

**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

САЕ 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 САЕ системах.

Функции САЕ 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 САЕ 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 САЕ 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***.

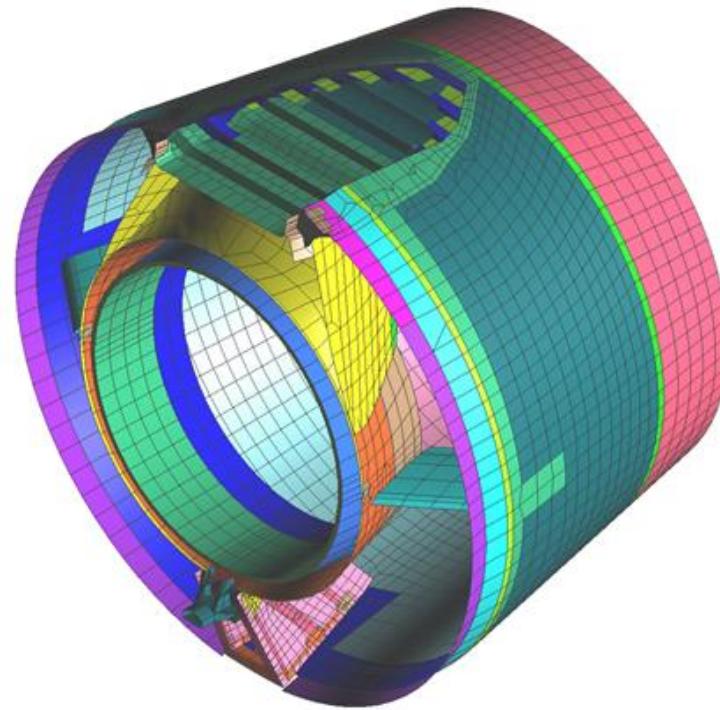
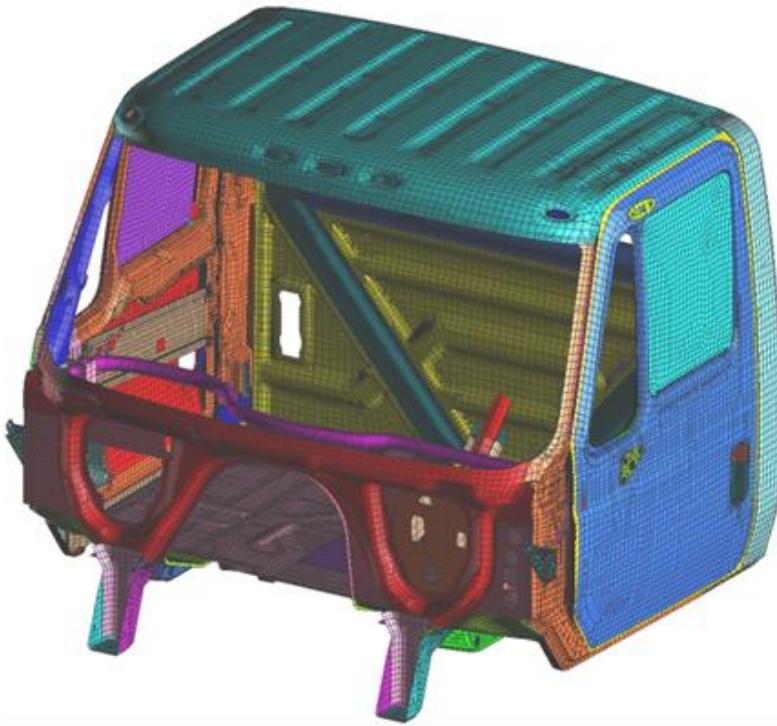
2.1. Система расчета и оптимизации конструкций NASTRAN

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 неустановившихся 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.

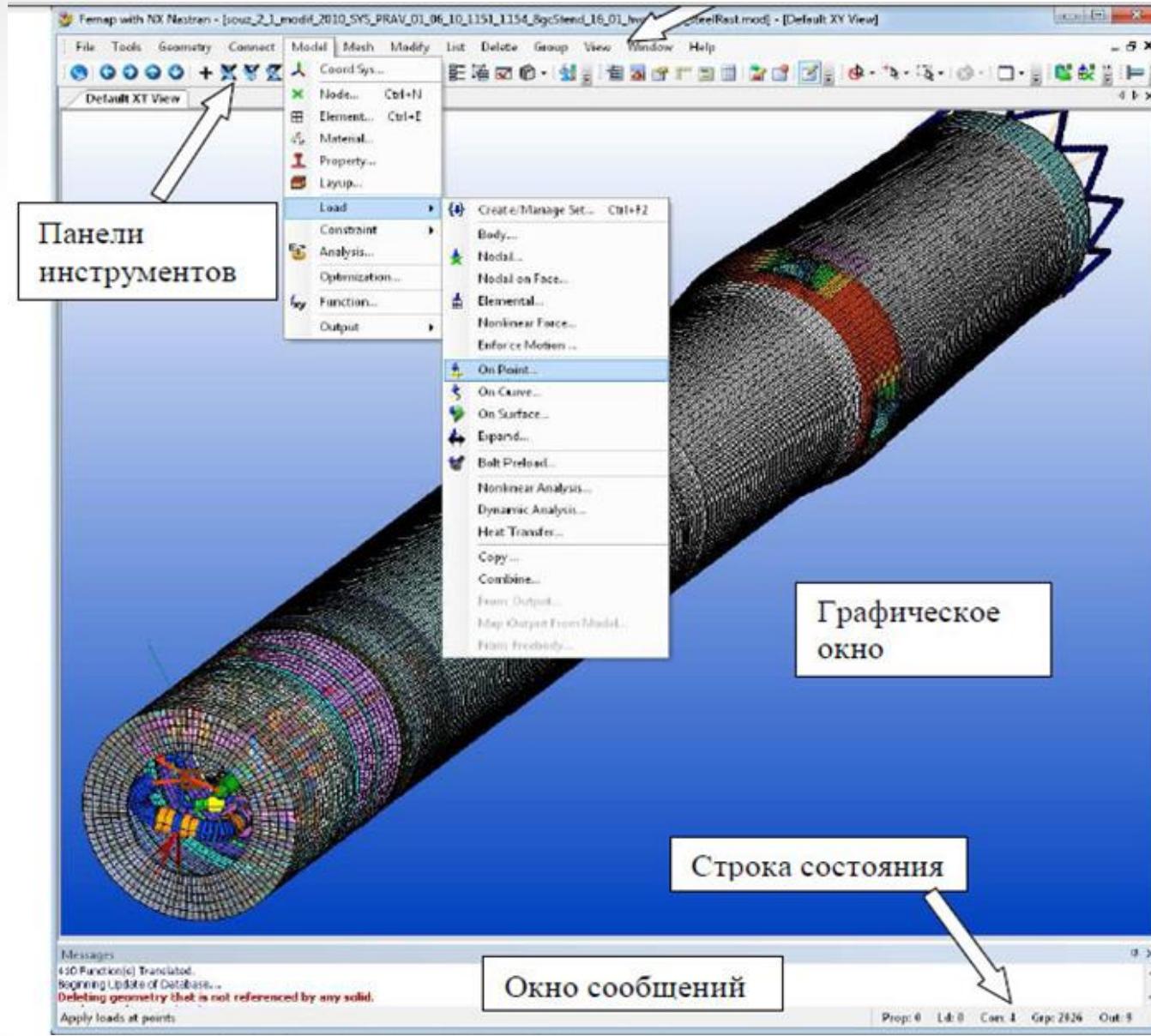
Рис. 1. Виды моделей в системе Nastran.



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

Система ориентирована на расчет и оптимизацию конструкций.

Рис. 2. Главное окно моделирования препроцессора MSC/NASTRAN FEMAP.



Система расчета и оптимизации конструкций Nastran

Оптимизация выполняется для задач *устойчивости, установившихся и неустановившихся 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.

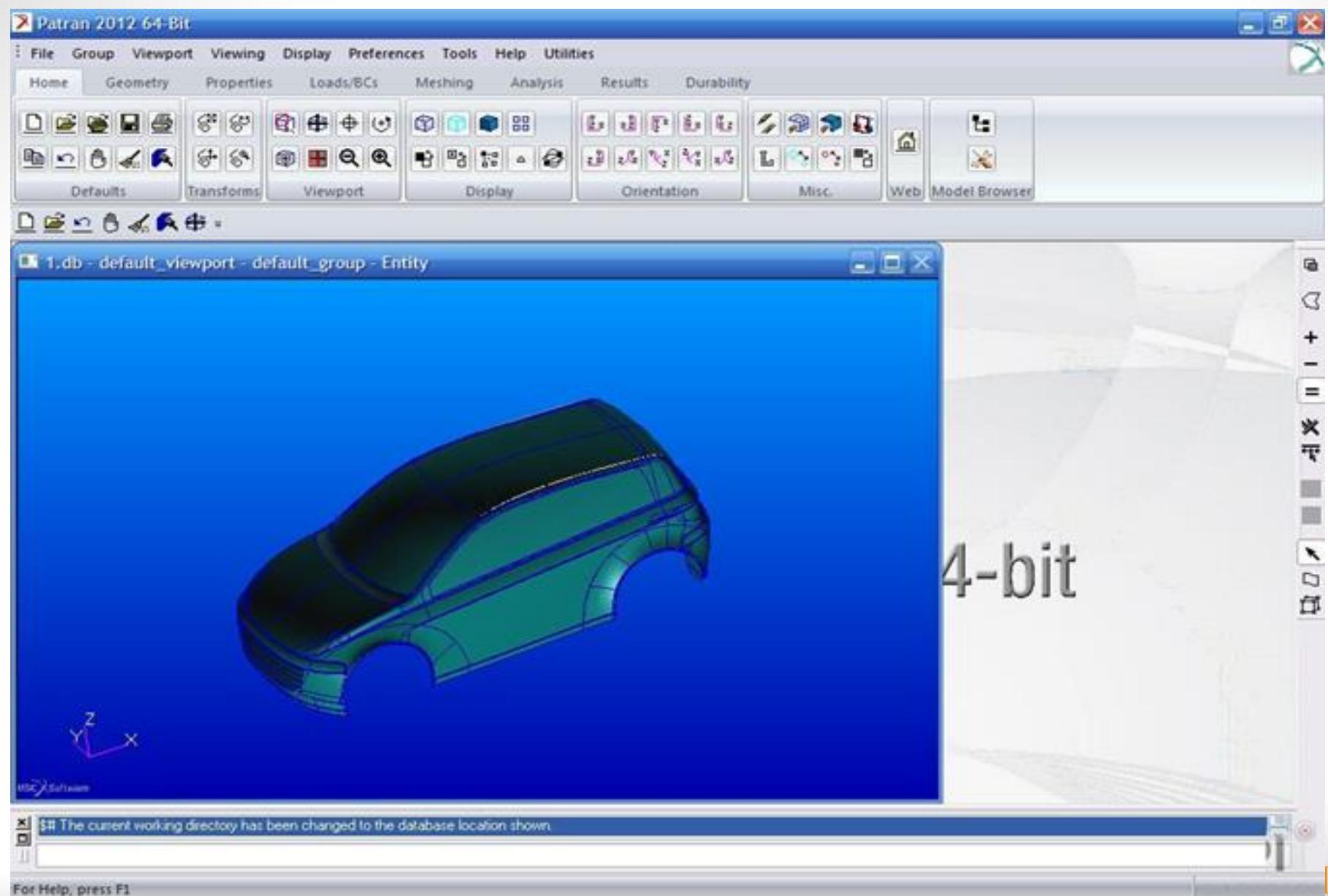
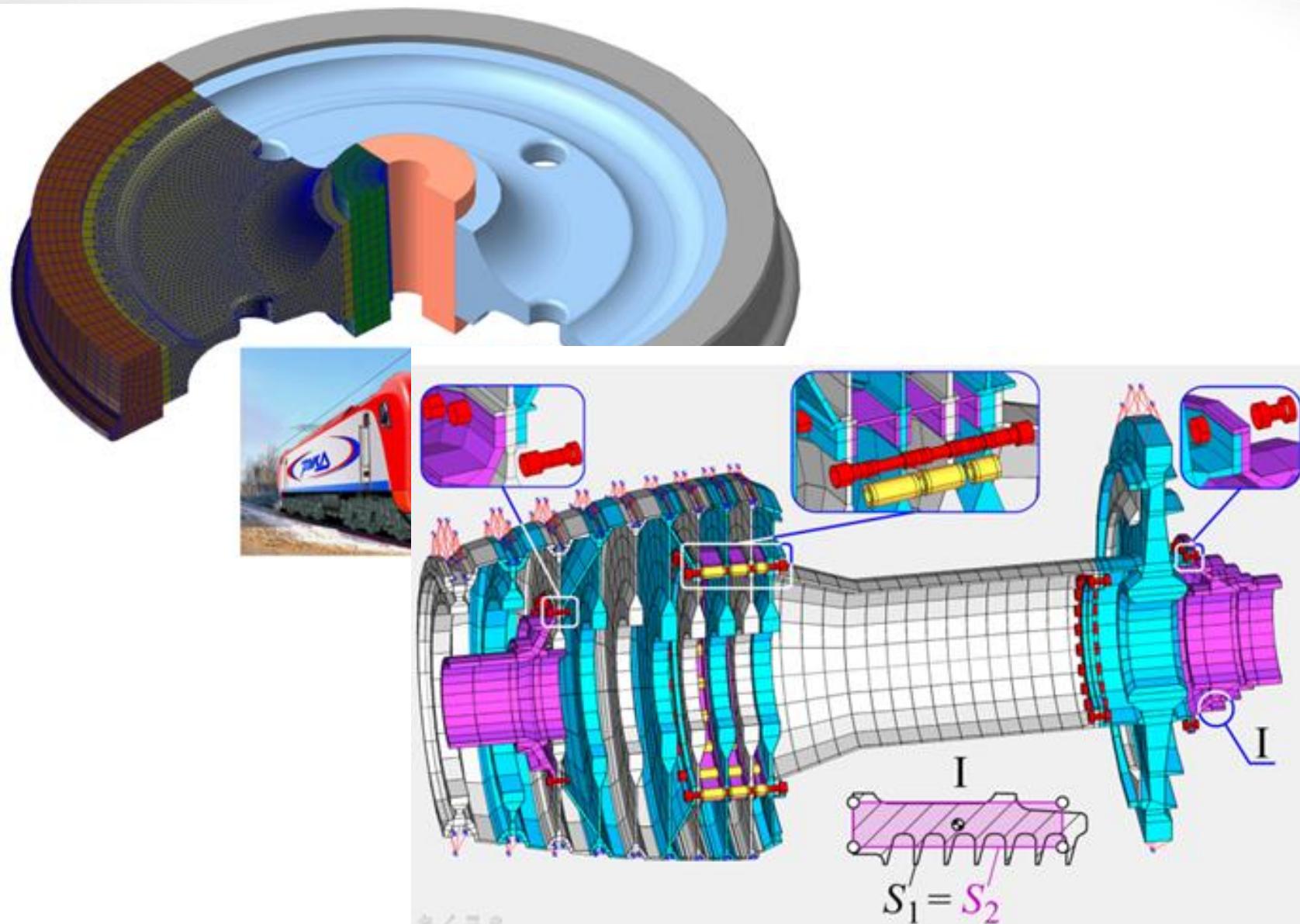


Рис. 4. Виды объектов в среде Patran.



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 модификации 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.

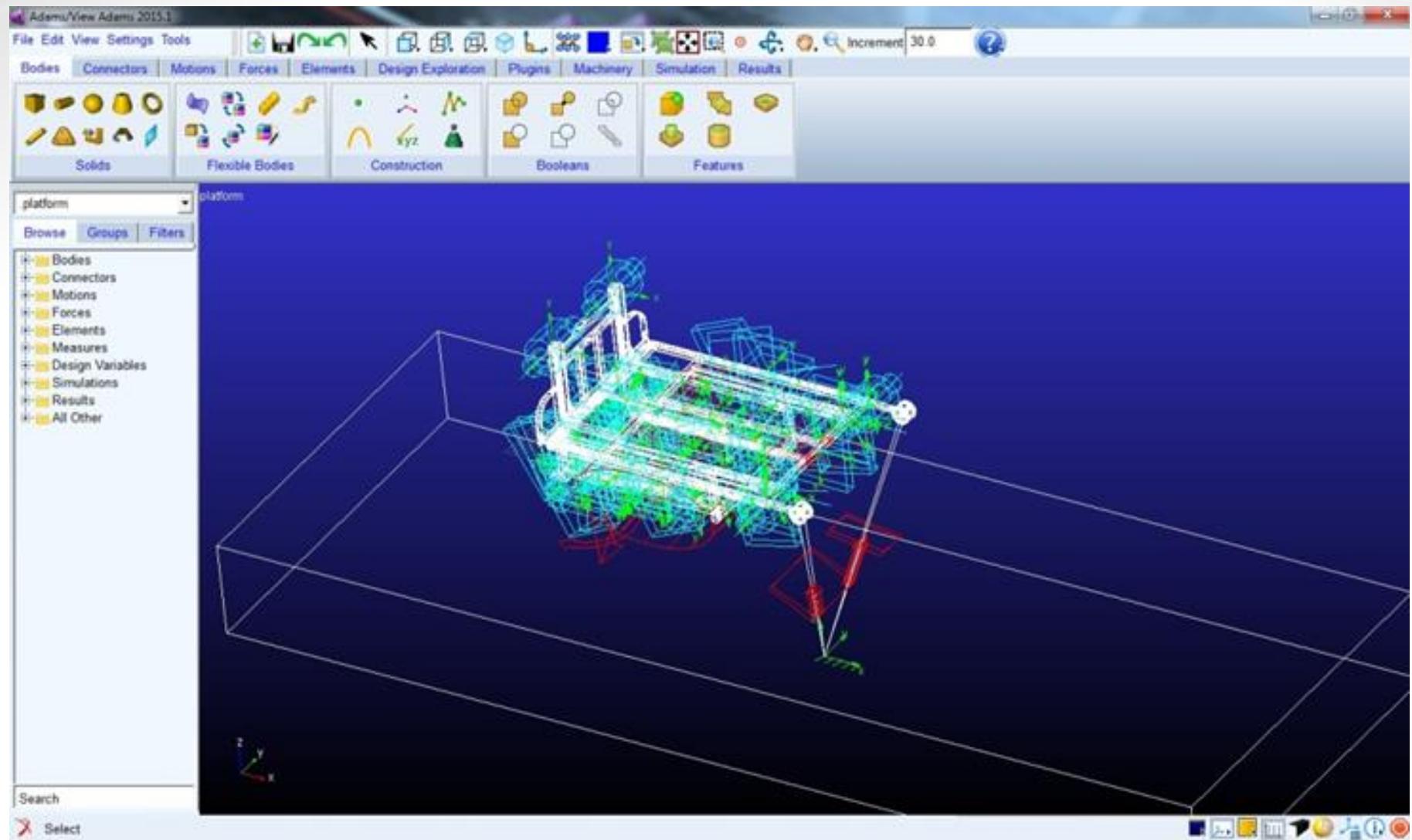
В основе пакета ADAMS высокоеффективный препроцессор и комплект специализированных решателей.

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 АВАМ, решатель Runge-Kutta, специальный решатель Vibration, для анализа в частотной области.**

С помощью Adams можно быстро создать полностью параметризованную модель изделия, строя 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.

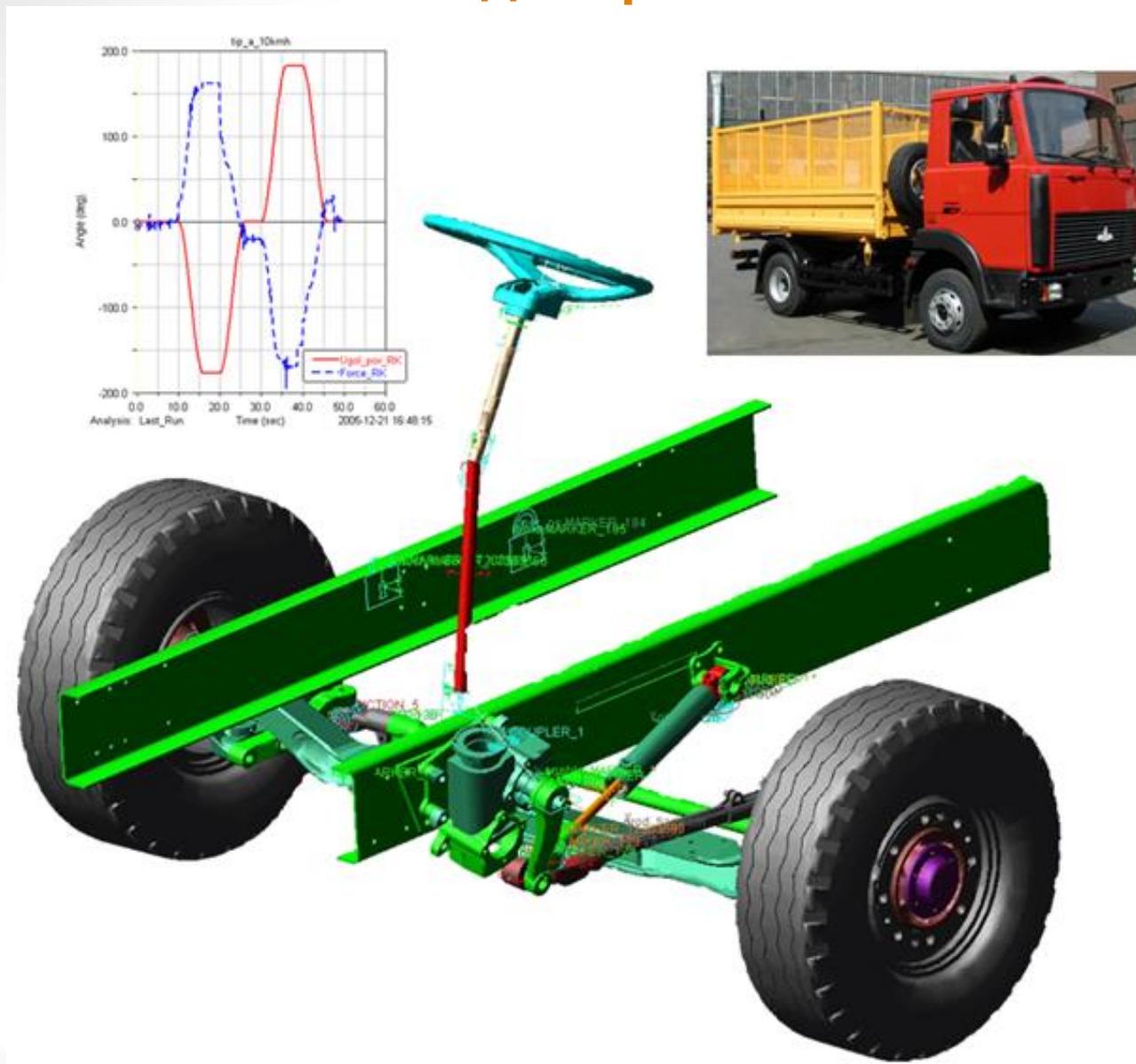
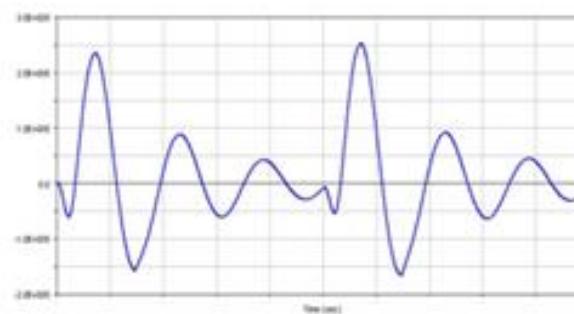
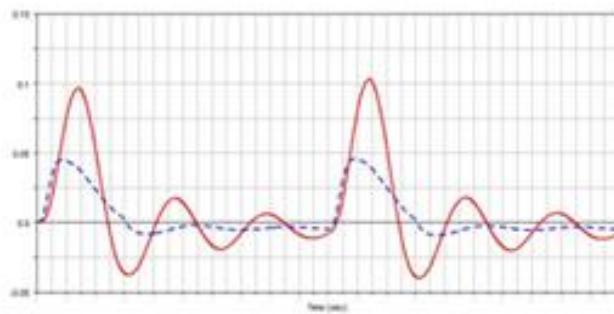
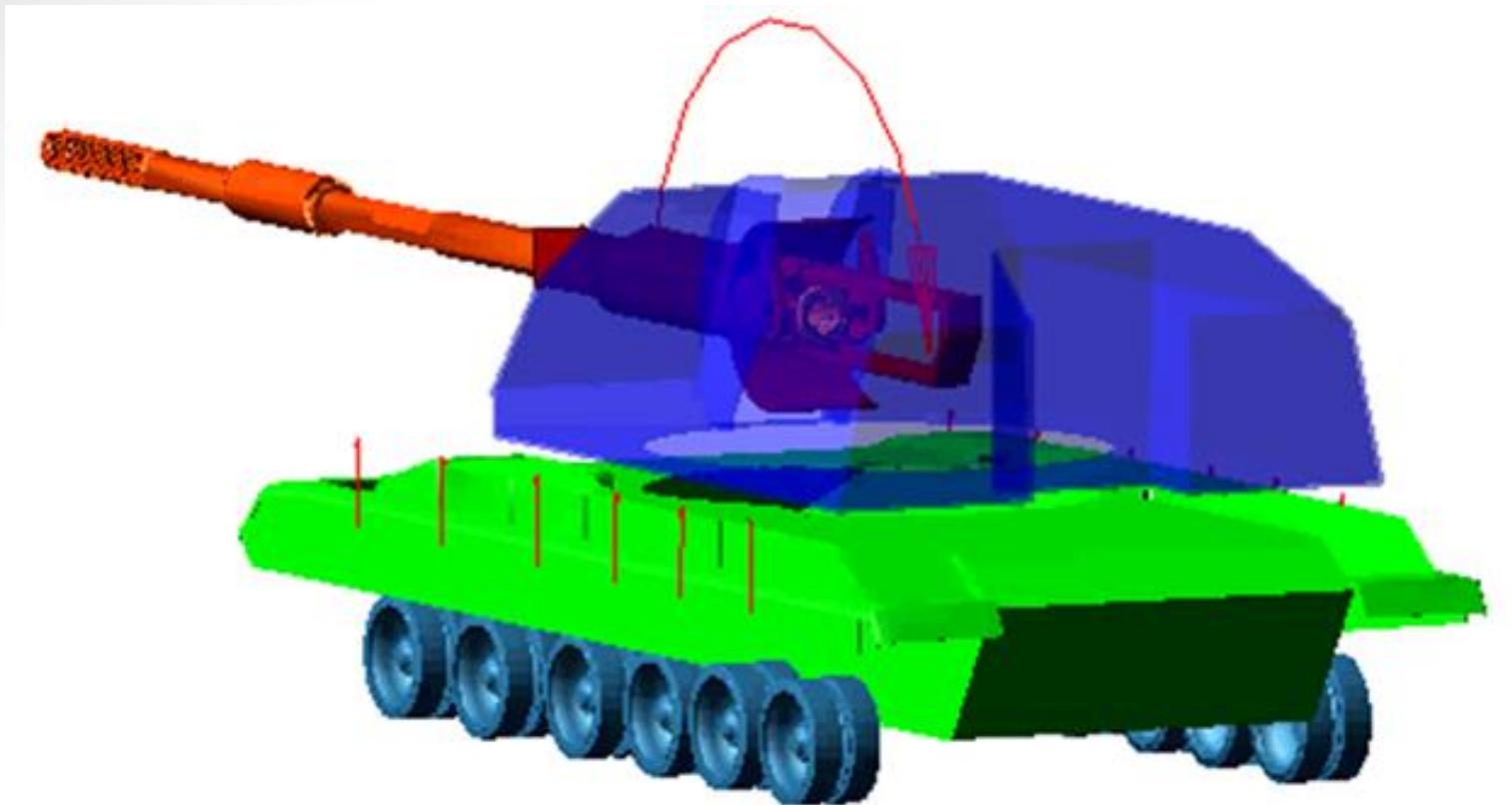


Рис. 7. Моделирование динамики САО.

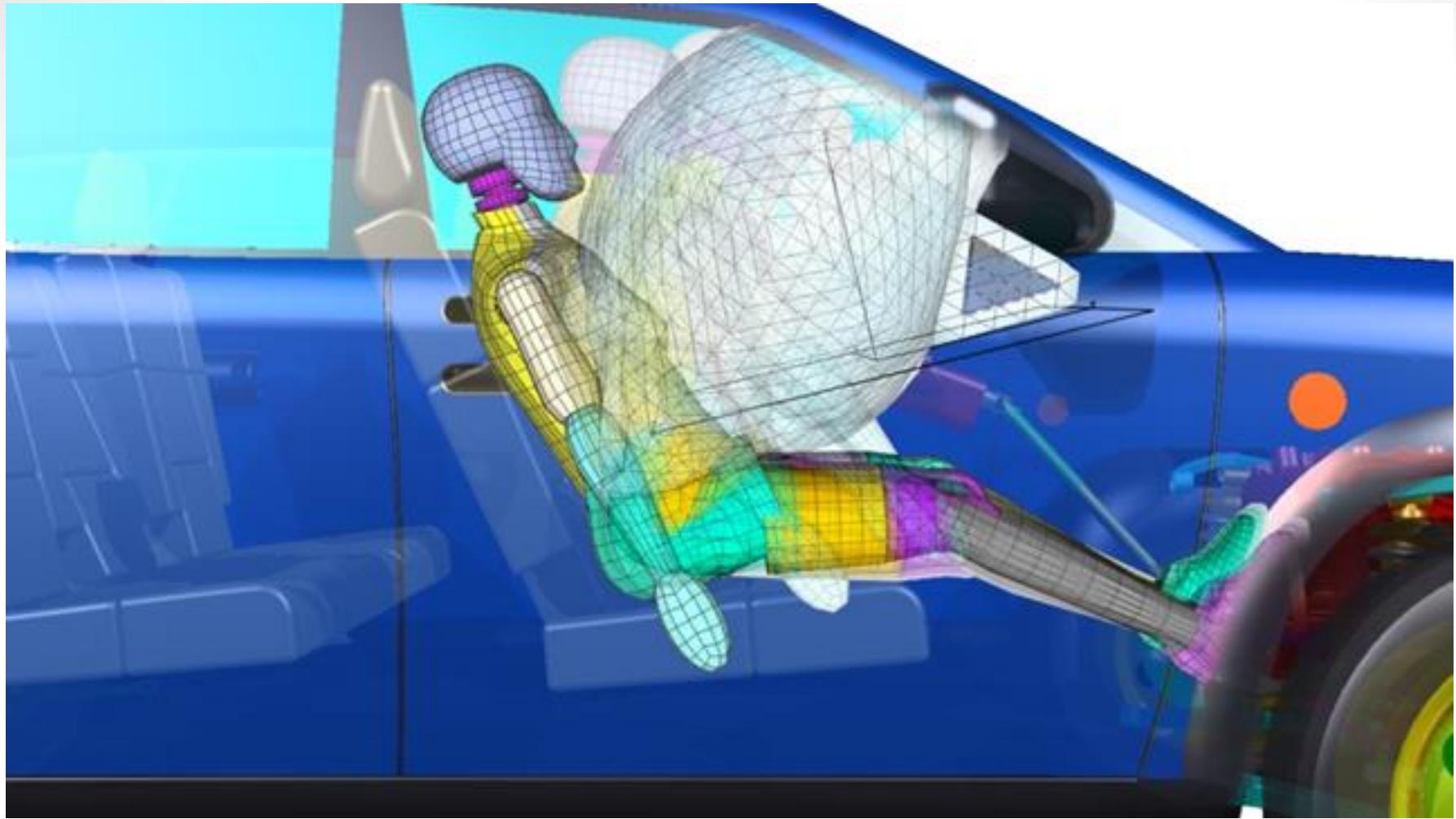


2.4. Система анализа нелинейных быстропротекающих динамических процессов *Dytran*

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 служит 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 Marc.

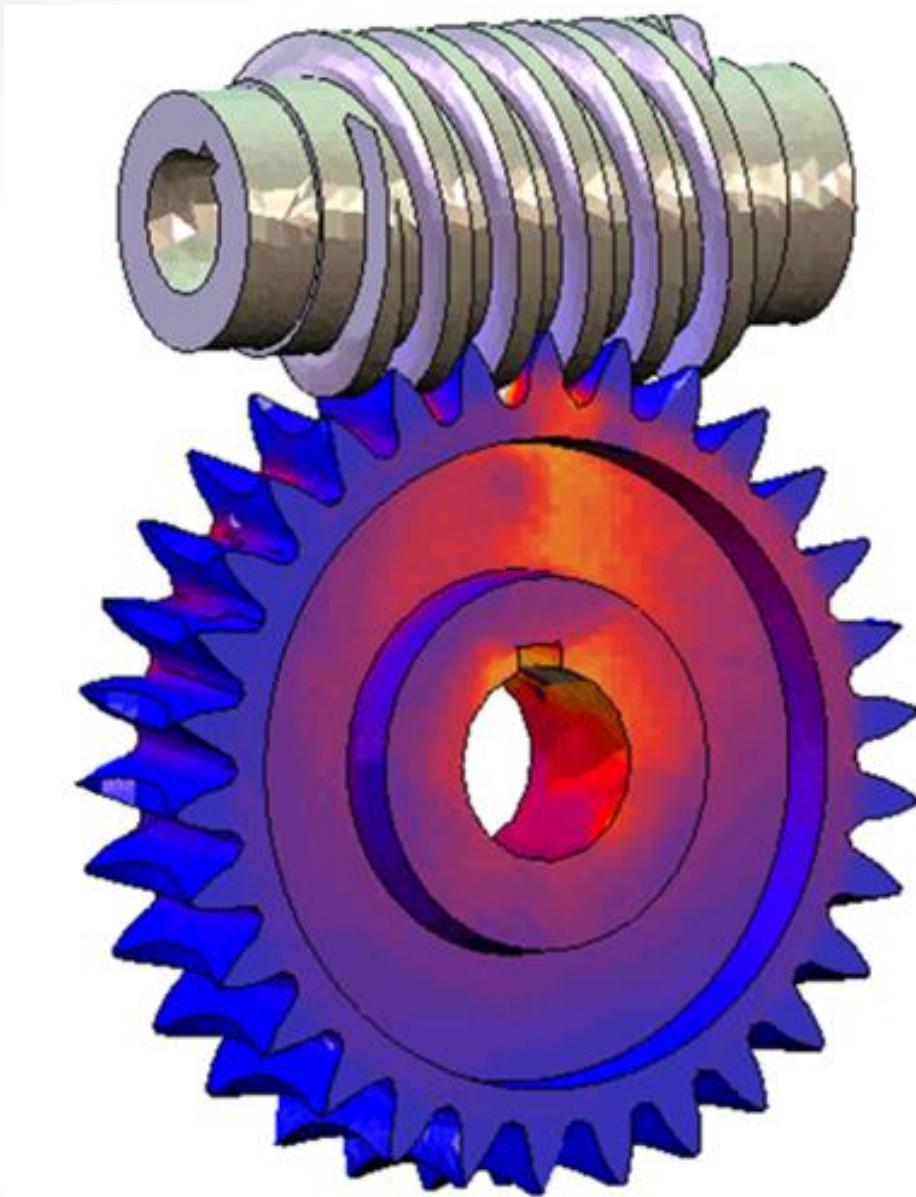
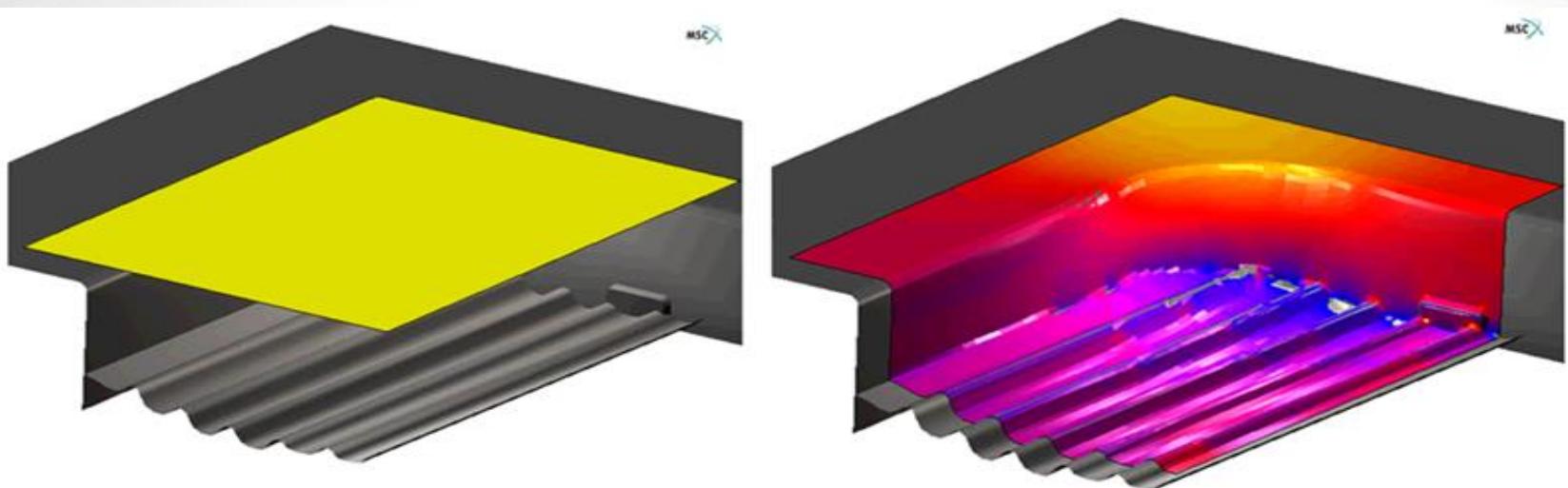


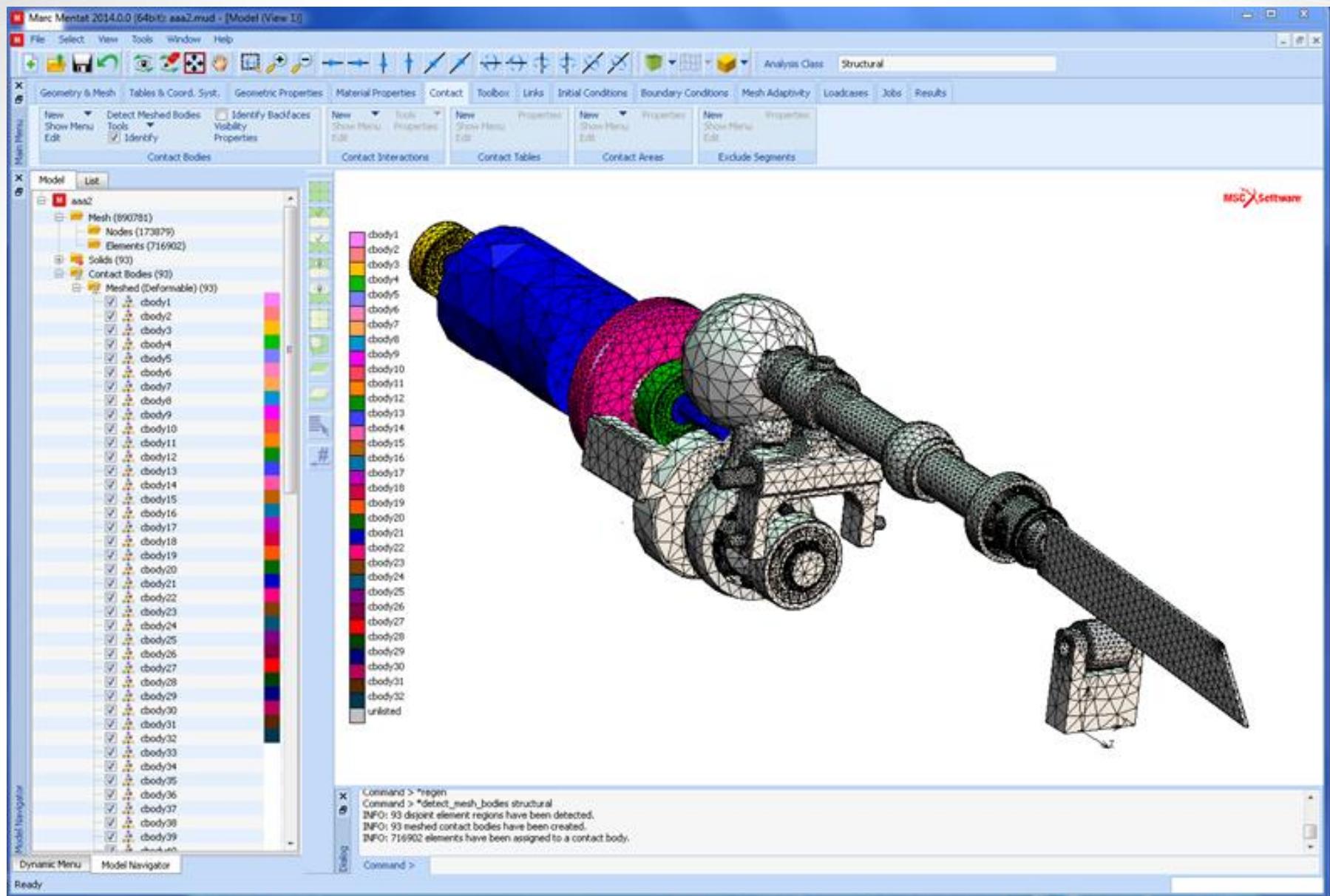
Рис. 10. Моделирование листовой штамповки в Marc.



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

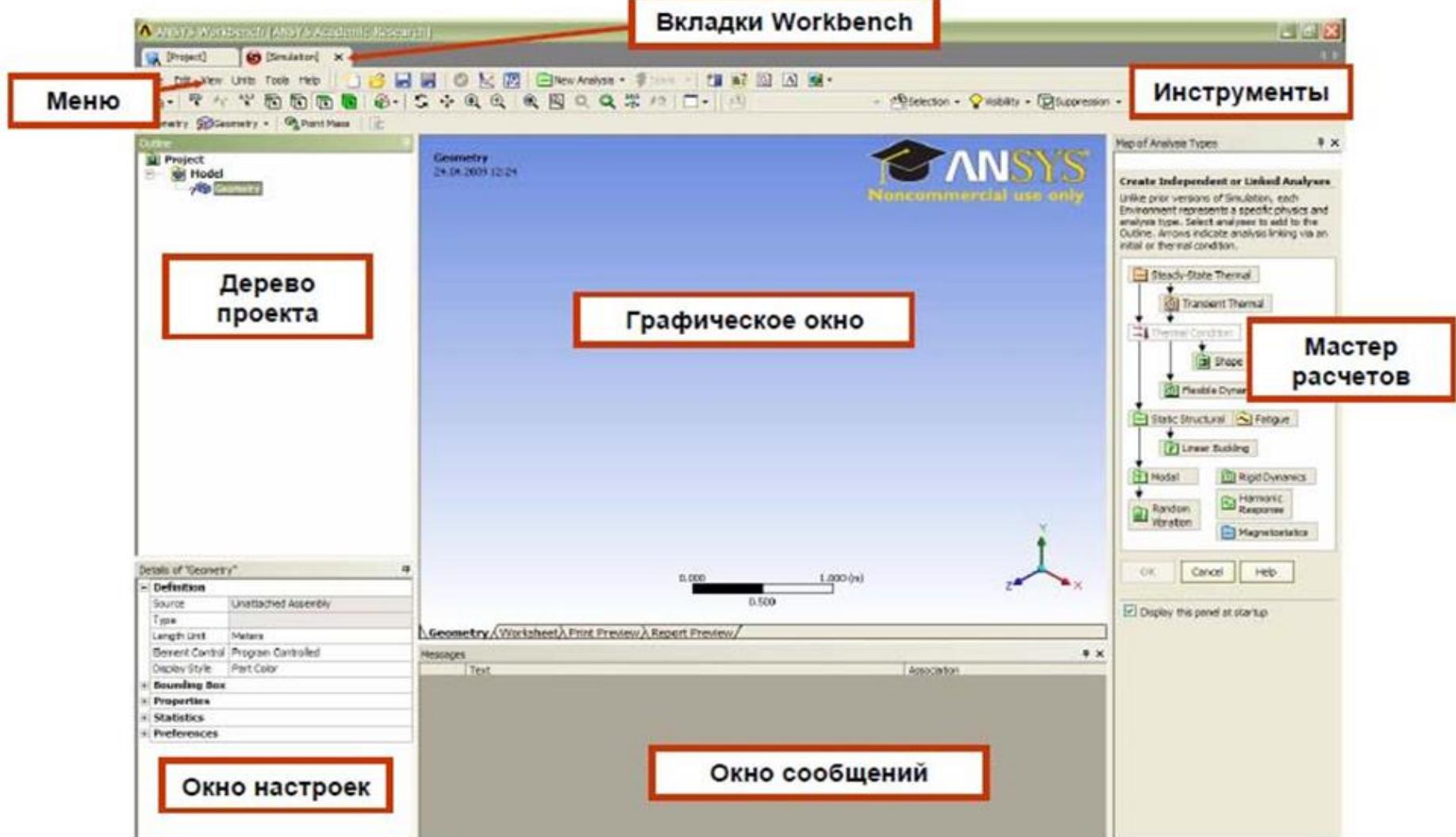
Модуль *Flotran* предназначен для задач гидрогазодинамики, включающие стационарные и нестационарные, сжимаемые и несжимаемые, вязкие и невязкие течения, многокомпонентные.

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.

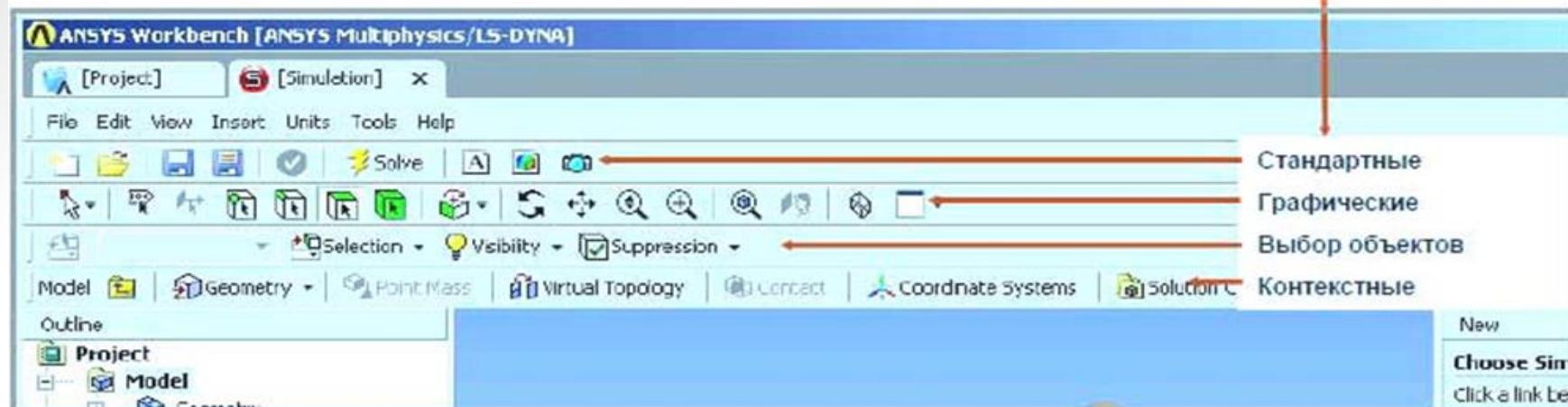
ANSYS

- Компоненты пользовательского интерфейса:

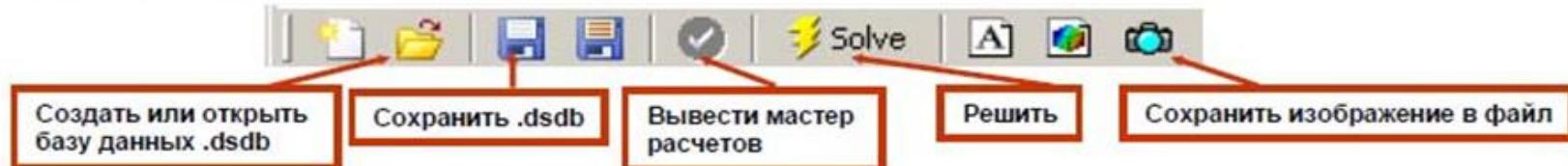


ANSYS

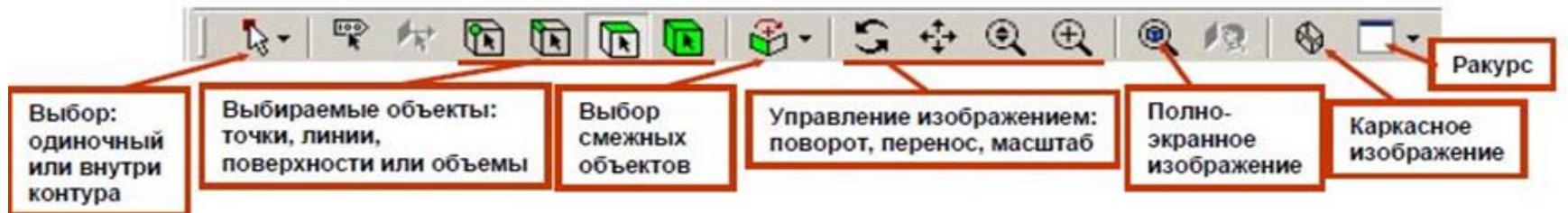
- Существует 4 набора инструментов для быстрого доступа к командам, содержащимся в разделах меню.



- 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.

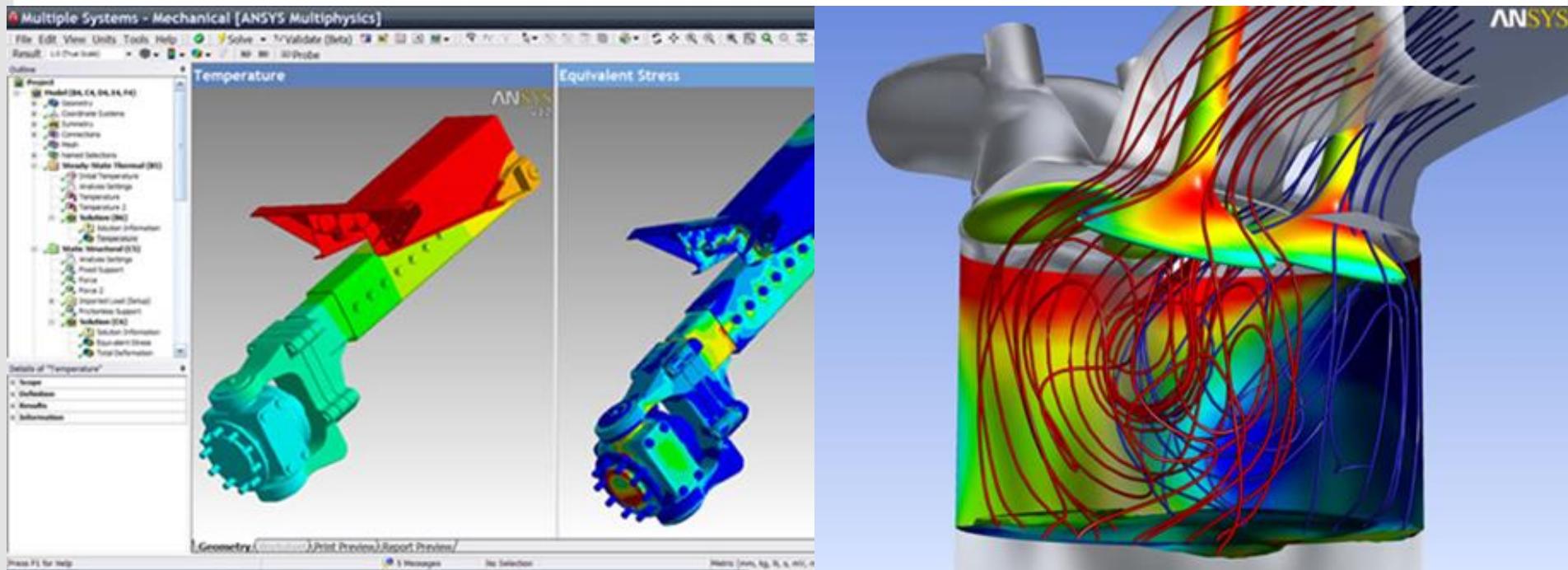
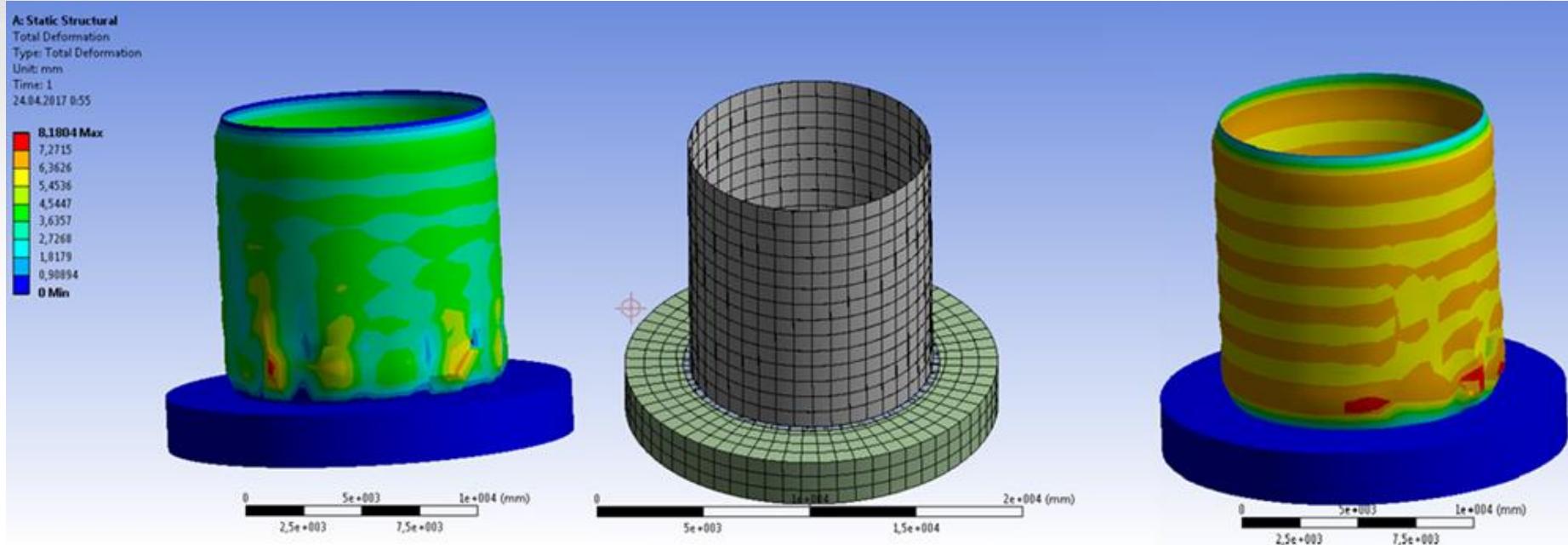


Рис. 15. Виды объектов в ANSYS.

Рис. 16. Расчет резервуара в Ansys Workbench.



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

ANSYS связан с САЕ-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

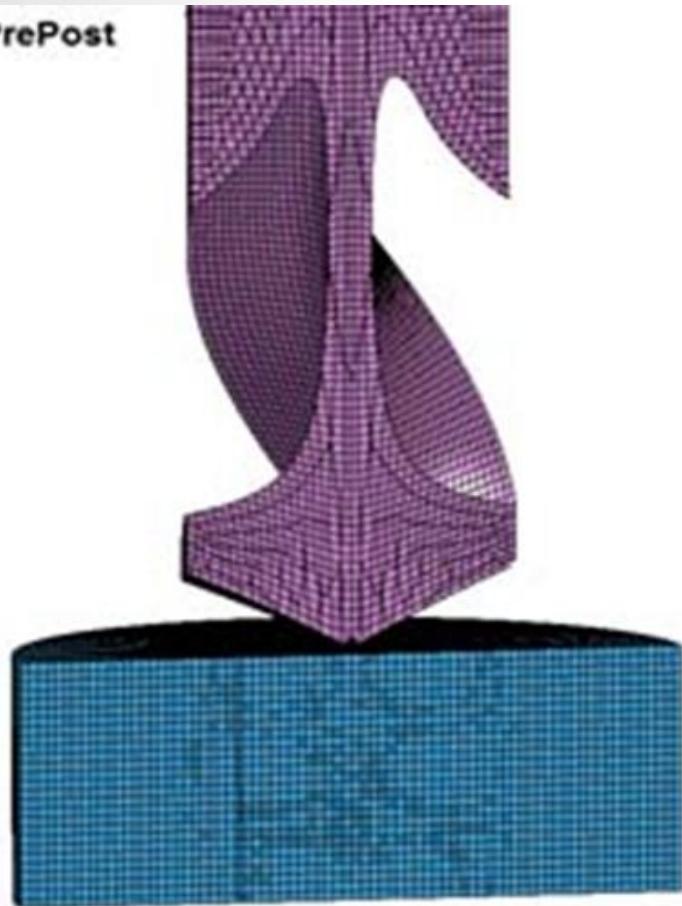
LS-DYNA - многоцелевая программа, предназначенная для решения трехмерных динамических нелинейных задач механики деформируемого твердого тела, механики жидкости и газа, теплопереноса, совместных задач механики деформированного твердого тела и теплопереноса, механики деформируемого твердого тела и механики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

-PrePost

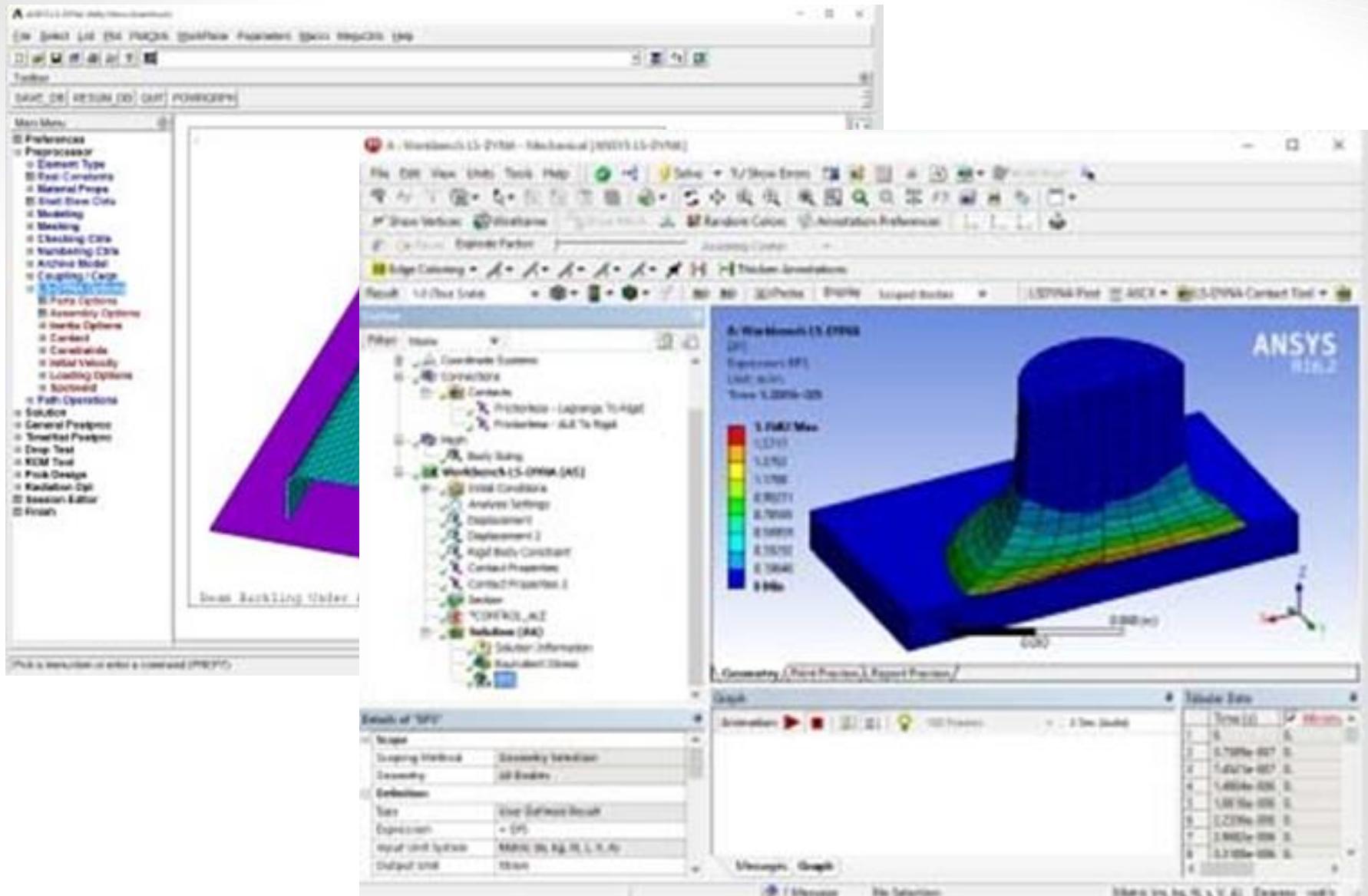


Программный пакет LS-DYNA оптимизирован под основные платформы и операционные системы, векторизован, распараллелен для систем с общей и распределенной памятью.

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.

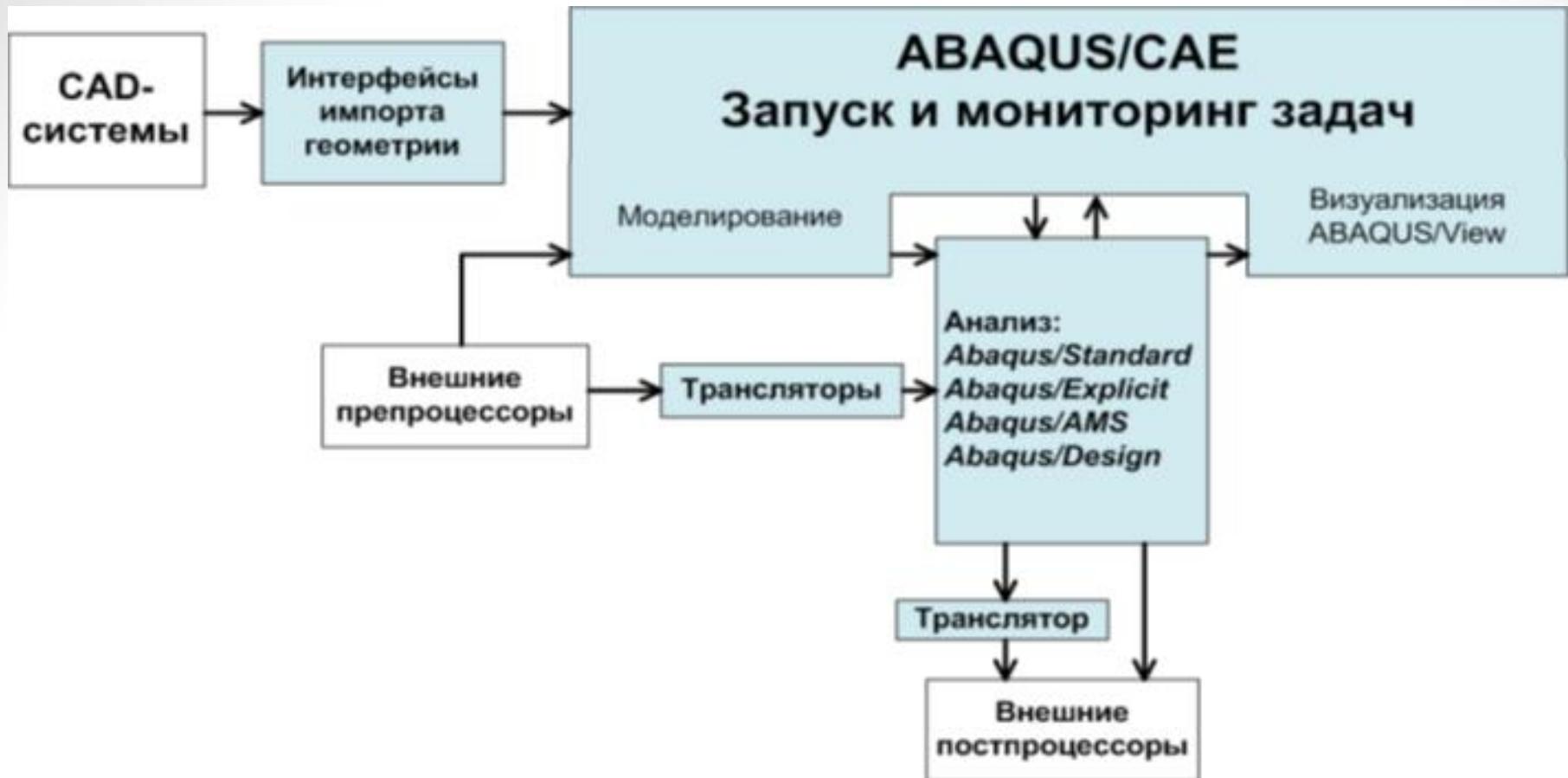


2.8. Программный комплекс прочностного конечноэлементного анализа ABAQUS

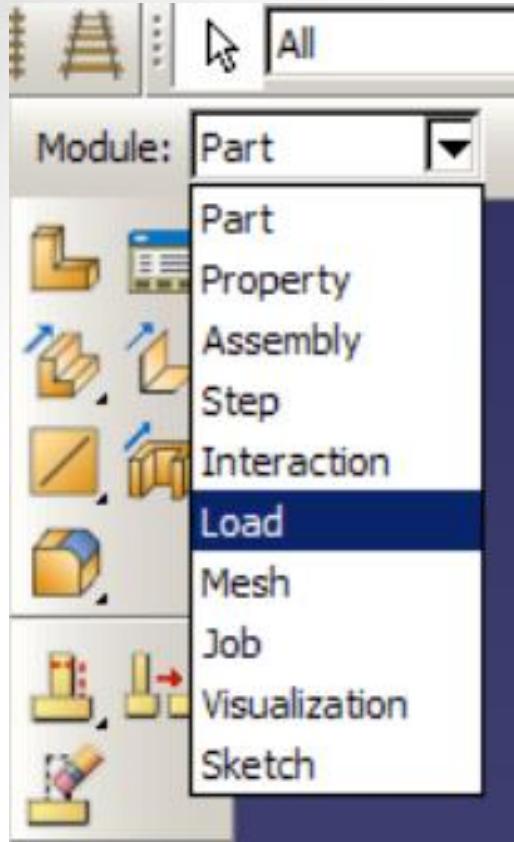
Конечно-элементный комплекс ABAQUS предназначен для проведения как прочностного инженерного многодисциплинарного анализа, так и для научно-исследовательских и учебных работ. Основные **сфера** **применения** ABAQUS — оборонная промышленность, авиастроение, автомобилестроение, электроника, металлургия, 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 формирование, 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.

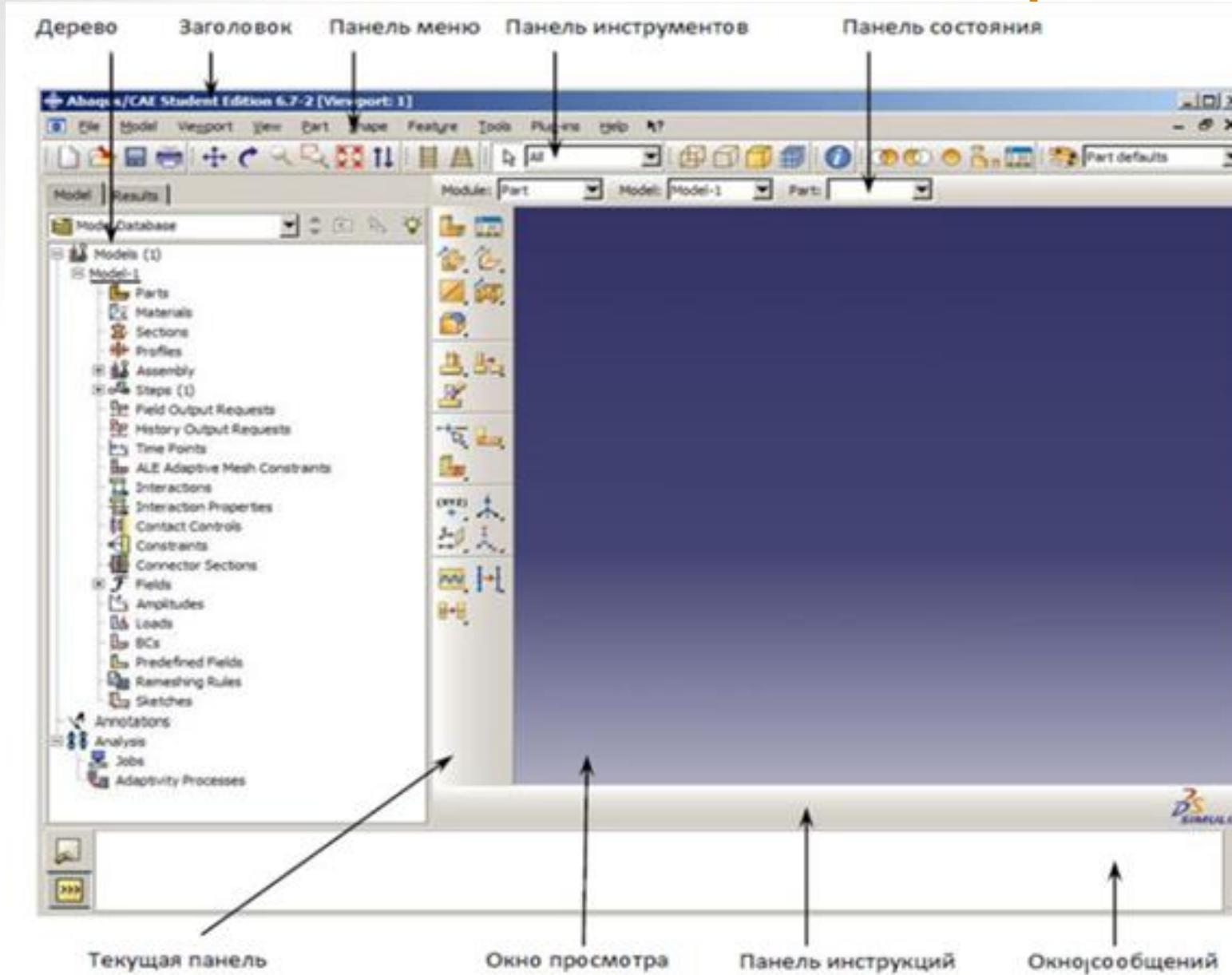
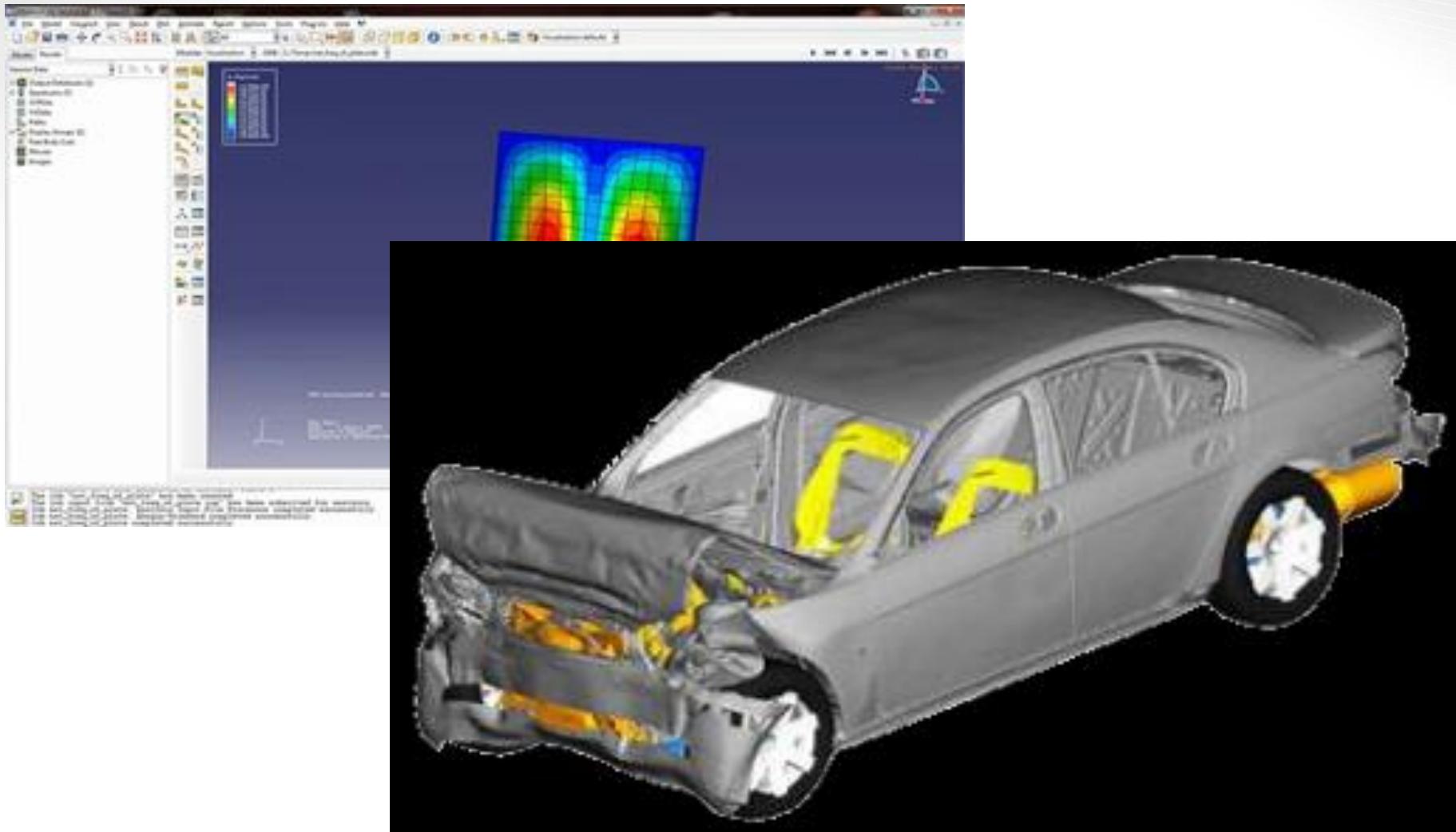


Рис. 21. Виды объектов в рабочем окне Abaqus.



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



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

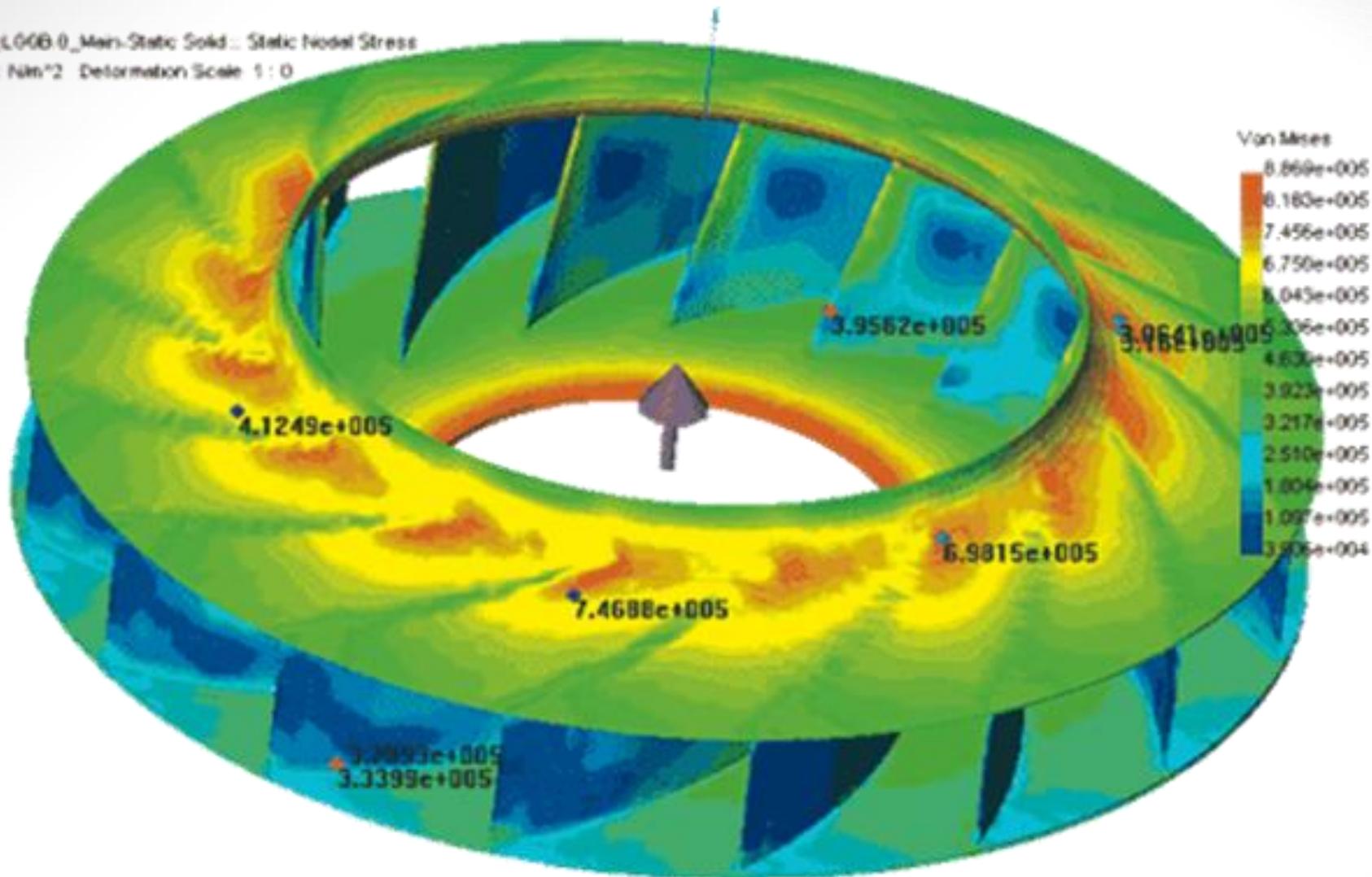
- *трехмерный графический CAD построитель*;
- *препроцессор*, который позволяет создавать КЭ сетку для модели, оформить расчетную схему, определить параметры вычислительного процесса и запустить соответствующий вычислительный модуль;
- *постпроцессор*, позволяющий представить результаты расчета в удобном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

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

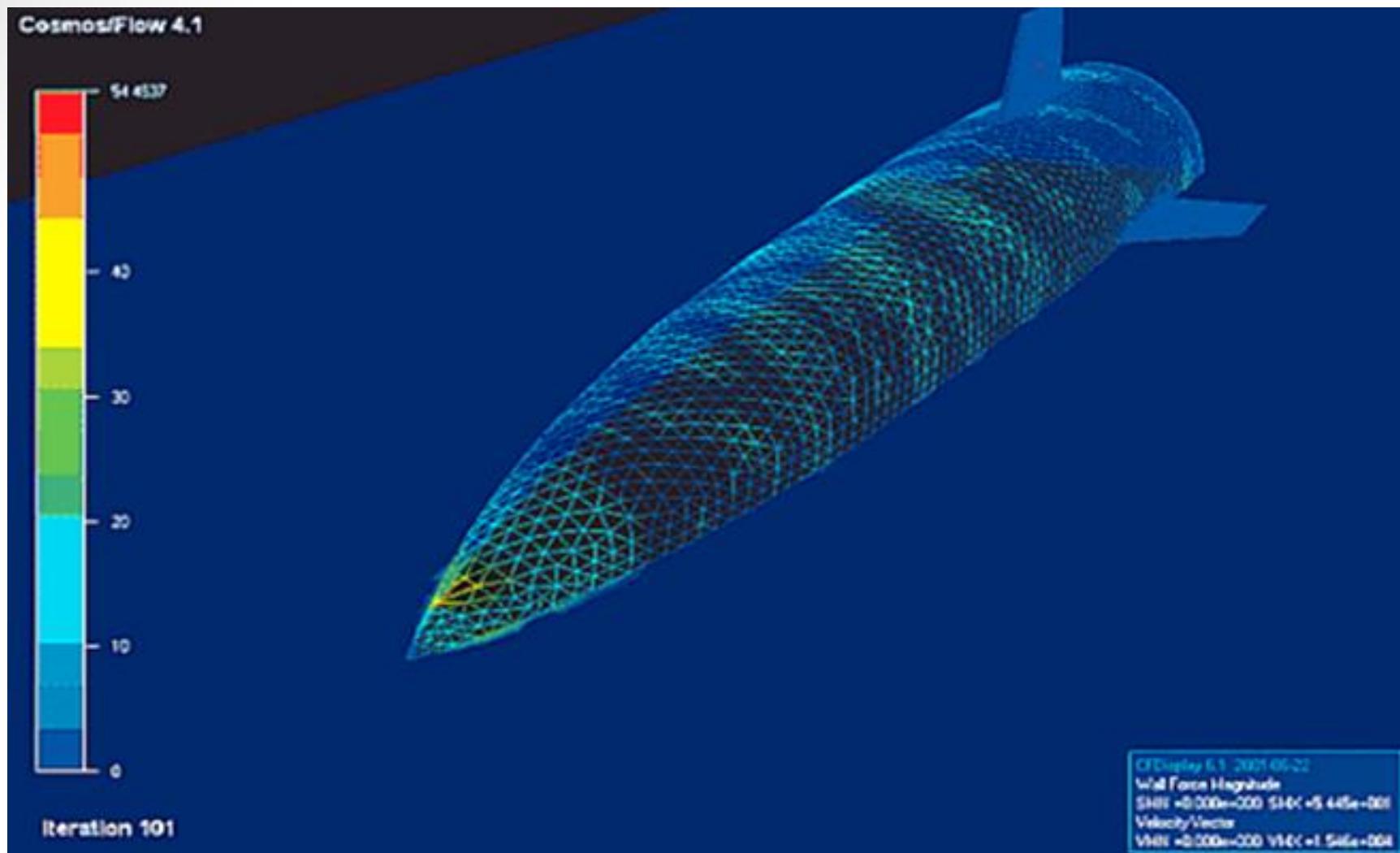
Распределение эквивалентных напряжений в крыльчатке дымососа (COSMOS/Works).

D:\K\LS006.0_Main-Static Solid - Static Nodal Stress

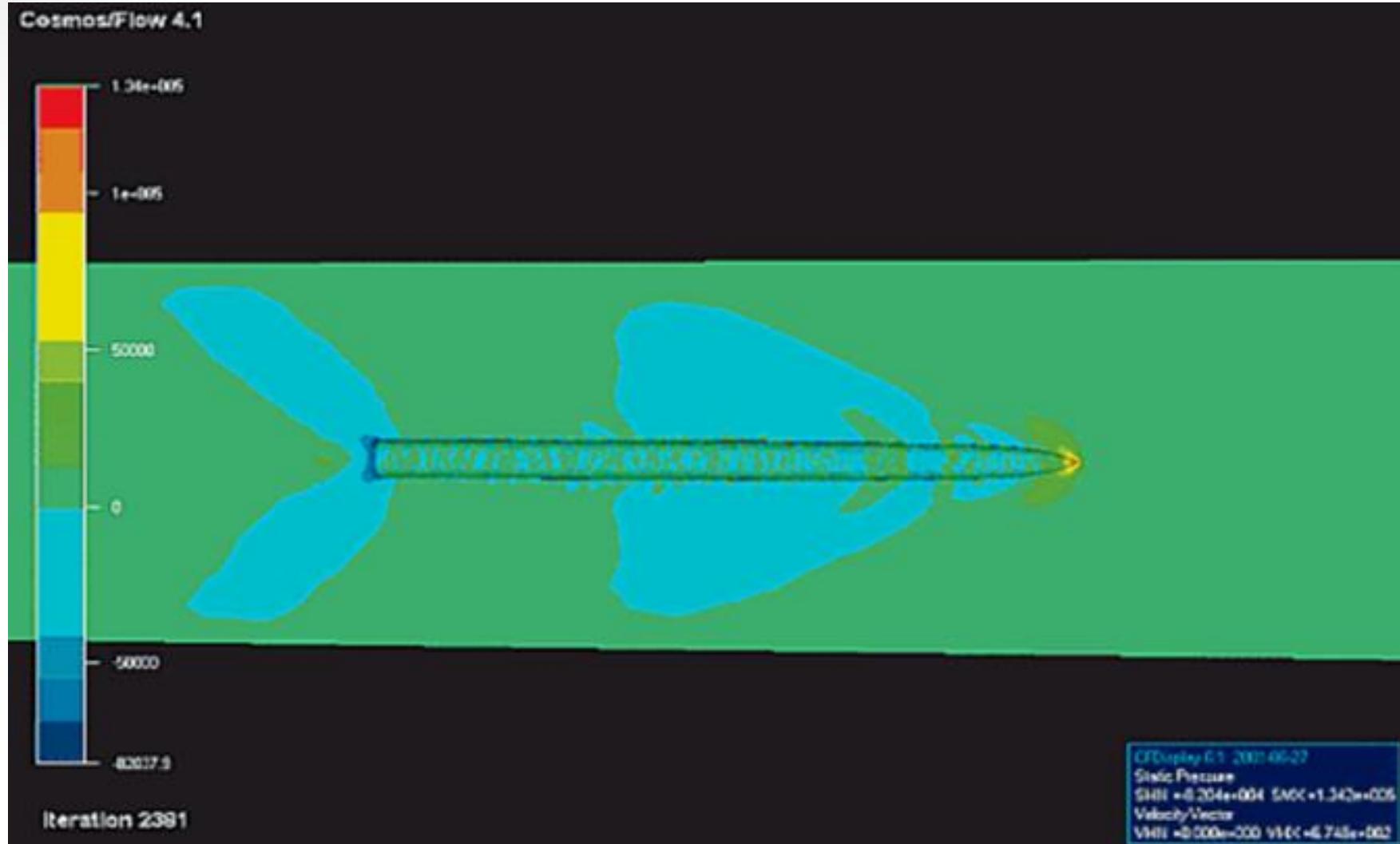
Units: Nm⁻² Deformation Scale 1:0



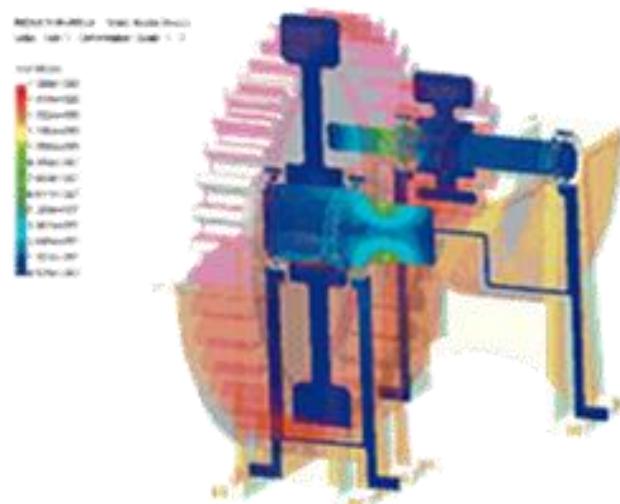
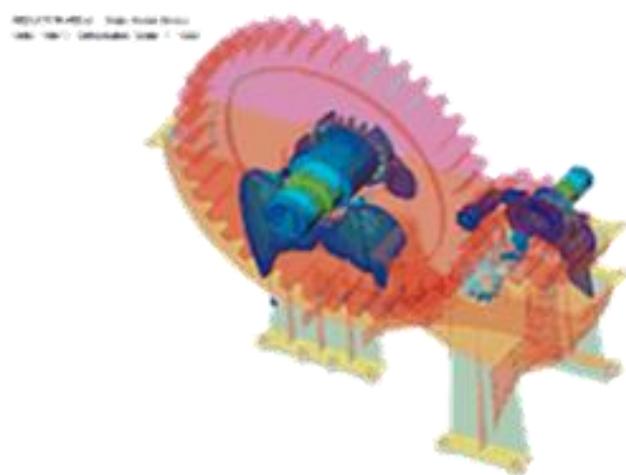
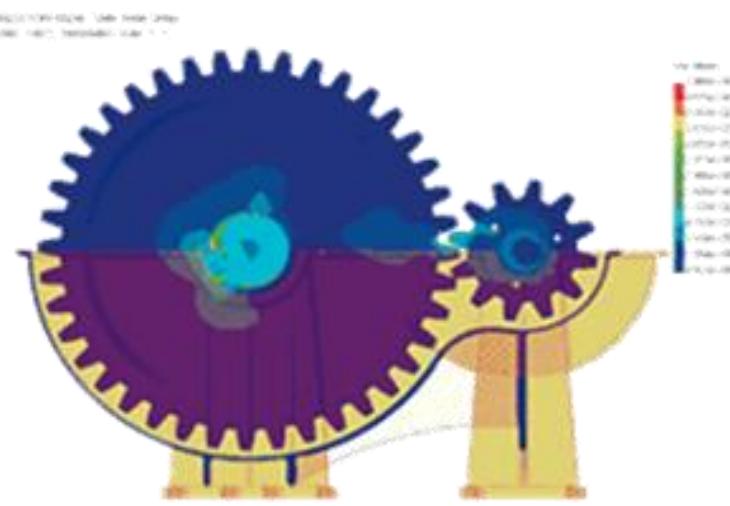
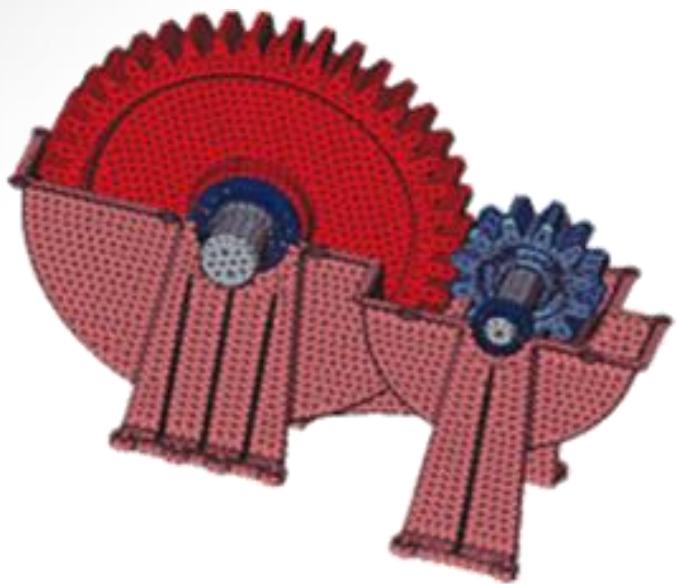
Конечно-элементное представление корпуса снаряда и распределение сил давления на его поверхности (COSMOS/DesignSTAR).



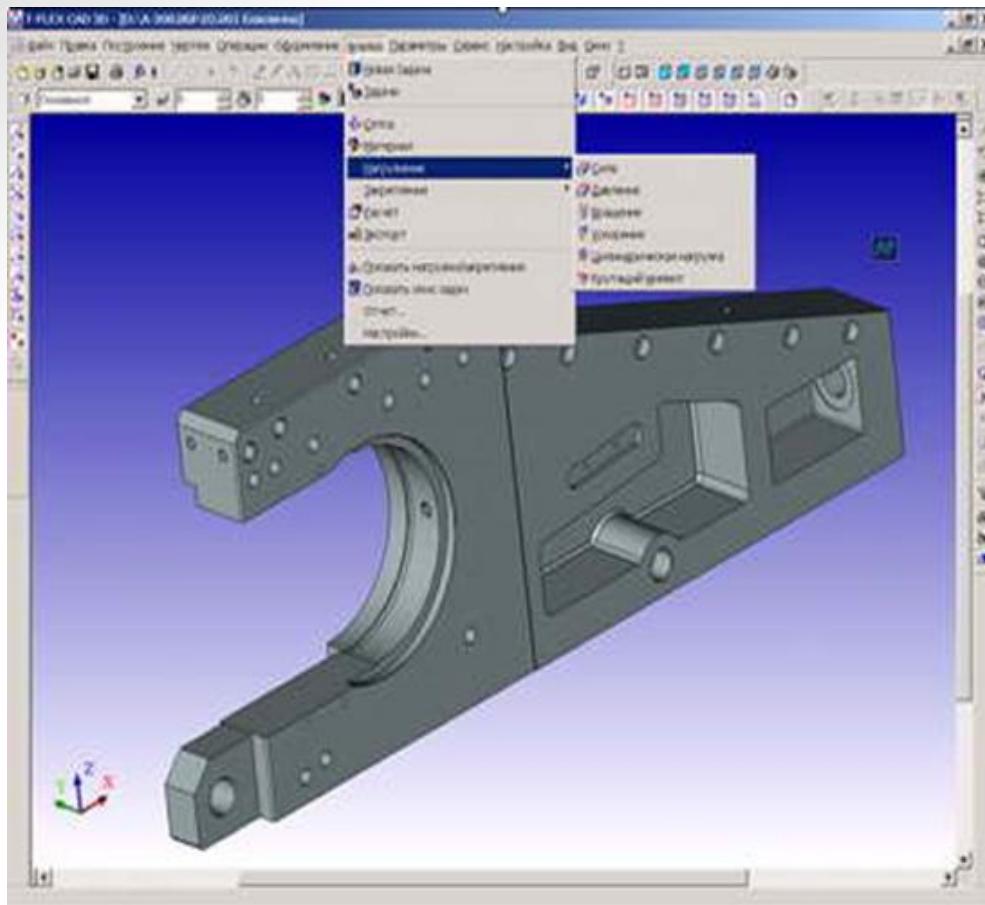
Распределение относительного статического давления при обтекании снаряда сверхзвуковым потоком (COSMOS/DesignSTAR).



Представление редуктора.



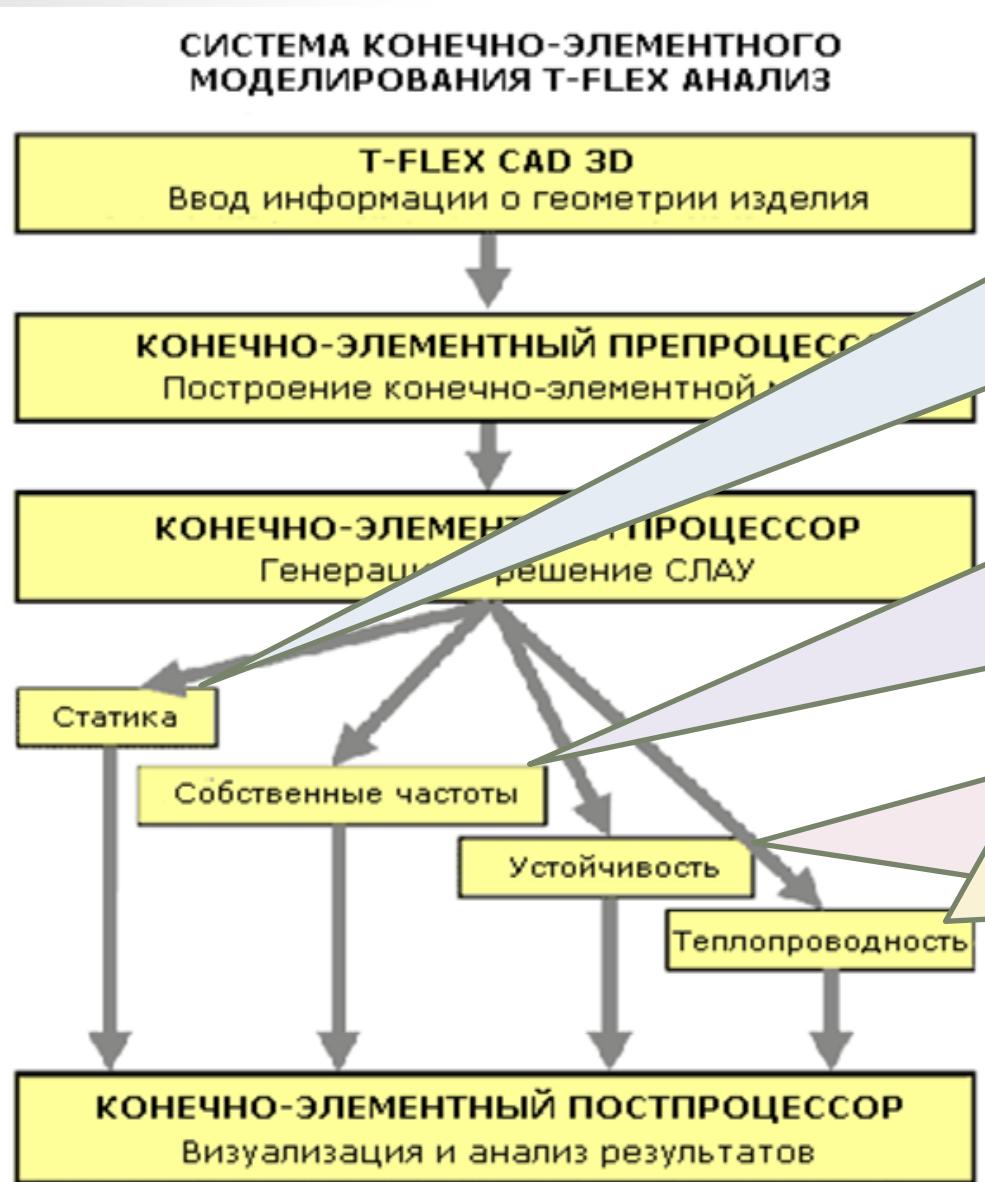
2.10. Среда конечно-элементных расчётов T-FLEX Анализ



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.



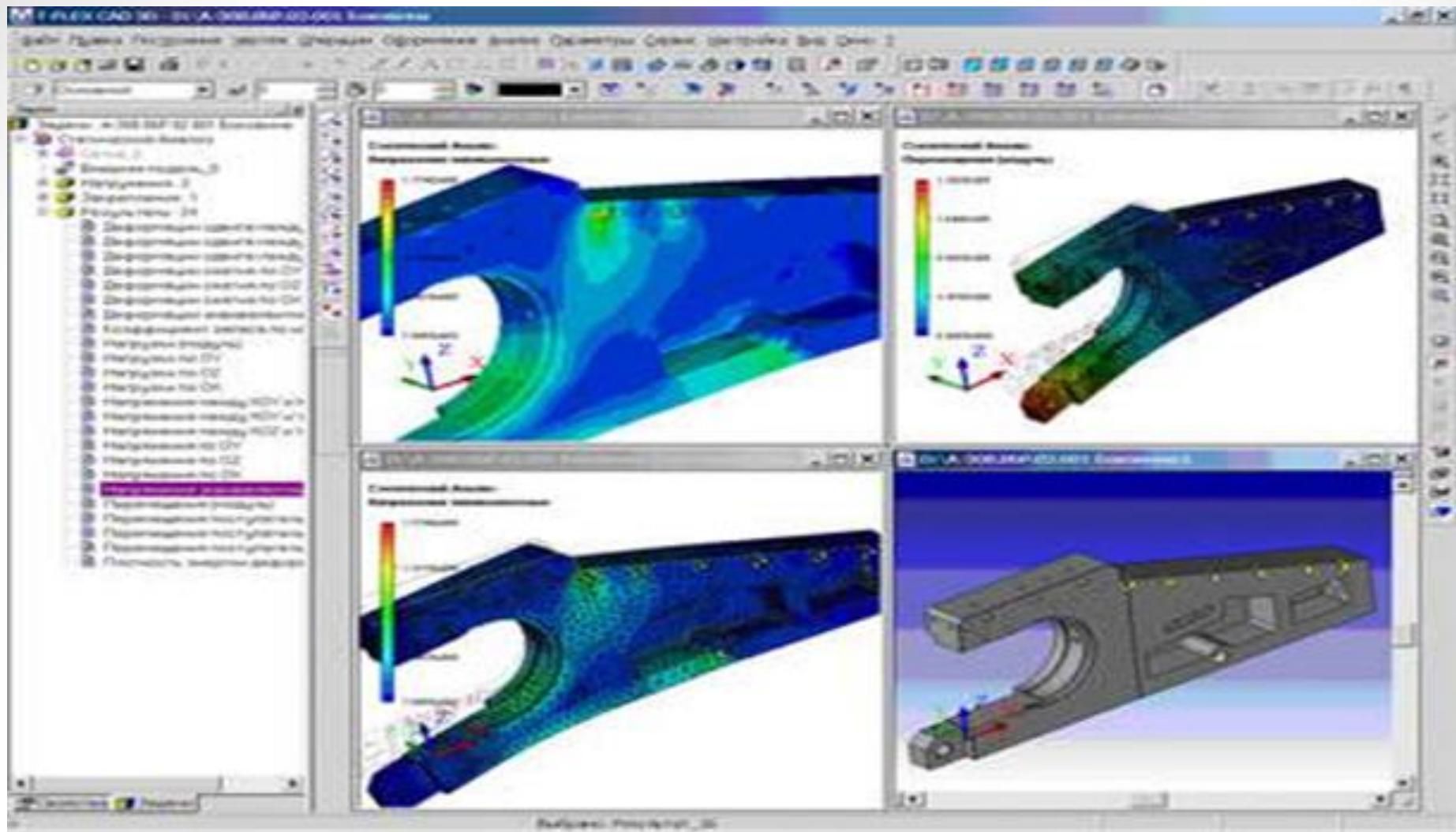
Статический анализ – позволяет осуществлять расчёт напряжённого состояния конструкций под действием приложенных к

Частотный анализ – позволяет осуществлять расчёт собственных (вibrationных) частот

Анализ устойчивости – важен при проектировании конструкций, эксплуатация которых предполагает

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

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



3. САЕ-системы российской разработки

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

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

Femar — 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));

САЕ 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 вертолётов*.

Заключение

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

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

Компьютерный инженерный анализ фактически является вычислительным экспериментом, а программы САЕ 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.