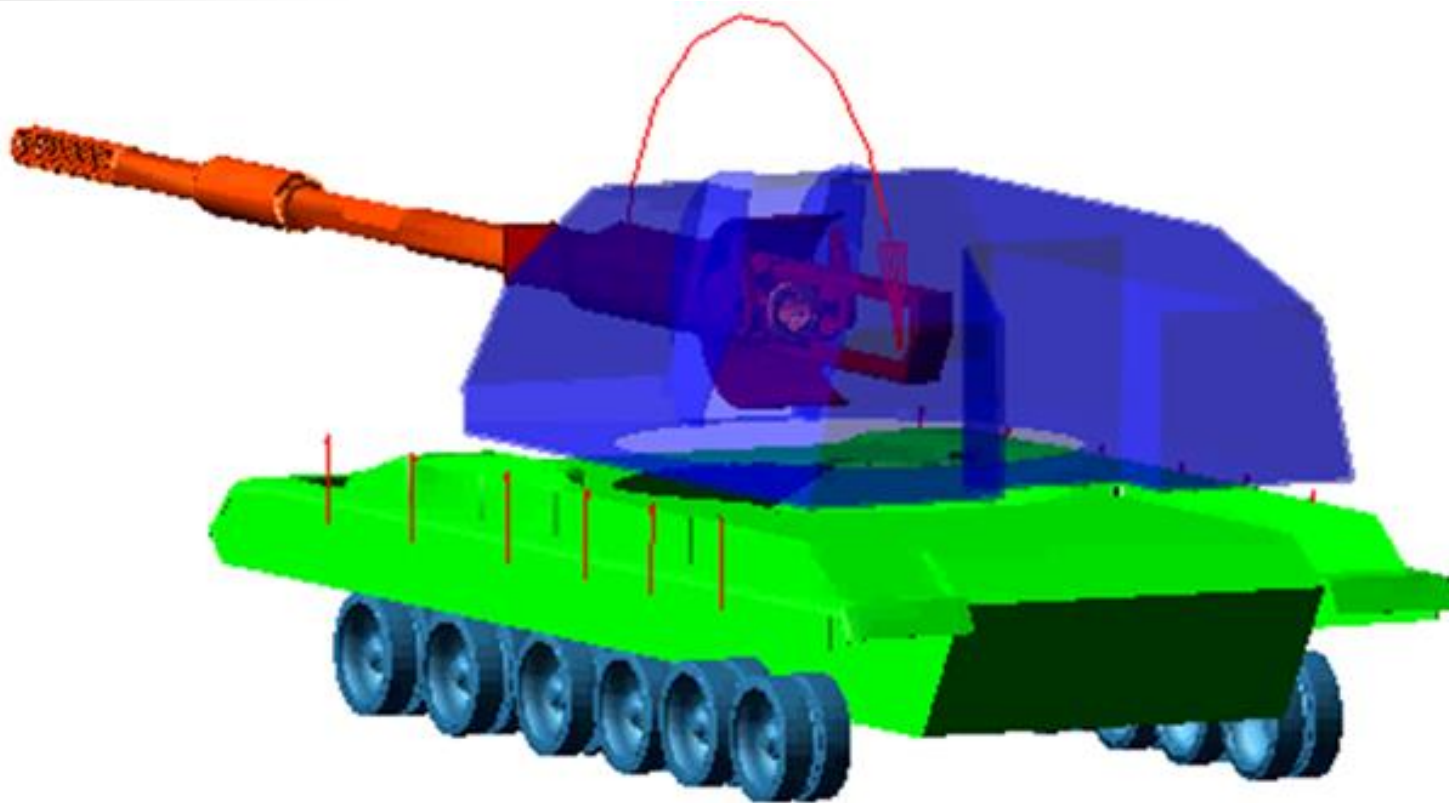
С помощью Adams можно быстро создать полностью параметризованную модель изделия, *строая ее непосредственно в препроцессоре* или импортируя из наиболее распространенных CAD-систем.

Задав связи компонентов модели, приложив нагрузки, определив параметры кинематического воздействия и запустив расчет можно получить данные, полностью идентичные результатам натурных испытаний системы.

Рис. 6. Оценка усилий на рулевом колесе среднетоннажного автомобиля-самосвала путем моделирования в Adams.



Рис. 7. Моделирование динамики САО.

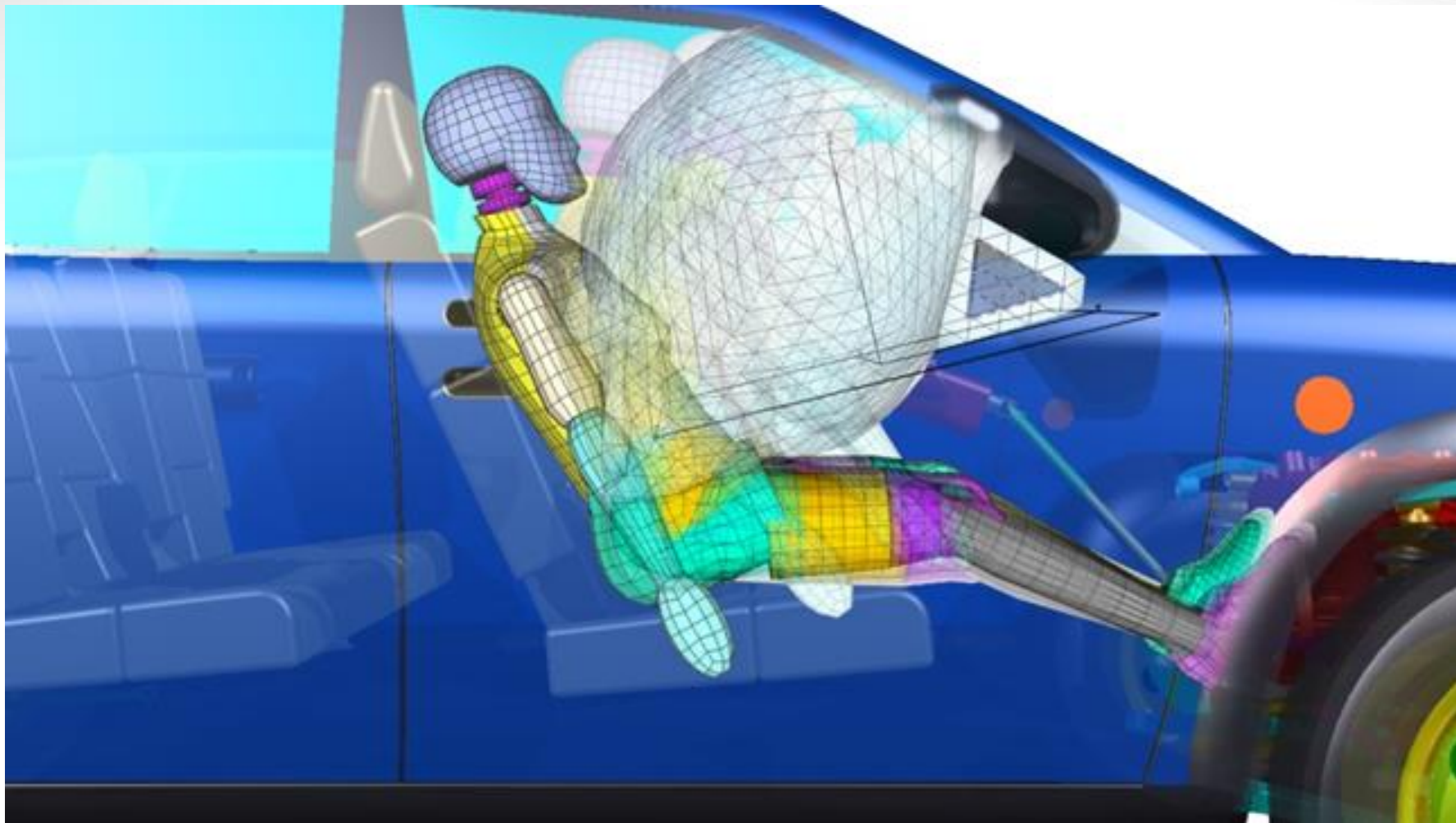


2.4. Система анализа нелинейных быстропротекающих динамических процессов Dytran

Система *Dytran* служит для анализа высоконелинейных быстропротекающих динамических процессов, связанных с взаимодействием различных конструкций и их частей, а также конструкции и жидкости, газа.

С помощью *Dytran* возможно решать следующие задачи: *взаимодействие автомобиля, препятствия, пассажира и подушки безопасности в момент ее заполнения воздухом при катастрофе, столкновение птиц с самолетными конструкциями, столкновение и посадку на мель судов, взрывы в ограниченном пространстве, удар снаряда о преграду и ее пробивание, попадание метеорита в обшивку космического аппарата, штамповку металла, поведение жидкости в не полностью заполненных емкостях.*

Рис. 8. Виды объектов в среде Dytran.



Dytran

В основе Dytran лежит явный *метод интегрирования дифференциальных уравнений по времени*.

Программа может эффективно применяться на ЭВМ, поддерживающих *параллельную обработку данных*.

Для Dytran в *качестве препроцессора и постпроцессора служат Patran*.

Dytran предоставляет возможность выполнения структурного КЭА, анализа динамики жидкости и взаимодействия конструкция – жидкость.

Система содержит большую библиотеку КЭ и большое количество *моделей материалов* (изотропная и ортотропная линейная модель, резина, слоистый композит, грунт, пена и др.).

В Dytran применяется *явная схема интегрирования*, не требующая декомпозиции матриц и, в силу этого, особенно эффективная для решения нелинейных задач.

2.5. Система комплексного нелинейного анализа конструкций MARC

Система Marc обеспечивает комплексный нелинейный анализ конструкций, решение сложных задач *термопрочности, моделирование технологических процессов.*

Применяется для анализа высоконелинейного поведения конструкций и решения задач теплопередачи.

Система Marc позволяет *решать задачи в условиях больших линейных и угловых перемещений конструкции; когда материалы имеют нелинейные свойства, присутствует сложное контактное взаимодействие частей конструкции.*

В системе возможно применение *пользовательских подпрограмм и параллельной обработки данных.*

Рис. 9. Моделирование взаимодействия шестерен с учетом тепловых эффектов в Марс.

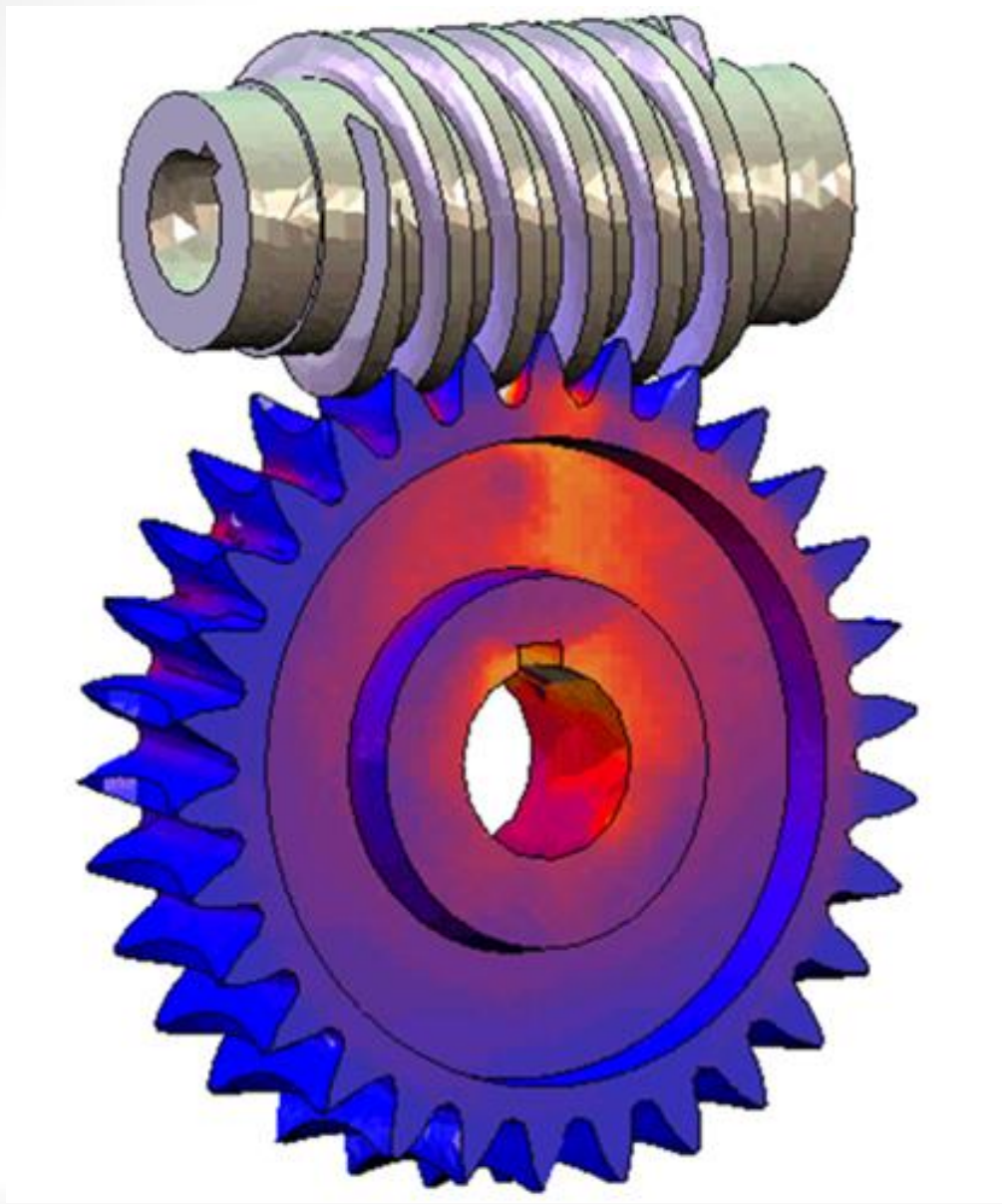
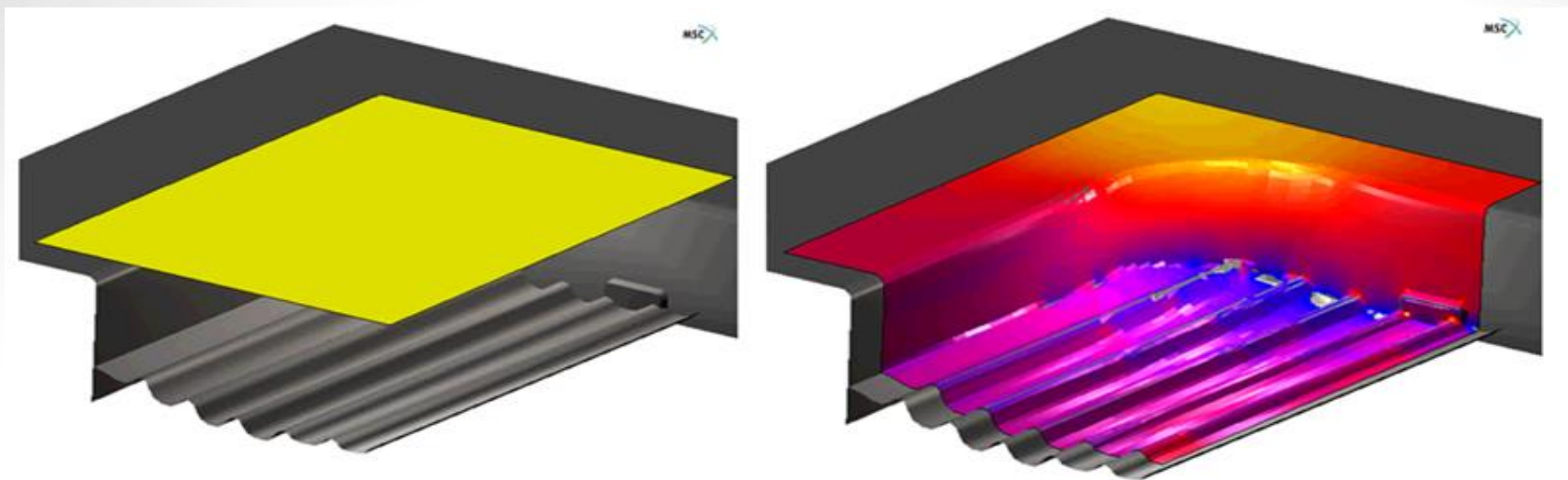


Рис. 10. Моделирование листовой штамповки в Marc.

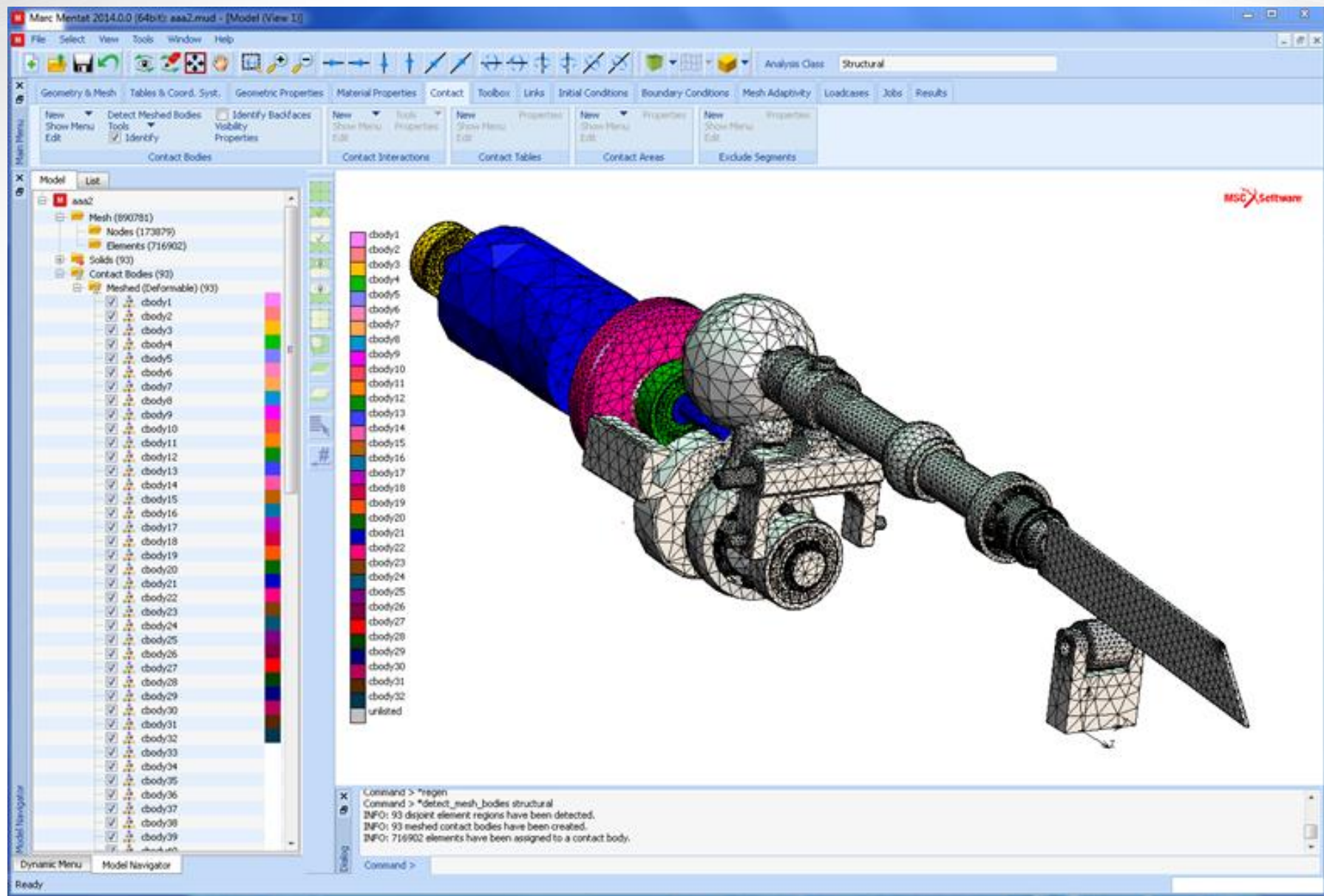


Для Marc разработан специализированный препроцессор и постпроцессор *Mentat*. Объемное моделирование в Marc основывается на *геометрическом ядре ACIS*.

Система позволяет импортировать и экспортировать данные в форматах: *ACIS, IGES, VDAFS, VRML, STL* и выводить графическую информацию в форматах *Postscript, GIF, TIFF, BMP, JPEG*.

Для системы Marc разработаны интерфейсы с CAD и CAE программами: ***Patran; Nastran; CATIA; AutoCAD; Intergraph; CMOLD; Pro/Engineer; SDRC IDEAS Master Series***.

Рис. 11. 3D КЭ сетки на сборках в Marc.



2.6. Универсальный конечно-элементный пакет ANSYS

Профессиональный конечно-элементный расчетный комплекс ANSYS позволяет *решать задачи прочности, теплообмена, электромагнетизма, гидрогазодинамики как по отдельности, так и совместно.*

Программа имеет гибкую модульную комплектацию. Базовый пакет *ANSYS/Multiphysics* включает все возможные физические дисциплины - линейную и нелинейную прочность (неявный решатель), тепло, электромагнетизм, гидрогазодинамику.

Программный модуль *Mechanical* предназначен для решения задач линейной и нелинейной прочности (неявный решатель) и анализа теплопередачи.

Модуль *Structural* включает только линейную и нелинейную прочность.

Пакет Professional предназначен для решения задач только линейной прочности в комбинации с теплом.

ANSYS

Модуль *EMAG* разработан для электромагнитного анализа.

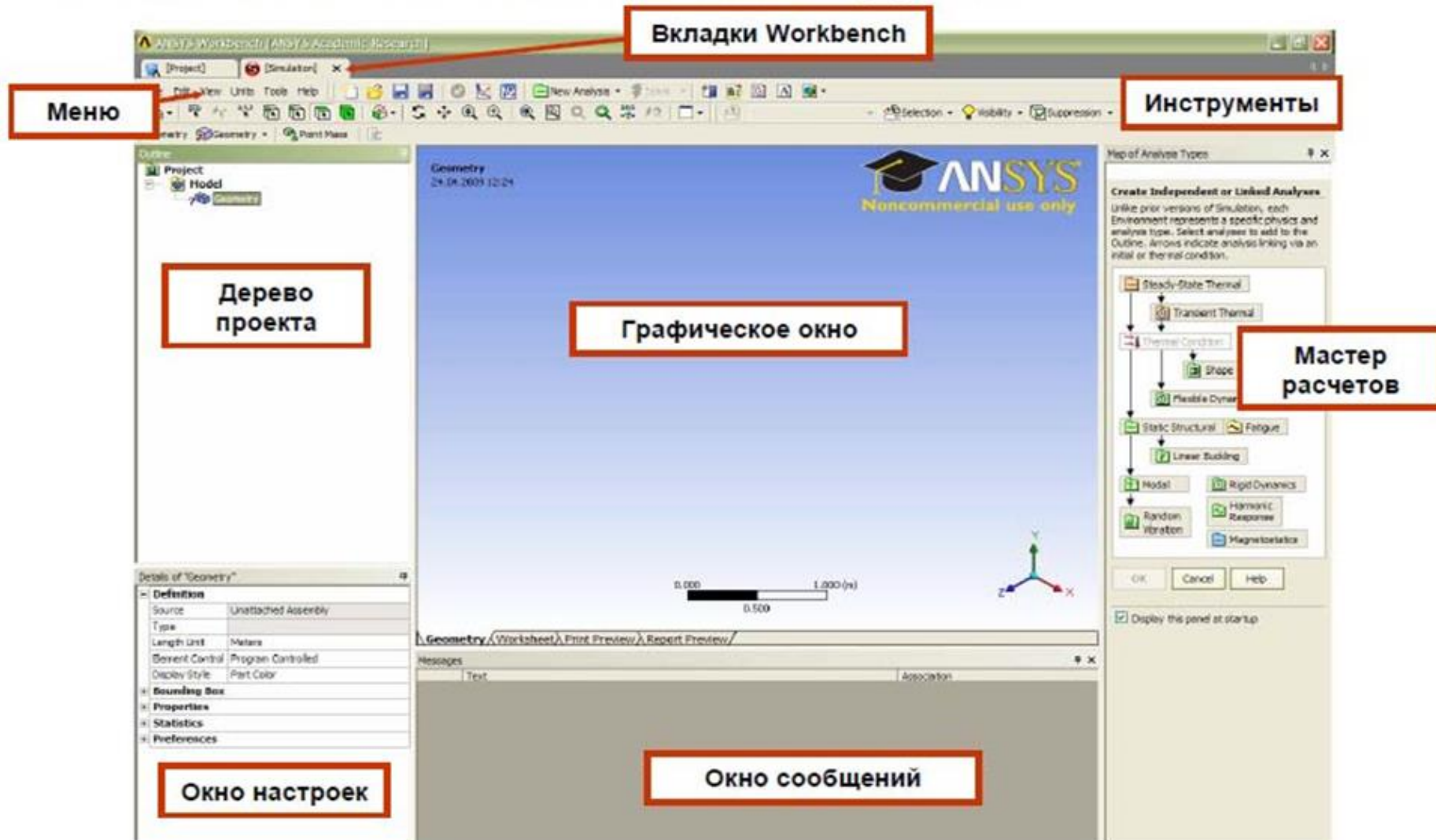
Модуль *Flotran* предназначен для задач гидрогазодинамики, включающие стационарные и нестационарные, сжимаемые и несжимаемые, вязкие и невязкие течения, многокомпонентные.

Система ANSYS позволяет решать основные типы задач:

- *Статика*: линейная, нелинейная;
- *Задачи на собственные значения*: собственные частоты, устойчивость;
- *Динамика*: гармонический анализ, спектральный анализ, случайные вибрации, переходные процессы.

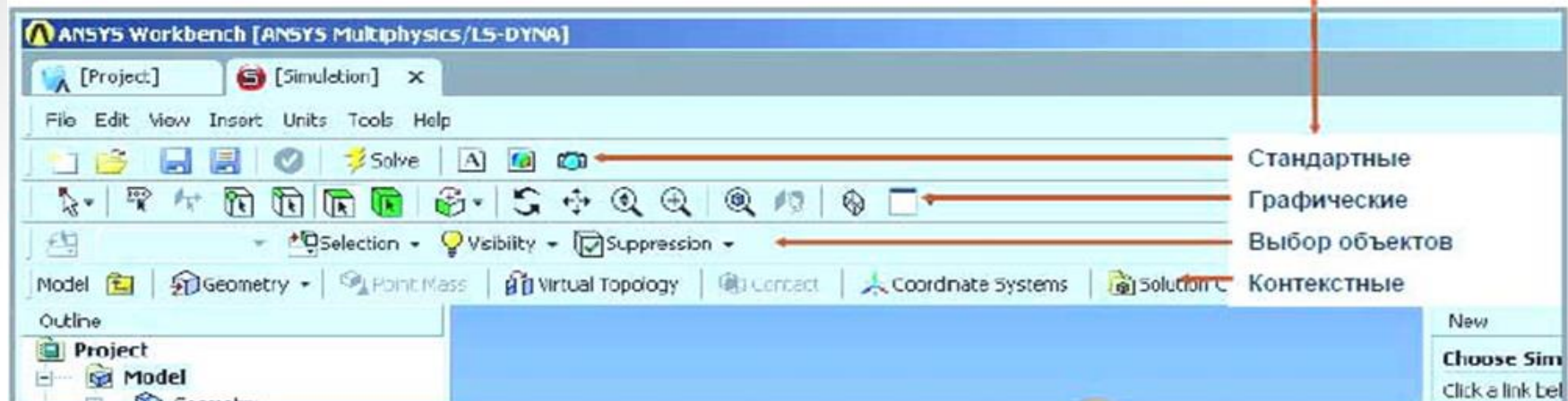
ANSYS

- Компоненты пользовательского интерфейса:

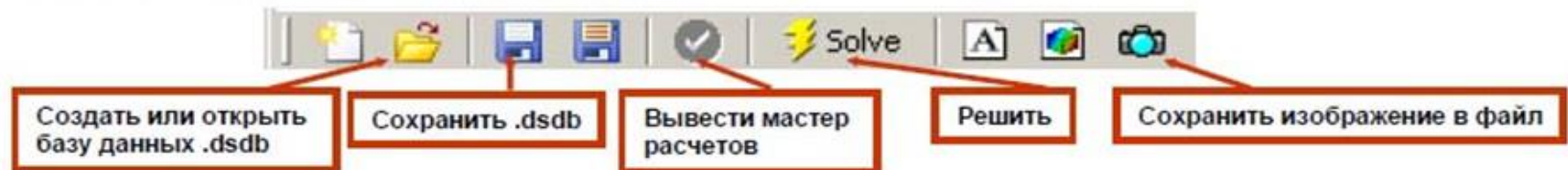


ANSYS

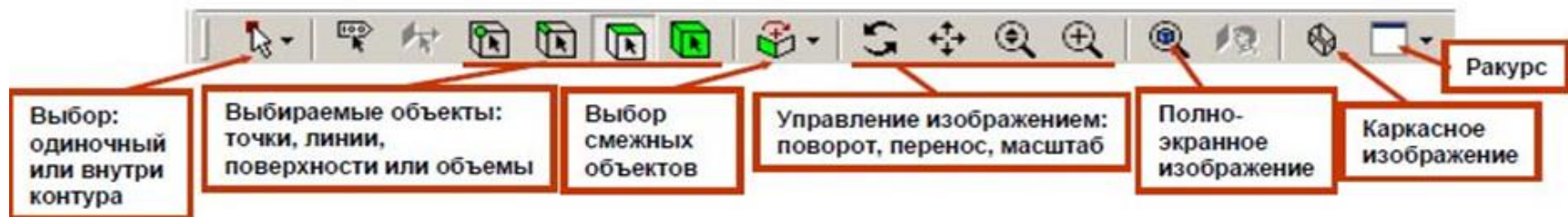
- Существует 4 набора инструментов для быстрого доступа к командам, содержащимся в разделах меню.



- Стандартные инструменты:



- Графические инструменты:



ANSYS

Имеет прямой интерфейс с большинством CAD-систем, позволяет выполнять слияния нескольких геометрических моделей в одну, как собственных, так и импортированных из различных CAD-систем.

Допускается параметрическое задание геометрии для дальнейшей оптимизации конструкции.

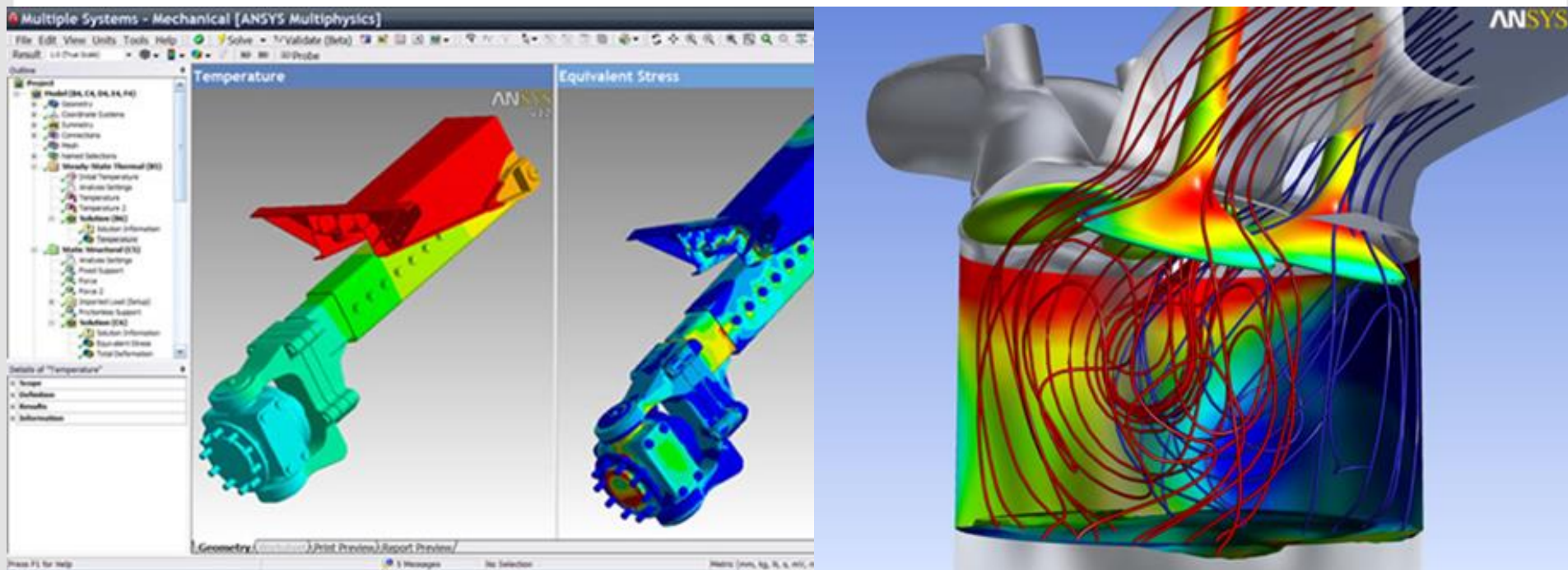
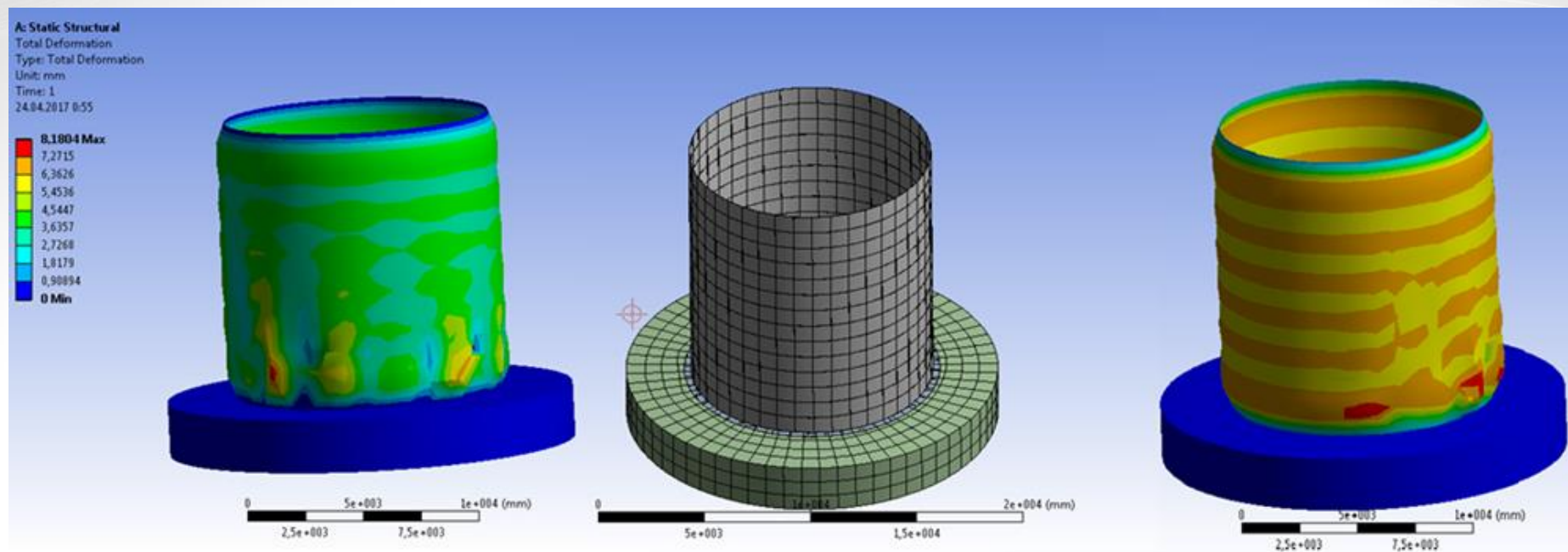


Рис. 15. Виды объектов в ANSYS.

Рис. 16. Расчет резервуара в Ansys Workbench.



ANSYS связан с большинством известных CAE - систем, что позволяет успешно выстраивать единый интегрированный процесс полного анализа конструкции на основе ANSYS.

ANSYS связан с CAE-системами:

- Системами динамического анализа механизмов ADAMS, NASTRAN, DADS;
- Акустического анализа Comet\Acoustics, SYSNOISE;
- Специализированными CFD-пакетами CFX;
- Системами анализа процессов обработки пластмасс C-MOLD, MOLDFLOW;
- Системами моделирования литья металлов ProCAST.

ANSYS предоставляет возможность разработки пользователем интерфейса к любой программе.

2.7. Система для высоконелинейного динамического анализа LS-DYNA

LS-DYNA - многоцелевая программа, предназначенная для решения трехмерных динамических нелинейных задач механики деформируемого твердого тела, механики жидкости и газа, теплопереноса, совместных задач механики деформированного твердого тела и теплопереноса, механики деформируемого твердого тела и механики жидкости и газа.

LS-DYNA является программой для решения задач соударения, взрыва, разрушения, обработки металлов давлением и ряда других задач.

В LS-DYNA встроены: процедуры автоматической перестройки и сглаживания конечно-элементной сетки; высокоэффективные алгоритмы решения контактных задач; набор моделей материалов; возможности пользовательского программирования.

Рис. 17. Виды объектов в LS-DYNA.

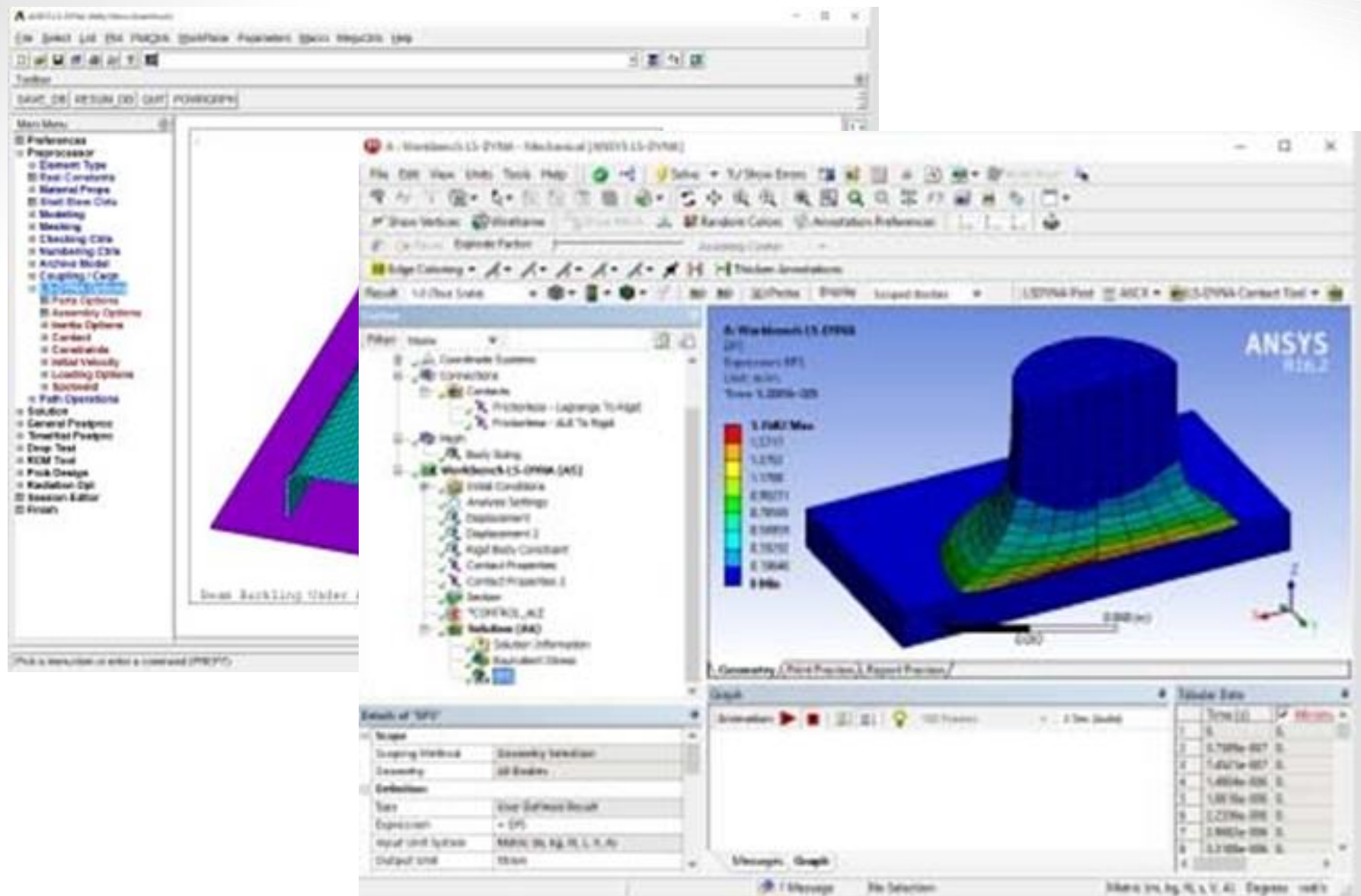


Программный пакет LS-DYNA оптимизирован под основные платформы и операционные системы, векторизован, распараллелен для систем с общей и распределенной памятью.

LS-DYNA поддерживает прямой интерфейс со следующими CAD - системами: ***Pro/Engineer, Unigraphics, AutoCAD, Solid Edge, Solid.***

Интерфейс с LS-DYNA имеют системы ***ANSYS, NASTRAN, FEMAP, PATRAN.***

Рис.18. LS-DYNA и ANSYS Mechanical APDL, ANSYS Workbench LS-DYNA ACT.

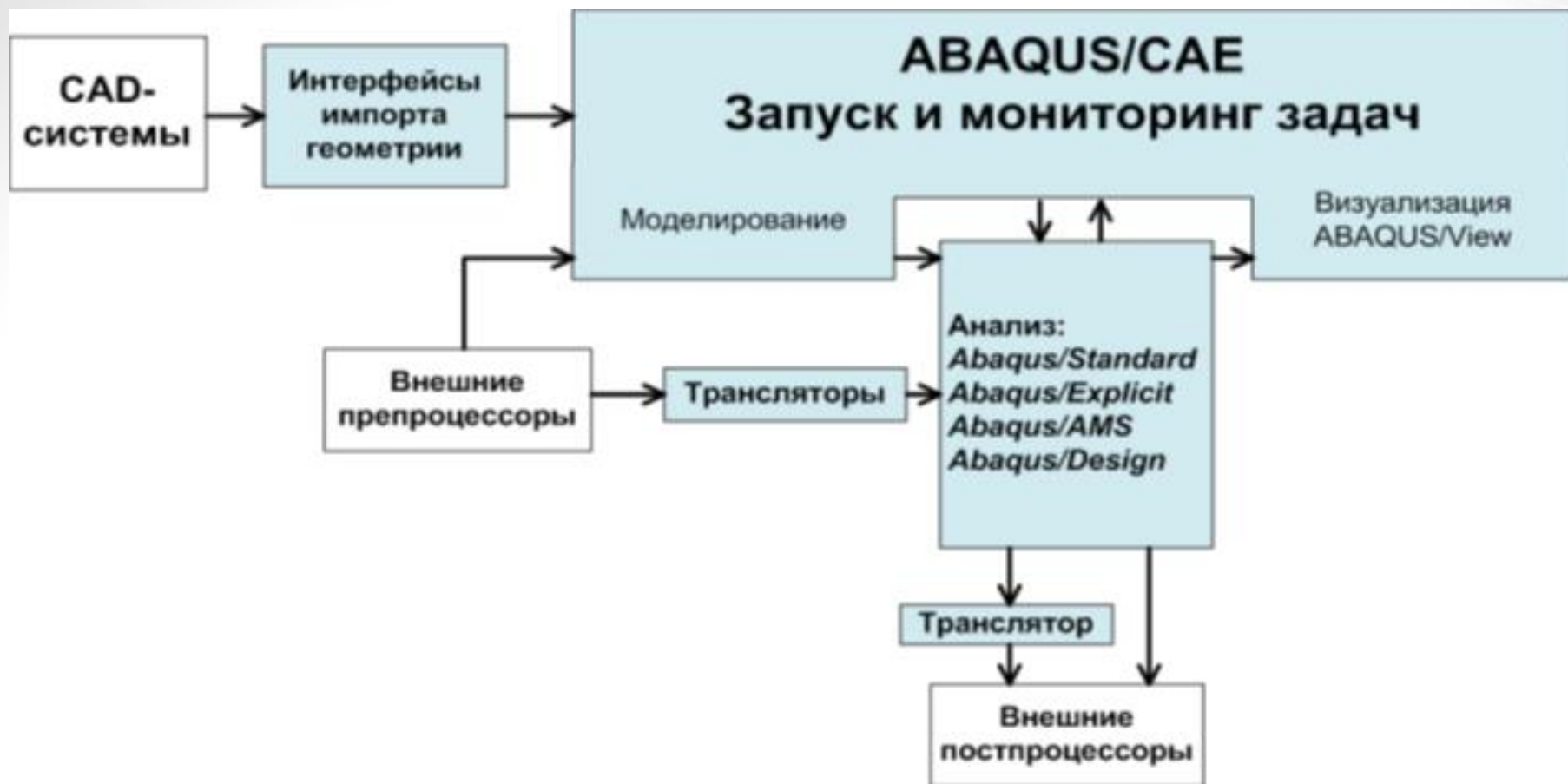


2.8. Программный комплекс прочностного конечноэлементного анализа ABAQUS

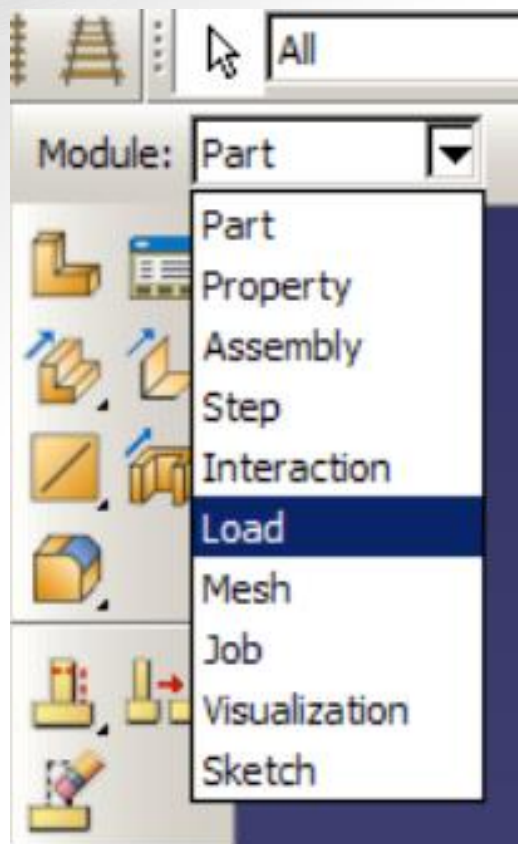
Конечно-элементный комплекс ABAQUS предназначен для проведения как прочностного инженерного многодисциплинарного анализа, так и для научно-исследовательских и учебных работ. Основные **сферы применения** ABAQUS — оборонная промышленность, авиационное, автомобилестроение, электроника, металлургия, производство энергии, добыча и переработка нефти, производство товаров народного потребления, общая механика и геомеханика.

Задачи: анализ сложных конструкций и механизмов (турбомашины, двигательные установки, шасси и трансмиссии, сварка, моделирование аварийных столкновений, расчет прочности электронных компонентов, сверхпластическое формование, пробивание материала, сейсмические и взрывные воздействия, расчет надежности ядерных реакторов.

Архитектура системы Abaqus.



Модули ABAQUS:



- PART – создание деталей, задание геометрии, опорных точек и систем координат;
- PROPERTY – определение материалов и сечений, применяемых в модели, задание физических характеристик;
- ASSEMBLY – задание взаимного расположения деталей и сборки их в единую модель;
- STEP – создание шагов расчета и определение выходных данных по результатам;
- INTERACTION – определение взаимодействий между деталями, контактных участков и их свойств;
- LOAD – создание нагрузок, прикладываемых к модели, а также начальных и граничных условий для нее;

Модули ABAQUS (продолжение):

- MESH – построение сетки, фактически, в нем происходит преобразование геометрической модели в конечно-элементную;
- JOB – создание файла выходных данных, проверки построенной модели, запуска вычислительного процесса и контроля над ним;
- VISUALIZATION – просмотр результатов расчета и обработки полученных данных;
- SKETCH – сохранение эскизов и чертежей полученной модели.

Рис. 20. Рабочее окно Abaqus.

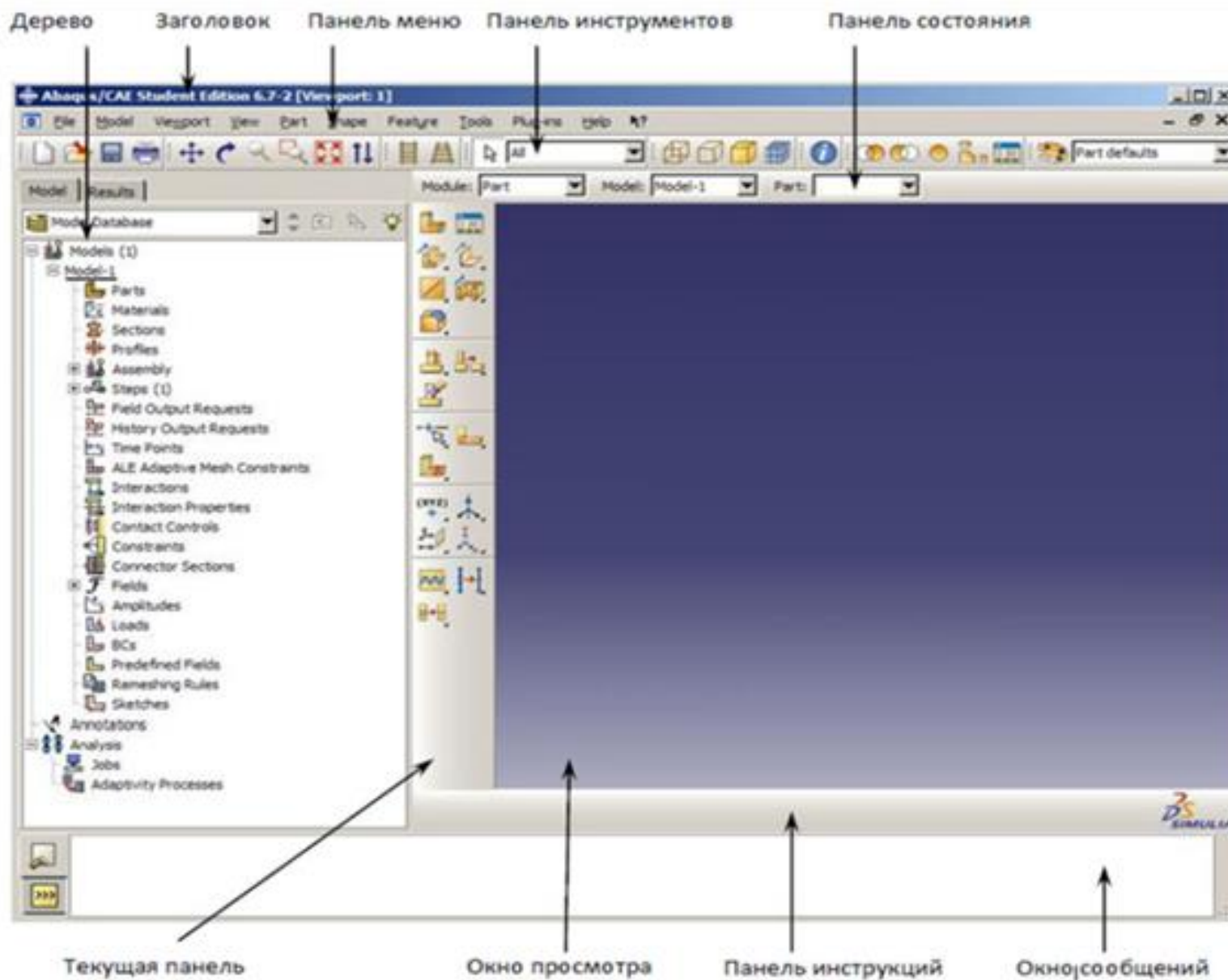
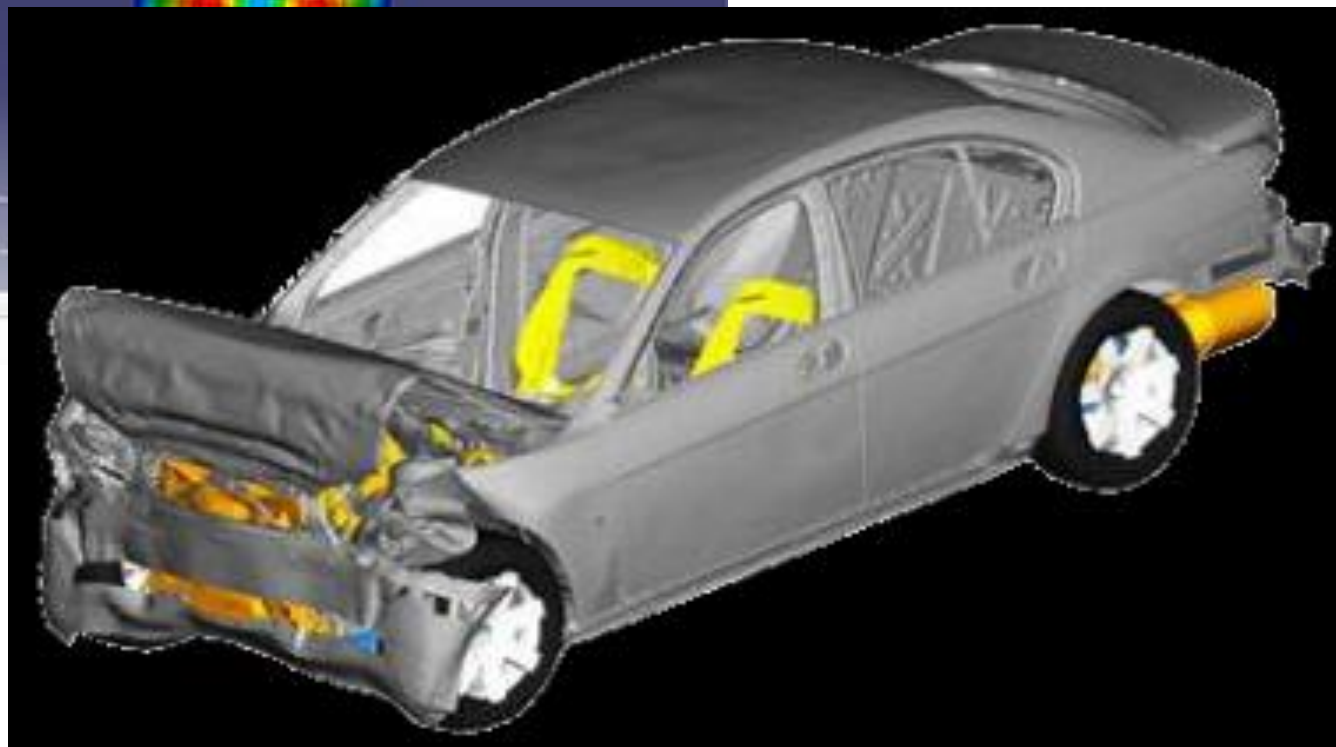
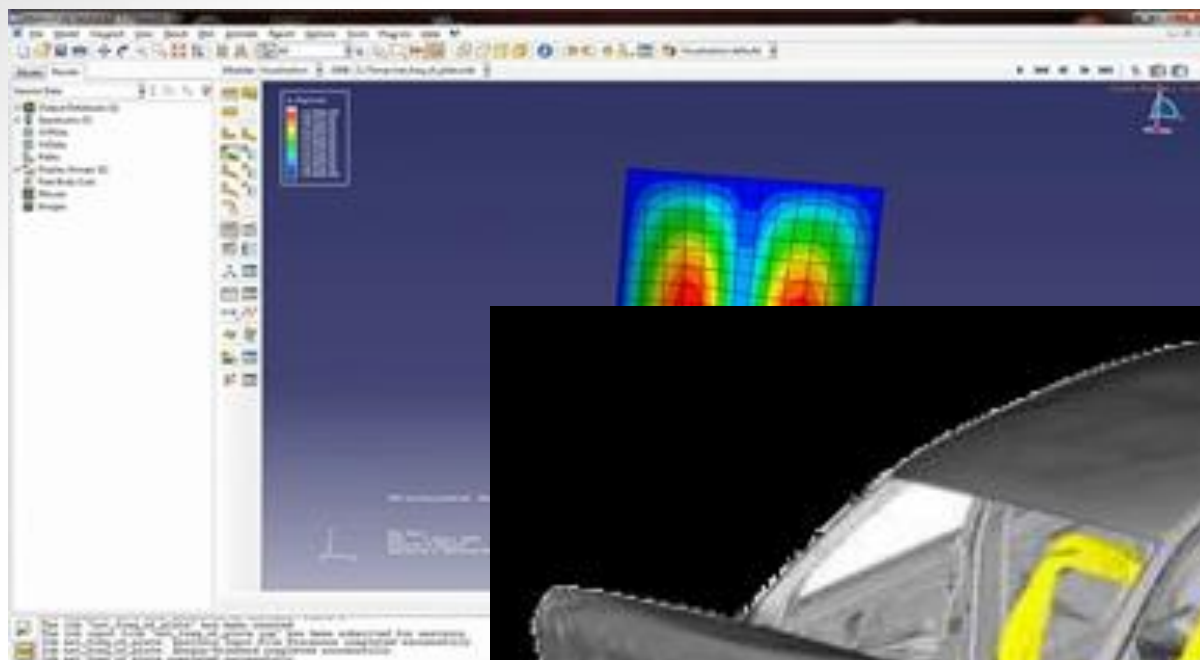


Рис. 21. Виды объектов в рабочем окне Abaqus.



2.9. Система инженерных расчетов COSMOS

COSMOS решает задачи механики деформирования твердого тела - статика, динамика и устойчивость элементов конструкции, в линейной и нелинейной постановках, с учетом временного фактора, усталостная прочность.

Система COSMOS позволяет исследовать тепловые процессы - стационарные и нестационарные, с разнообразными краевыми условиями, решать задачи низкочастотного и высокочастотного электромагнетизма, газовой динамики, задачи многокритериальной оптимизации конструкции.

В основе всех алгоритмов лежит метод конечных элементов.

СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА COSMOS

COSMOS/M

GEOSTAR
пред- и
постпроцессор

STAR
линейная
статика

HSTAR
теплота

NSTAR
нелинейное
деформирование

ESTAR
низкочастотный
электромагнетизм

FlowPlus
динамика
жидкостей и
газов

DSTAR
собственные
частоты

ASTAR
расширенная
динамика

FSTAR
усталостная
прочность

OPTSTAR
оптимизация

COSMOS/HFS Suite
высокочастотный
электромагнетизм

ДРУГИЕ ПРОГРАММЫ

COSMOS/EMS Suite
низкочастотный
электромагнетизм

COSMOS/DesignSTAR:
линейная статика,
собственные частоты,
устойчивость, теплота,
нелинейное
деформирование

COSMOS/Flow
динамика жидкостей и
газов

COSMOS/Works
(под SolidWorks):
линейная статика,
собств. частоты,
устойчивость, теплота,
оптимизация

Центральным модулем пакета COSMOS/M является GEOSTAR, который включает:

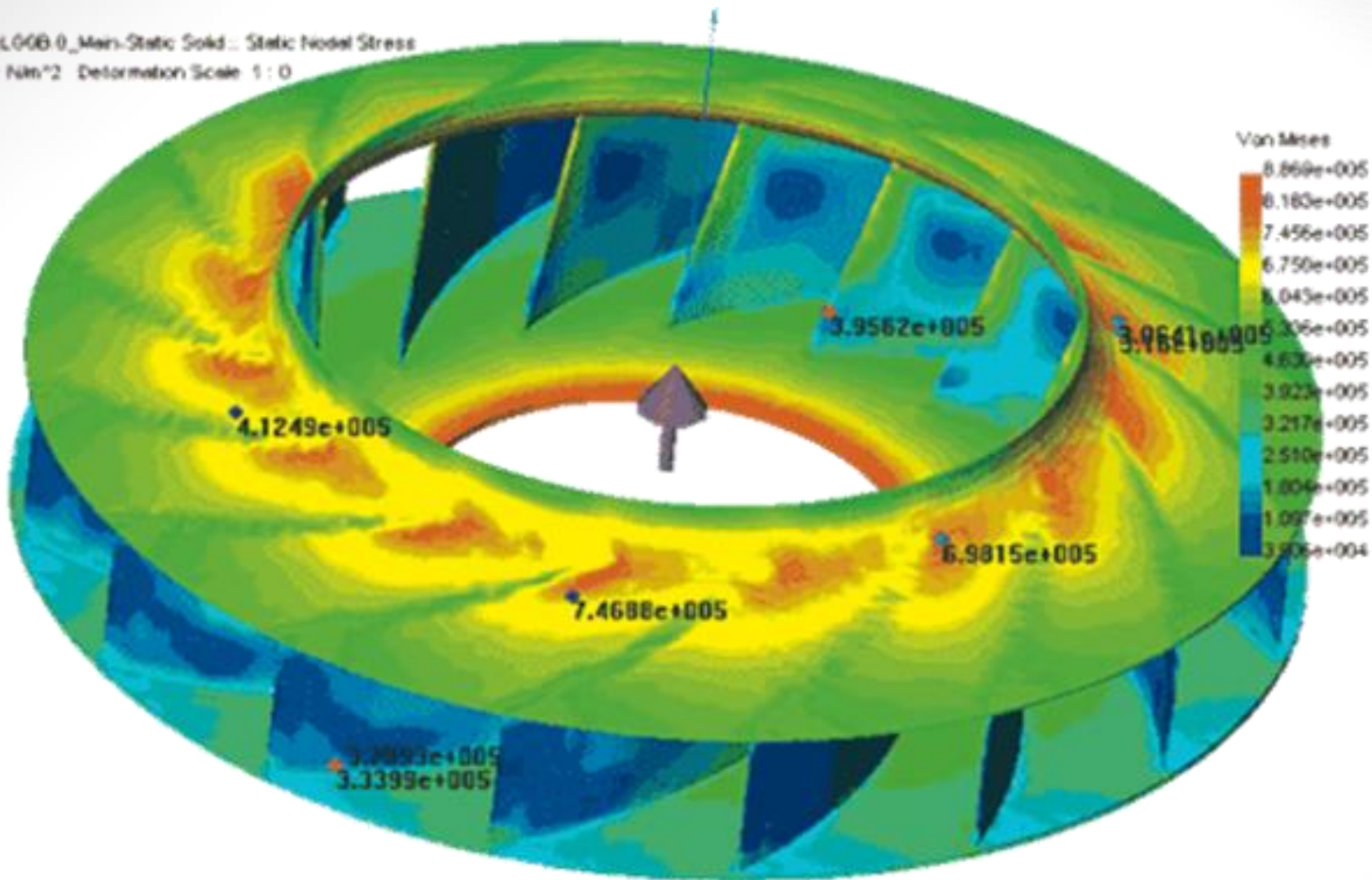
- **трехмерный графический CAD построитель;**
- **препроцессор**, который позволяет создавать КЭ сетку для модели, оформить расчетную схему, определить параметры вычислительного процесса и запустить соответствующий вычислительный модуль;
- **постпроцессор**, позволяющий представить результаты расчета в удобном для анализа виде.

COSMOS импортирует геометрию, подготовленную практически в любой CAD-системе, предоставляет прямой интерфейс с графическими системами: **Autodesk Inventor, Solid Edge и SolidWorks.**

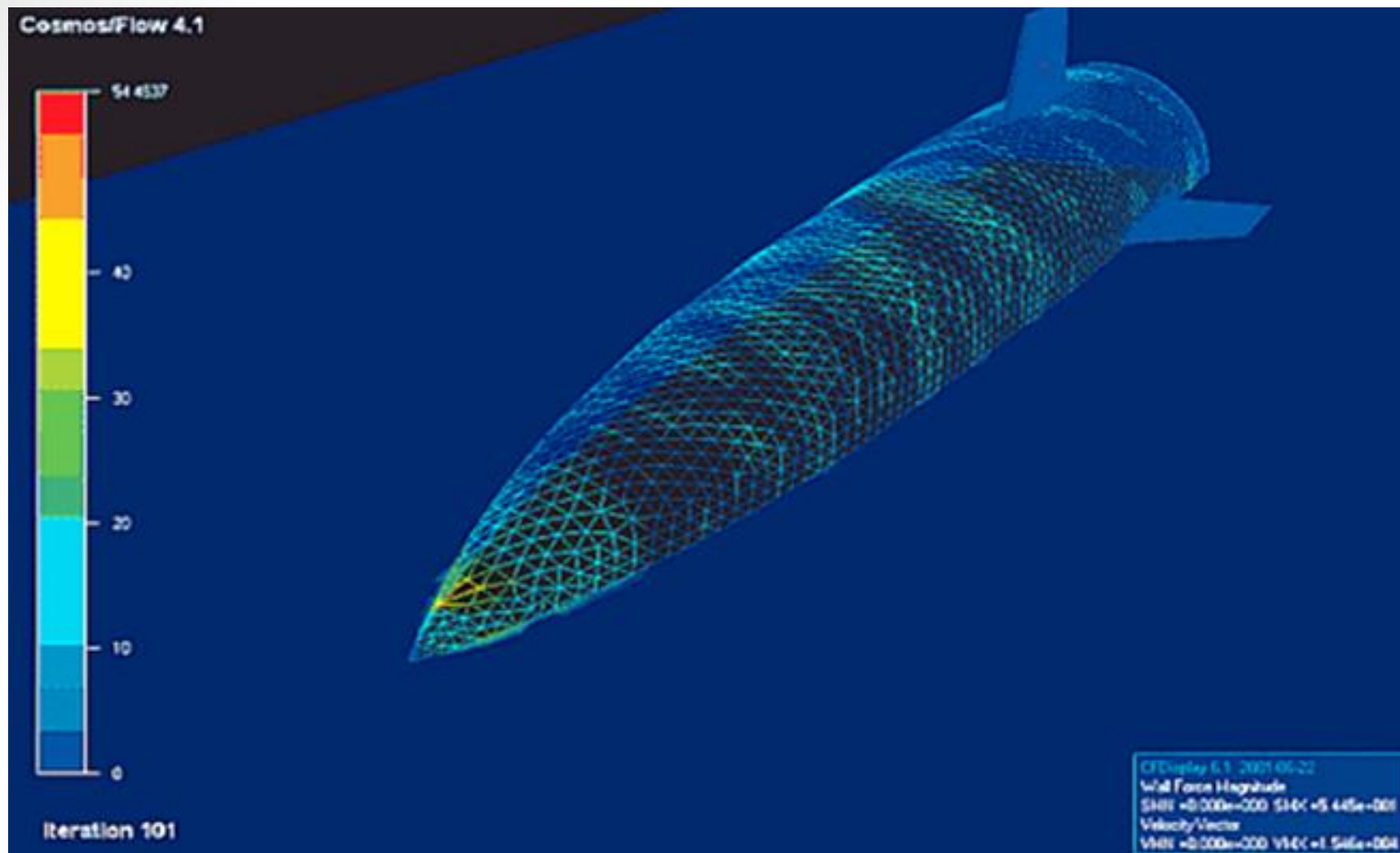
Распределение эквивалентных напряжений в крыльчатке дымососа (COSMOS/Works).

D:\K\006\0_Main-Static Solid:: Static Nodal Stress

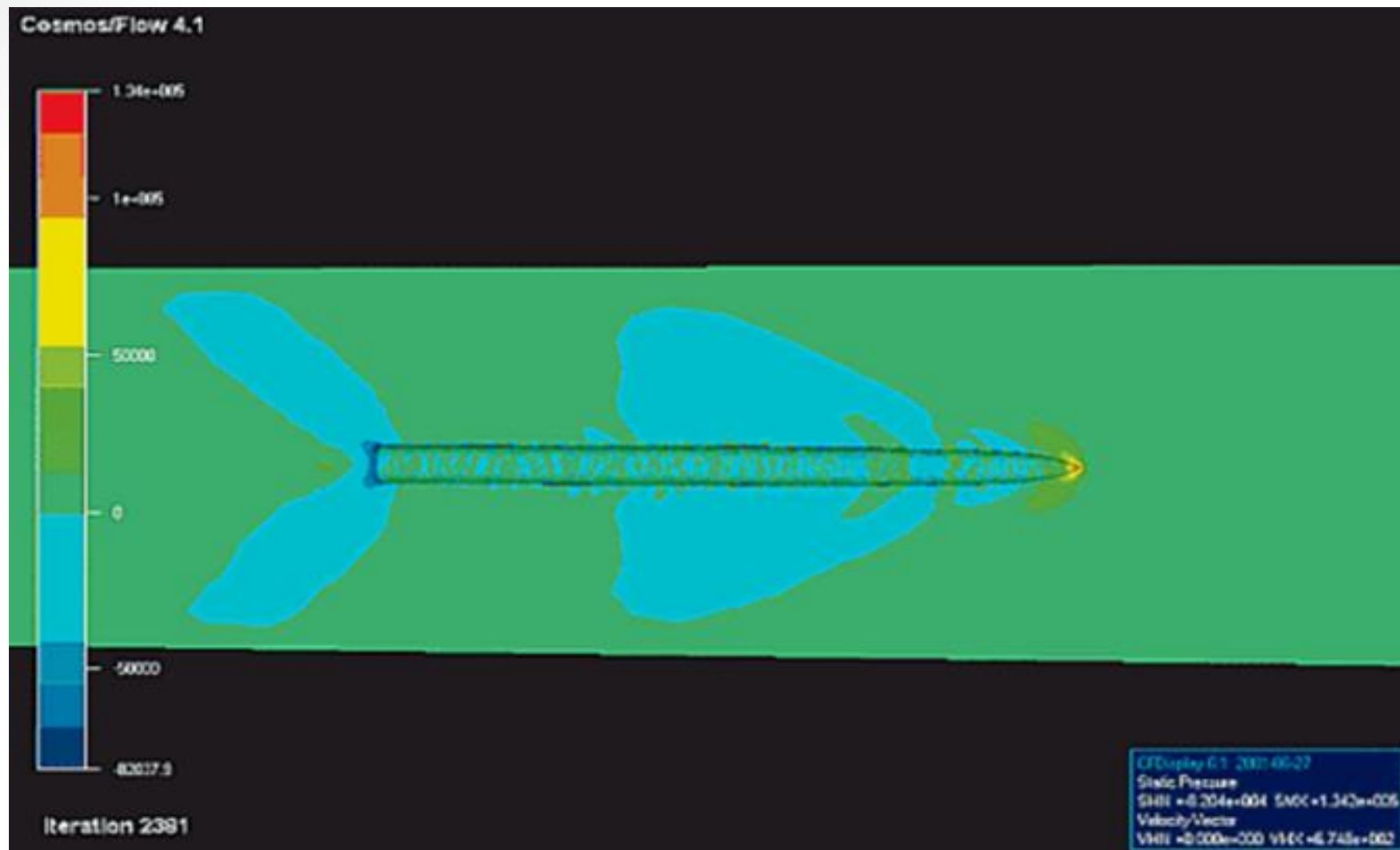
Units: N/m^2 Deformation Scale: 1:0



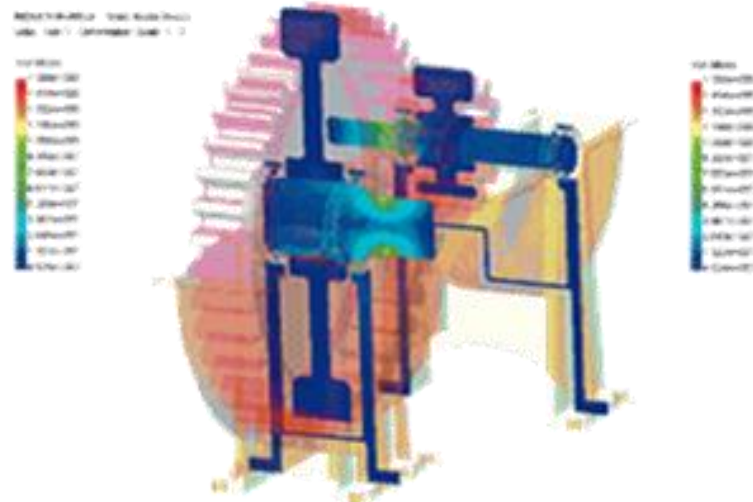
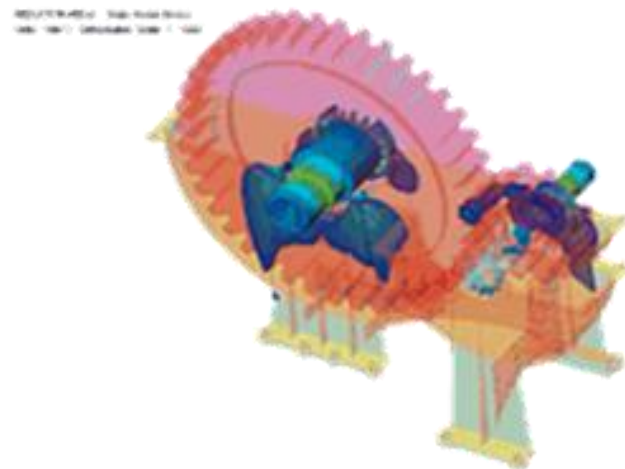
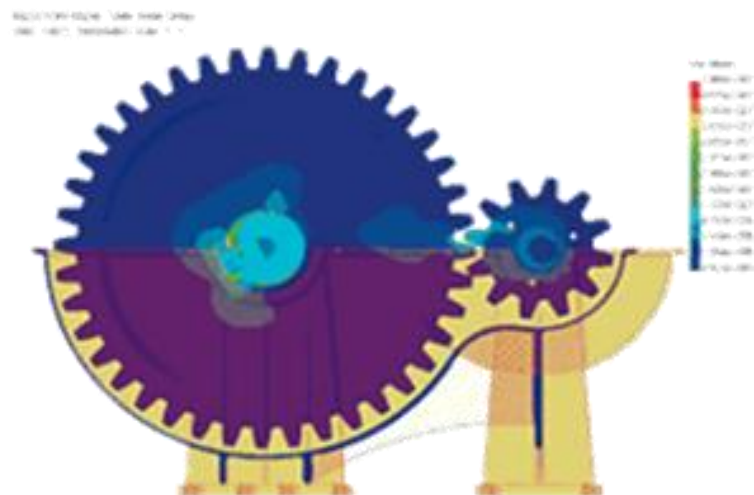
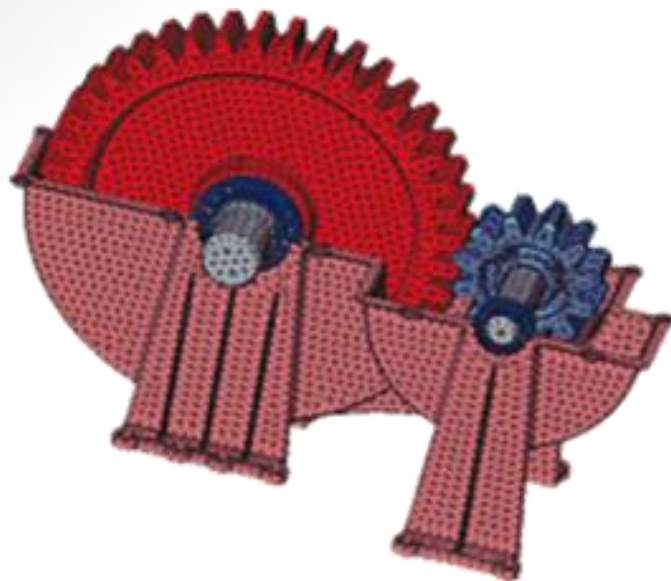
Конечно-элементное представление корпуса снаряда и распределение сил давления на его поверхности (COSMOS/DesignSTAR).



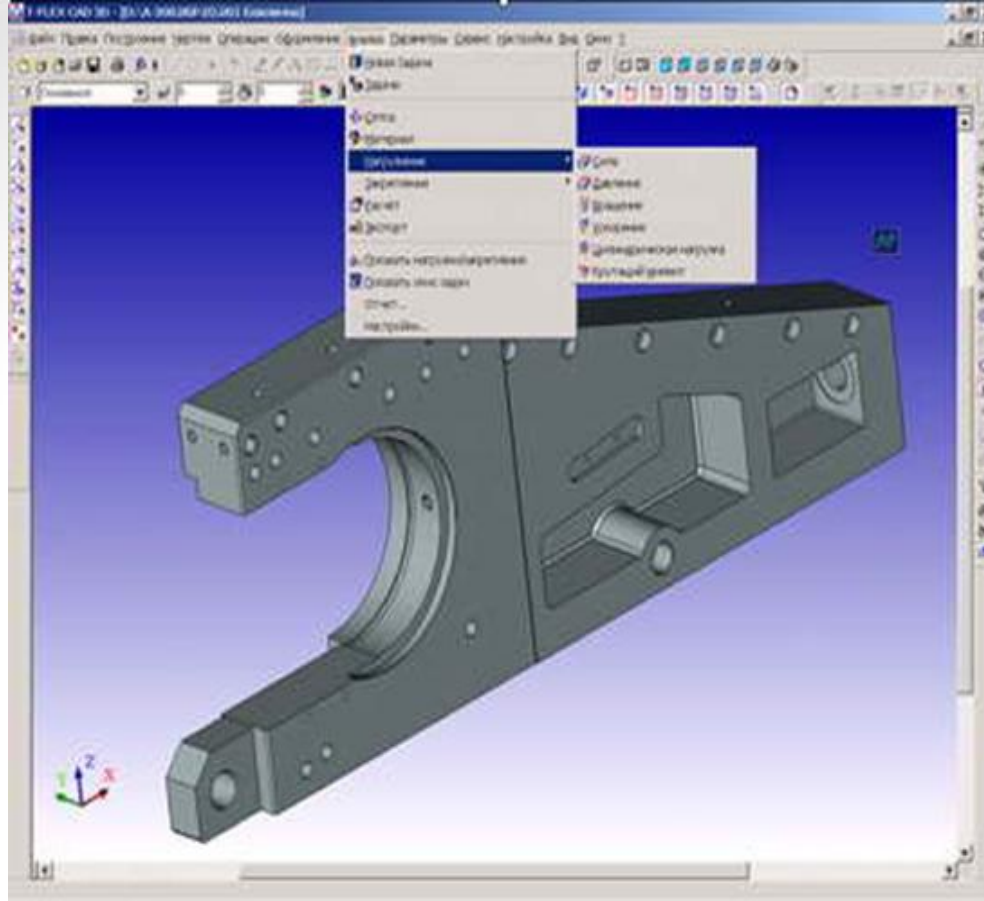
Распределение относительного статического давления при обтекании снаряда сверхзвуковым потоком (COSMOS/DesignSTAR).



Представление редуктора.



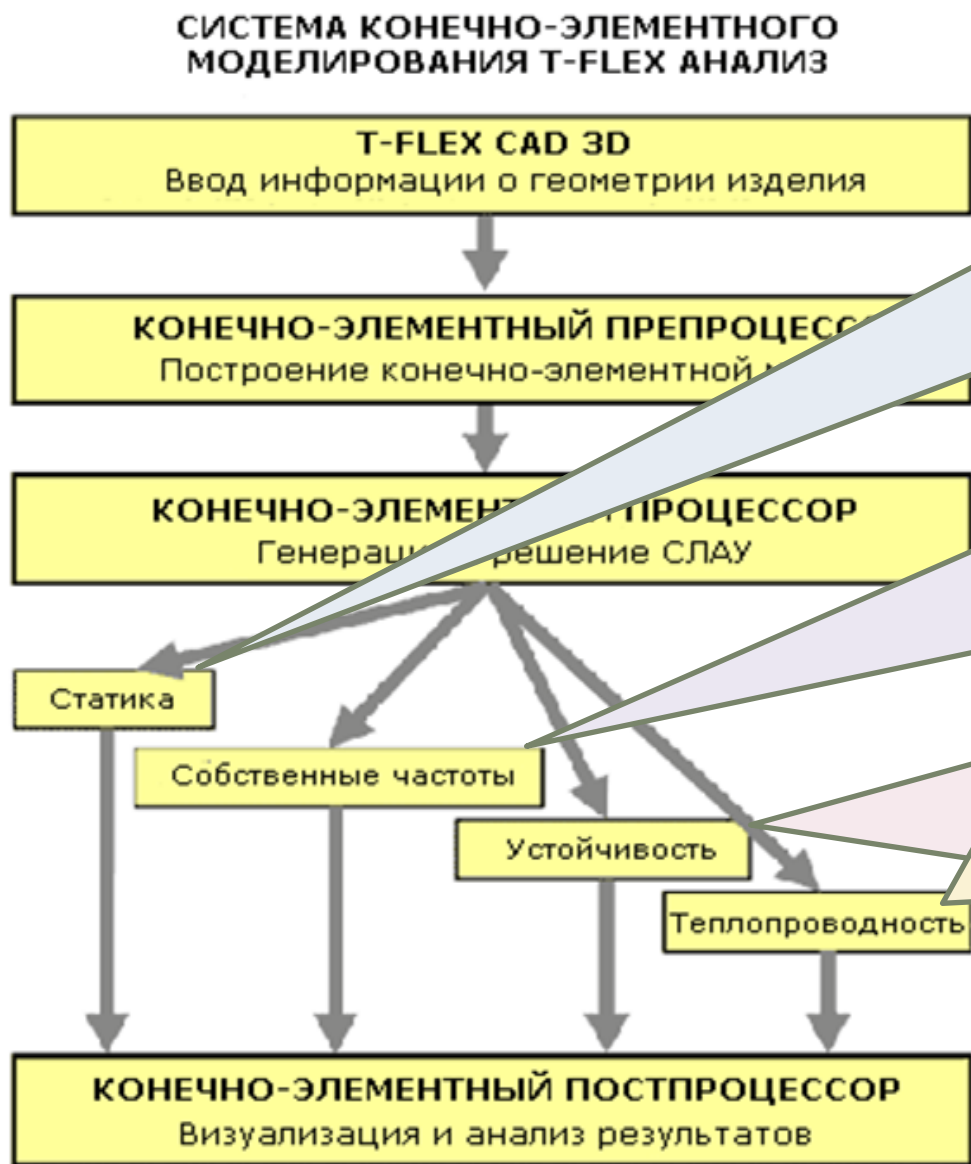
2.10. Среда конечно-элементных расчётов T-FLEX Анализ



Главной отличительной особенностью системы является её *глубокая интеграция с комплексом геометрических редакторов*. Модули конечно-элементного анализа интегрированы непосредственно в систему 3D моделирования T-FLEX CAD 3D.

T-FLEX Анализ организован по *модульному принципу*, что позволяет пользователю гибко подойти к комплектации рабочего места расчётчика. В зависимости от решаемых задач, пользователь может выбрать один или несколько *из четырёх расчётных модулей*.

Обобщенная структурная схема системы T-FLEX Анализ.



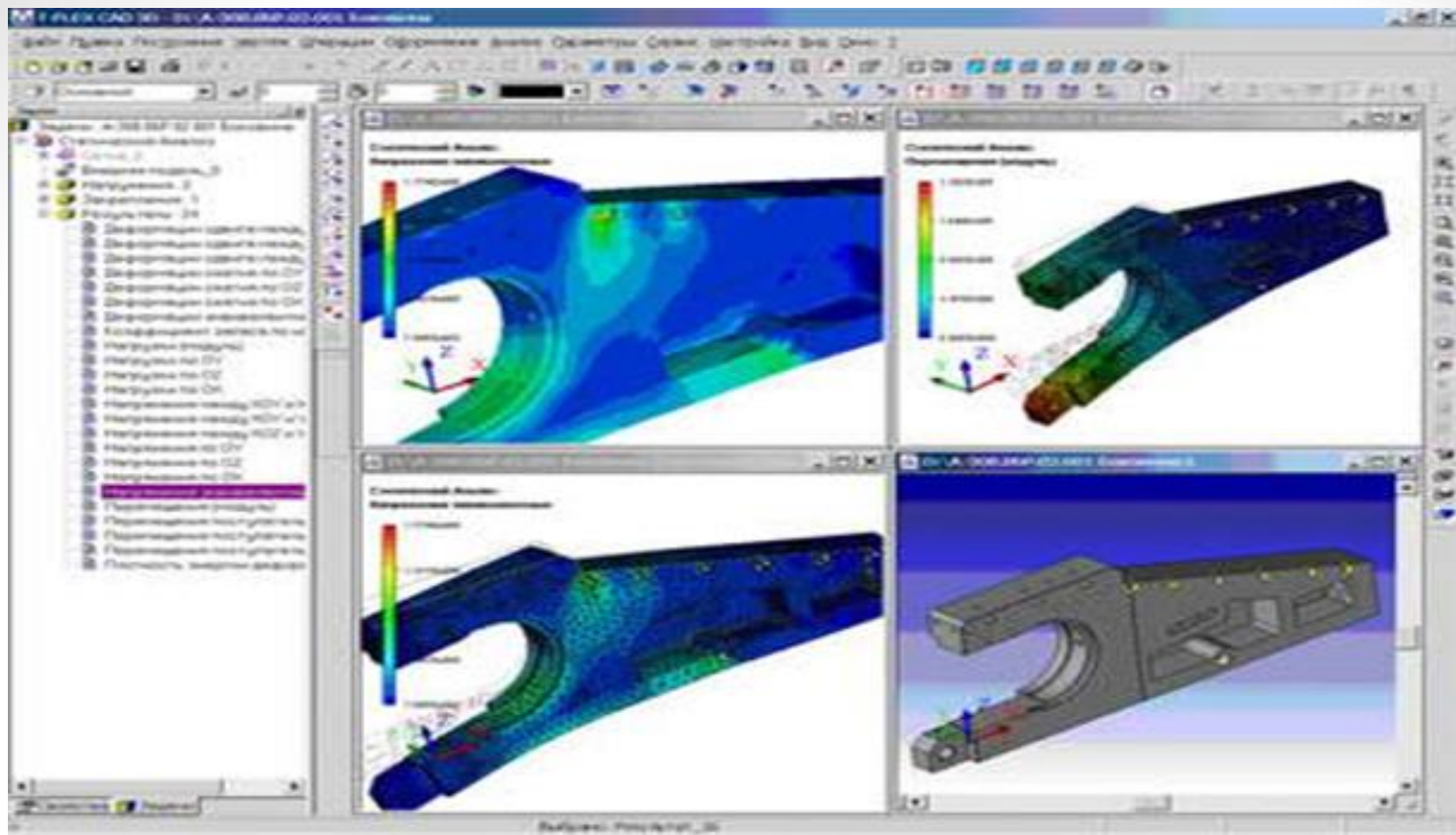
Статический анализ – позволяет осуществлять расчёт напряжённого состояния конструкций под действием приложенных к ним нагрузок.

Частотный анализ – позволяет осуществлять расчёт собственных (резонансных) частот конструкции.

Анализ устойчивости – важен при проектировании конструкций, эксплуатация которых происходит в условиях динамических нагрузок.

Тепловой анализ – модуль обеспечивает возможность оценки температурного поведения изделия под действием источников тепла и излучения.

Использование команды T-FLEX Анализ "Сетка" для построения тетраэдральной КЭ модели изделия.



3. CAE-системы российской разработки

EULER (Эйлер) — программный комплекс автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем;

FEM-models — программный комплекс для моделирования и анализа методом конечных элементов. Специализация программы — геотехнические расчеты, совместные расчеты систем здание-основание;

Femap — независимый от САПР пре- и постпроцессор для проведения инженерного анализа методом конечных элементов;

АСОНИКА - Автоматизированная система обеспечения надёжности и качества аппаратуры (комплекс подсистем моделирования радиоэлектронной аппаратуры методом МКЭ и МКР (разностей));

CAE Fidesys — универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;

OpenFOAM — свободно-распространяемая универсальная система пространственного моделирования *механики сплошных сред*;

QForm 2D/3D — специализированный программный комплекс для моделирования и оптимизации *технологических процессов объёмной штамповки*;

SALOME — платформа для проведения расчётов МСС (*механика сплошной среды*), (подготовка данных — мониторинг расчёта — визуализация и анализ результатов);

STAR-CD — универсальная система МКО анализа с пре-/постпроцессором;

STAR-CCM+ — универсальная система МКО анализа с пре-/постпроцессором;

T-FLEX Анализ — универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;

CAElinux — дистрибутив операционной системы Линукс, включающий в себя *ряд свободных CAE-программ*, в том числе OpenFOAM и SALOME;

Универсальный механизм (UM) — программный комплекс предназначен для моделирования *динамики и кинематики плоских и пространственных механических систем*;

ФРУНД — комплекс моделирования *динамики систем твёрдых и упругих тел*;

MBDyn — система комплексного анализа и расчётов нелинейной *динамики твёрдых и упругих тел, физических систем, «умных» материалов, электрических сетей, активного управления, гидравлических сетей, аэродинамики самолётов и вертолёт*ов.

Заключение

Компьютерное проектирование – один из наиболее важных этапов жизненного цикла изделия, который неразрывно связан с исследованием конструкции машины и оценкой ее эксплуатационных параметров средствами CAE.

Отличительной особенностью CAE-программ является большой объем одновременно обрабатываемых данных.

Компьютерный инженерный анализ фактически является вычислительным экспериментом, а программы CAE выполняют при этом роль исследовательского инструмента.

Преимуществом	компьютерного	исследования
является	возможность	анализировать
междисциплинарные	расчетные	модели и
визуализировать скрытые процессы.		

Задание для самостоятельной работы

1. Подготовиться к экспресс контролю по материалам лекции.
2. Подготовить отчет по КР в электронном виде.