

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Иванов С. Е.

**Интеллектуальные программные
комплексы для технической и
технологической подготовки
производства**

***Часть 5. Системы инженерного расчета
и анализа деталей и сборочных единиц***

Учебно-методическое пособие



Санкт-Петербург

2011

УДК 658.512.011.56

Иванов С.Е. «Интеллектуальные программные комплексы для технической и технологической подготовки производства /Часть 5. Системы инженерного расчета и анализа деталей и сборочных единиц» Под ред. Куликова Д. Д. Учебно-методическое пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 48 с.

Часть 5 пособия посвящена системам инженерного расчета деталей и анализа деталей и сборочных единиц. Выполнен обзор современных CAE – систем. Рассмотрен комплекс систем, включая NASTRAN, Patran, MARC, ANSYS, LS-DYNA, ABAQUS и COSMOS.

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области приборостроения и оптоэлектроники для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 200100 - Приборостроение.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена Программа развития государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики» на 2009–2018 годы.

© Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2011

©Иванов С.Е., под ред. Куликова Д. Д., 2011

Оглавление

Часть 5. Системы инженерного расчета и анализа деталей и сборочных единиц.

5.1. Обзор современных CAE систем	4
5.2 Система расчета и оптимизации конструкций NASTRAN	7
5.3 Интегрированная среда моделирования, анализа и проектирования Patran	14
5.4 Система визуального моделирования машин и механизмов ADAMS ...	18
5.5 Система анализа нелинейных быстропротекающих динамических процессов Dytran	21
5.6 Система комплексного нелинейного анализа конструкций MARC	23
5.7 Универсальный конечно-элементный пакет ANSYS	26
5.8 Система для высоконелинейного динамического анализа LS-DYNA ...	31
5.9 Программный комплекс прочностного конечноэлементного анализа ABAQUS	36
5.10 Система инженерных расчетов COSMOS	39
Список литературы	42
Список контрольных вопросов	44

Часть 5. Системы инженерного расчета и анализа деталей и сборочных единиц.

5.1. Обзор современных CAE систем

Современное предприятие-разработчик сталкивается с необходимостью создания комплексного инженерного изделия, которое работает в сложных условиях и взаимодействует с другими сборочными деталями. Кроме этого на большинстве предприятия очень плотный график разработки и запуска изделия в производство.

Преодолеть эти трудности разработчикам помогают CAE (Computer Aided Engineering) системы. На предприятиях применяется компьютерное моделирование для повышения качества продукции, ускорения выпуска новых изделий и снижения затрат на разработку.

CAE-продукты становятся удобнее в эксплуатации, их внедрение на предприятии позволяет производить изделия лучшего качества.

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

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

Метод конечных элементов (МКЭ) является основным, мощным инструментом для прочностного анализа сложных линейных и нелинейных инженерных проблем. Метод широко применяется при исследовании сложных нелинейных динамических процессов.

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

Среди CAE систем можно выделить программные комплексы конечно-элементного анализа:

- 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

Такие программные комплексы включают в себя ряд программ, ориентированных на разные приложения, и отличающихся функциональностью и специализацией.

Различные модули позволяют выполнять анализ прочности, теплопроводности, динамики жидкостей и газов, акустических и электромагнитных полей

В такие программные комплексы входят решатель, препроцессоры и постпроцессоры, а также интерфейс с базой данных. Между системами CAE и CAD (Computer Aided Design) существует интеграция и предусмотрен экспорт и импорт геометрических моделей

Программные комплексы конечно-элементного анализа включают в себя библиотеки конечных элементов, решатель, препроцессор и постпроцессор.

Библиотеке конечных элементов (КЭ) включают матрицы жесткости КЭ.

Для анализа упругих или пластических деформаций применяются разные модели КЭ, также КЭ имеет различную форму.

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.

Пользователь получает цветное отображение исходной и деформированной формы детали, поля напряжений, потенциалов, температур.

Далее приведен краткий обзор программных комплексов конечно-элементного анализа.

5.2 Система расчета и оптимизации конструкций NASTRAN

Nastran - это главный 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.

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

Система Nastran ориентирована на расчет и оптимизацию конструкций.

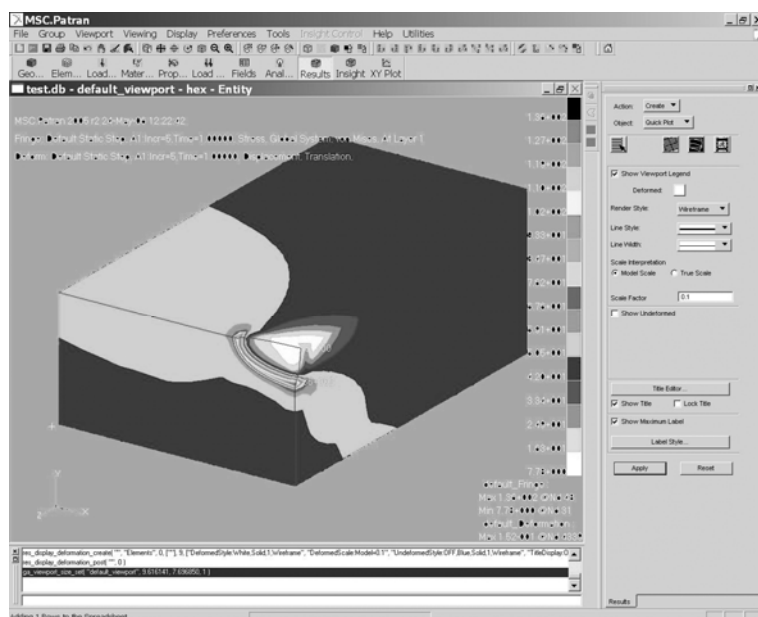


Рис. 5.2.1 Вид среды моделирования системы.

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

Эффективные алгоритмы оптимизации обрабатывают огромное число проектных параметров и ограничений, таких как вес, напряжения, перемещения, собственные частоты.

Алгоритмы анализа чувствительности позволяют исследовать влияние различных параметров и выполнять поиск оптимального решения.

Система Nastran дает возможность автоматически получить оптимальную новую компьютерную модель, соответствующую экспериментальной модели. В системе выполняется оптимизация конструкции с изменениями ее геометрической формы при минимизации веса и удовлетворении граничным условиям по прочности. Nastran автоматически создает оптимальную конструкцию, максимально удовлетворяющую заданным условиям

Nastran также применяют при решении задачи моделирования систем управления, систем терморегулирования. В системе проводятся сложные многошаговые исследования работы конструкции при изменении условий нагрузки, граничных условий.

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.

Nastran интегрируется во многие современные системы автоматизированного проектирования.

Для решения задач большой размерности в Nastran применяются алгоритмы обработки "разреженных" матриц, для уменьшения ширины ленты матриц используется автоматическая внутренняя перенумерация матриц. Для выполнения параллельных и векторных вычислений в системе Nastran применяются разработанные алгоритмы.

Система Nastran позволяет выполнять расчеты по линейной статике, расчет частот собственных колебаний, анализ устойчивости конструкции, анализ чувствительности характеристик объекта к конструктивным изменениям, проверять корректность расчетной модели.

Nastran решает динамические задачи: акустические расчеты, расчет параметров переходного процесса прямым и модальным методами, расчет частот собственных колебаний с учетом диссипации энергии, расчет частотного отклика, расчет в нелинейной постановке, расчеты при различных типах демпфирования (конструкционное, нелинейное, дискретное, модальное), спектральный анализ. При модальном решении динамических задач применяется матричный метод, метод перемещений и метод ускорений.

Для использования результатов анализа предшествующих расчетов в системе производится рестарт. Система Nastran выполняет оптимизацию расчетной модели при полигармоническом воздействии, переходном процессе.

При нелинейных расчетах Nastran позволяет проводить анализ статического нагружения с учетом геометрической и физической нелинейностей, включая контакты. При моделировании нелинейных свойств материала в системе Nastran могут учитываться: условия текучести, типы упрочнения (изотропное, кинематическое и комбинированное), гиперупругость, термоупругость, вязкоупругость, пластичность, нелинейная упругость при малых деформациях. При моделировании геометрической нелинейности в системе учет больших перемещений и углов поворота выполняется методом Лагранжа. Система делает возможным анализ устойчивости конструкции в нелинейной постановке, анализ предварительно напряженных конструкций, анализ поведения конструкции после потери устойчивости. В системе выполняется моделирование сложных граничных условий. В Nastran все линейные элементы применимы при нелинейном анализе. Система предоставляет возможность выбора метода решения (методы по длине дуги, Рикса, неявный метод интегрирования).

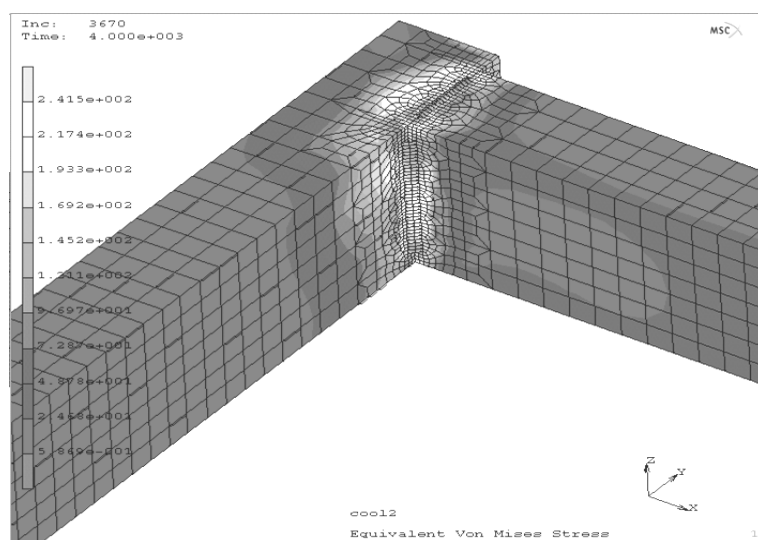


Рис. 5.2.2. Моделирование в системе при взаимодействии

Nastran позволяет выполнять расчеты установившихся процессов теплопроводности, конвекции, излучения в линейной и нелинейной постановках, а также расчеты неустойчивых процессов теплопередачи в нелинейной постановке. При этом учитываются особенности теплопроводности, такие как температурно-зависимая теплопроводность,

анизотропная теплопроводность, внутреннее тепловыделение. Система Nastran учитывает особенности свободной и вынужденной конвекции, особенности излучения в пространство, тепловые нагрузки, температурные граничные условия, задание начальных температур. Кроме того, в Nastran возможно моделирование идеальных проводников тепла.

Система Nastran позволяет исследовать аэроупругость в статической и динамической постановке, проводить анализ аэроупругости при сверхзвуковых скоростях.

Nastran делает возможным выполнять оптимизацию и анализ чувствительности объекта к изменениям конструкции за один расчет. Производится оптимизация при анализе статического нагружения, анализе устойчивости, при расчете частот собственных колебаний.

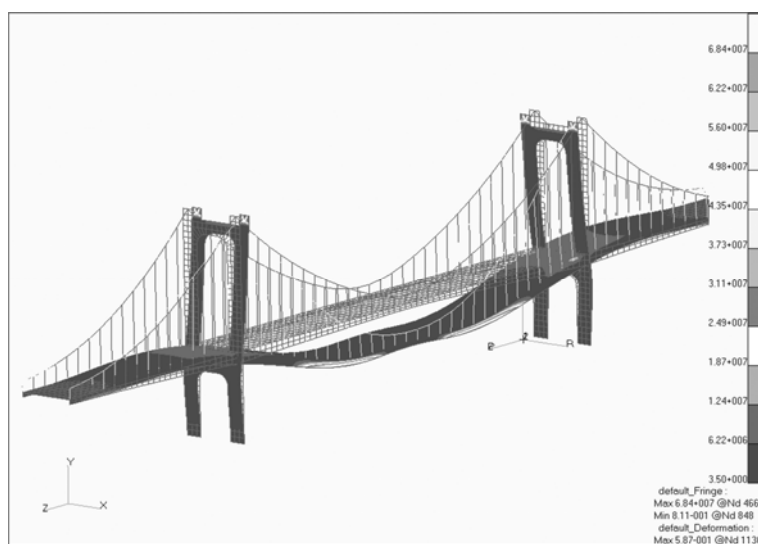


Рис. 5.2.3. Модель моста при статическом нагружении.

Выполняется оптимизация параметров модели и геометрической формы объекта.

В качестве функций цели или функциональных ограничений возможно использовать следующие параметры: вес, объем, перемещения, напряжения, деформации, силы, перемещения, скорости, ускорения, усилия закрепления, частота собственных колебаний, величины характеристик демпфирования.

Nastran предоставляет возможность задания пользователем функциональных связей для формирования специальных функций цели и ограничительных функций.

Система Nastran позволяет выполнять анализ чувствительности и оптимизация модели, включающей суперэлементы. Эффективные алгоритмы системы позволяют решать задачи, включающие сотни оптимизируемых параметров, а также проводить автоматический анализ текущего статуса задачи и инициализировать соответствующий решатель.

Специальные методы анализа позволяют учитывать симметрию конструкции, взаимодействие конструкции с жидкостью, гироскопические эффекты.

В системе Nastran применяется технологии суперэлементов, что делает меньшую трудоемкость отладки расчетной модели, поскольку каждый суперэлемент обрабатывается отдельно и большую скорость выполнения исследований, связанных с вариантными расчетами. При использовании технологии суперэлементов локальное изменение конструкции требует выполнения только части уже проведенного расчета. Технологию суперэлементов возможно применять при всех видах расчетов, что дает возможность выполнения расчетов с очень большими моделями путем их разделения на суперэлементы и проведения расчета по частям. Снижаются затраты на проведение расчетов.

Система Nastran содержит большую библиотеку конечных элементов.

Основные типы конечных элементы Nastran: скалярные, одномерные, двухмерные и трехмерные, элементы демпфирования, нелинейные элементы для анализа статических и переходных процессов, специальные элементы для акустических расчетов, "жесткие" элементы, элементы-интерполяторы, элементы для моделирования композитных конструкций, р-элементы, осесимметричные элементы, элементы общего назначения.

Библиотека материалов Nastran содержит: изотропные материалы, ортотропные материалы, анизотропные материалы, материалы с температурно-зависимыми характеристиками.

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

5.3 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 конечно-элементных 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.

Программа Patran предоставляет развитые средства генерации конечно-элементных сеток. Средства визуализации Patran позволяют ускорить и повысить качество анализа результатов расчета.

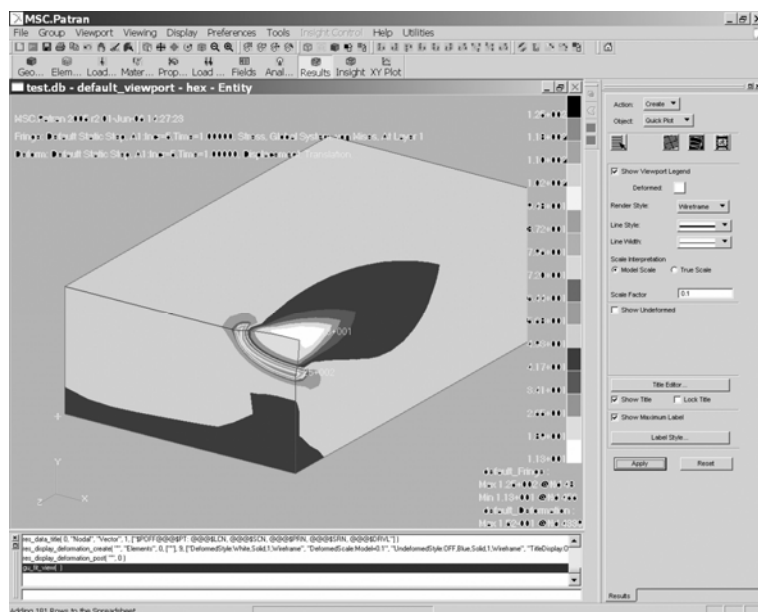


Рис. 5.3.1. Графический интерфейс Patran.

Графический интерфейс Patran обеспечивает эффективность и удобство работы с программным продуктом. В Patran встроен макроязык Patran Command Language (PCL) для создания специальных функций и для интеграции с собственными программными разработками.

Геометрическая модель является основой создаваемой конечно-элементной системы. Программа Patran 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. Программа Patran интегрируется с системами анализа многих мировых фирм.

Программа Patran обладает мощными возможностями анализа результатов расчетов, включая использование цветовой и векторной индикации, изоповерхностей, линий "тока", анимации, построения графиков. В Patran предусмотрена автоматическая запись в специальный файл всех выполненных команд с возможностью его повторного использования.

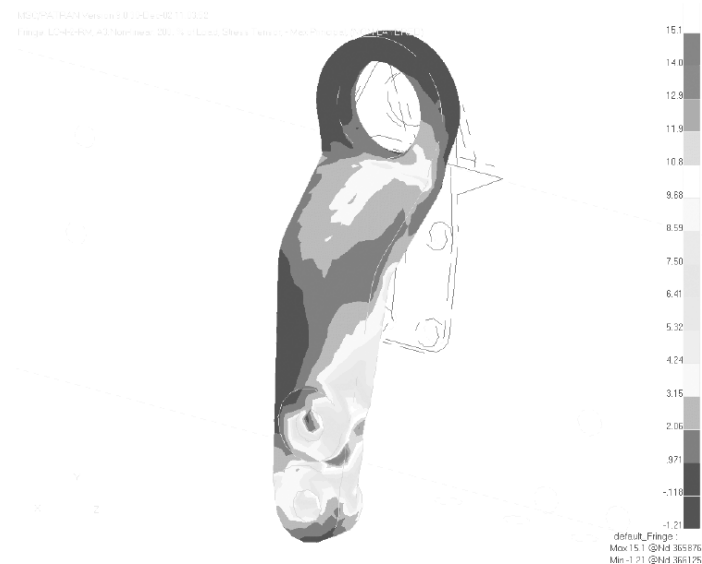


Рис. 5.3.2. Цветовая индикация в Patran.

Графический интерфейс пользователя Patran совместимость со стандартом OSF Motif, делает возможным идентификацию примитивов по номерам и перенумерацию примитивов.

Patran обладает исчерпывающим набором команд для создания и модификации геометрических моделей, позволяет объединять несколько поверхностей (включая перекрывающиеся, не соприкасающиеся и с отверстиями) в одну ограниченную поверхность для последующего построения на ней сетки. Программа Patran позволяет вычислять массово-

инерционные характеристики геометрических и конечно-элементных моделей.

При геометрическом моделировании в Patran существует возможность определения локальных систем координат (декартовых, цилиндрических, сферических) с любым расположением и ориентацией.

В Patran реализован прямой интерфейс к программам CATIA, Unigraphics, CADD 5, EUCLID 3, Pro/ENGINEER, возможен импорт и экспорт данных формате IGES

При конечно-элементном моделировании в Patran возможно автоматическое построение поверхностных и объемных сеток, построение одномерных, двумерных и трехмерных сеток, автоматическое улучшение сетки после первоначальной ее генерации, создание сеток методом вытягивания.

Программа Patran обладает широким набором элементов первого, второго и третьего порядков в форме: треугольник, четырехугольник, тетраэдр, трехгранная призма, гексаэдр.

В Patran включен набор специальных элементов: сосредоточенная масса, пружина, демпфер, "жесткость" закрепления, межузловые связи.

Patran делает возможным создание различных сеток в зависимости от вида проводимого расчета, обеспечивает полный контроль пользователя над нумерацией узлов и элементов, и предоставляет контроль характеристик всей модели на соответствие предъявляемым требованиям.

Patran интегрируется с ведущими системами инженерного анализа: Nastran, Dytran, Marc, ABAQUS, ANSYS, LS-DYNA, Pam-CRASH, SAMCEF, STAR-CD, FLUENT.

Тип программы-решателя определяет вид формы для задания параметров расчетной модели: нагрузок, граничных условий, свойств элементов, свойств материалов, межузловых связей, вида расчета и его параметров.

В программе Patran существует возможность обмена информацией в формате "нейтрального" файла (Patran Neutral File Preference)

Patran обеспечивает задание характеристик расчетной модели: нагрузки, граничные условия, свойства материалов и элементов.

При анализе результатов расчетов Patran предоставляет широкий набор опций для отображения результатов, позволяет настраивать цветовую палитру автоматически или вручную.

Программа Patran обладает широкими возможностями управления выводимой на экран текстовой информацией о результатах расчета, предоставляет возможность анимации результатов расчета переходных процессов. Для балочных элементов есть широкий набор средств отображения результатов расчетов, возможно отображение результатов с помощью эпюр.

Встроенный макроязык PCL предусматривает библиотеку компилируемых команд, широкий набор форм для настройки графического интерфейса, дает возможность создания пользователем опций меню для выполнения требуемых функций.

5.4 Система виртуального моделирования машин и механизмов ADAMS

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



Рис. 5.4.1. Графическая среда моделирования.

Широкие возможности и высокая надёжность пакета ADAMS позволяют проводить анализ множество сложных конструкции машин и механизмов.

В программном пакете ADAMS моделируются условия работы машин и механизмов, проектировщик сравнивает и выбирает лучший вариант, совершенствует будущее изделие.

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.

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

Модули расширения программного пакета ADAMS: модуль сопряжения с системами моделирования; модуль моделирования машин и механизмов, включающих гидросистемы; модуль моделирования, включающих упругие тела; модуль линеаризации уравнений динамики изделия и расчёта частот и форм собственных колебаний; модуль сопряжения с системами анализа усталости и долговечности; модуль моделирования и анализ вибрации машины; модуль, обеспечивающий эффективное управление процессом исследования.

Для автомобилестроения разработан ADAMS/Car, модуль моделирования динамического поведения отдельных механизмов и автомобиля в целом.

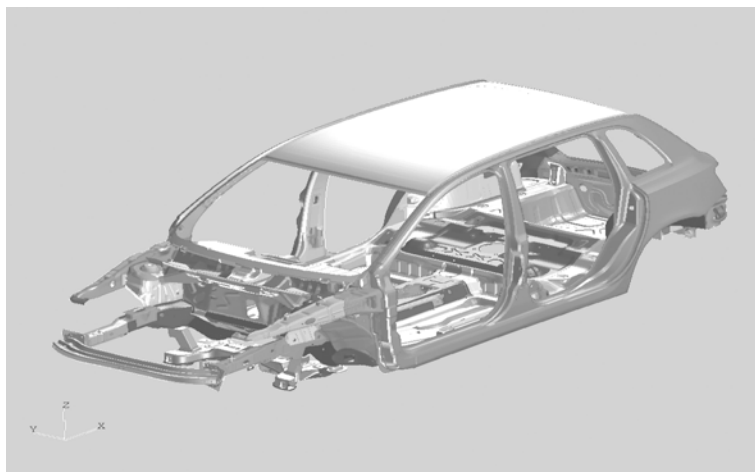


Рис. 5.4.2. Моделирование конструкции автомобиля.

ADAMS/Tire— специальный модуль моделирования работы шины мотоцикла.

Для автодвигателестроения создан ADAMS/Engine— модуль моделирования работы автомобильного двигателя внутреннего сгорания.

Разработан специальный модуль ADAMS/Rail для моделирования железнодорожного подвижного состава и специальный модуль ADAMS/Aircraft для моделирования авиатехники.

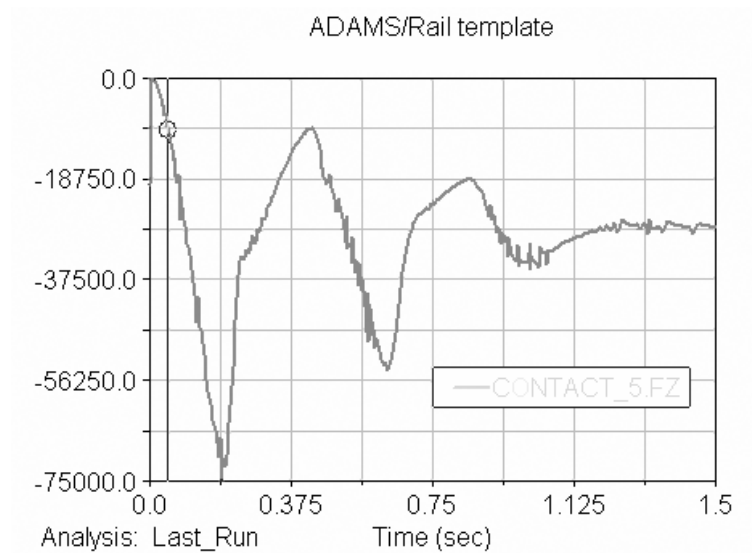


Рис. 5.4.3. Результаты анализа в модуле ADAMS/Rail.

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

5.5 Система анализа нелинейных быстропротекающих динамических процессов Dytran

Система Dytran служит для анализа высоконелинейных быстропротекающих динамических процессов, связанных с взаимодействием различных частей конструкции, конструкции и конструкции, 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.

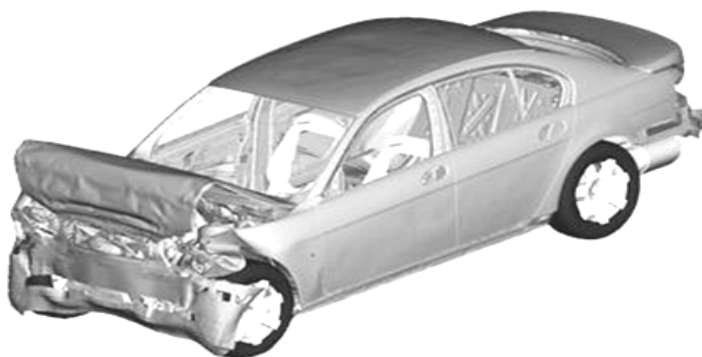


Рис. 5.5.1. Моделирование столкновения автомобиля.

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

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

Система Dytran эффективно применяется в автомобильной, аэрокосмической, оборонной и других отраслях промышленности.

Для Dytran в качестве препроцессора и постпроцессора служит Patran.

Dytran предоставляет возможность выполнения структурного конечно-элементного анализа, анализа динамики жидкости и взаимодействия конструкция – жидкость.

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

5.6 Система комплексного нелинейного анализа конструкций MARC

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

Marc эффективно применяется для анализа высоконелинейного поведения конструкций и решения задач теплопередачи.

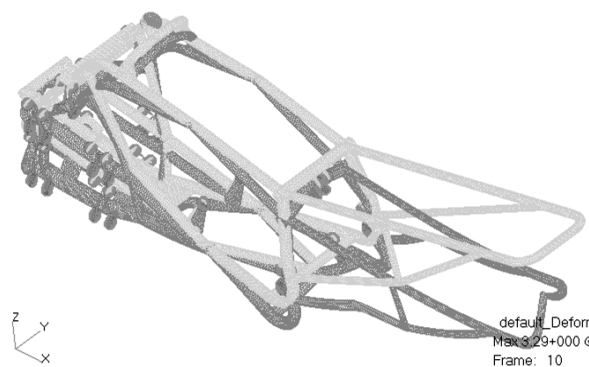


Рис. 5.6.1. Нелинейный анализ конструкции.

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 Marc выполняют задачи анализа поведения резиновых уплотнений, анализа строительных сооружений с учетом свойств грунта, моделирования контакта зубчатых зацеплений

В системе Marc возможно применять пользовательские подпрограммы.

Система предусматривается возможность параллельной обработки данных.

Для Marc разработан специализированный препроцессор и постпроцессор Mentat.

Решатель Marc позволяет выполнять линейный анализ, нелинейный анализ, расчет больших перемещений и конечных деформаций, автоматический анализ контактного взаимодействия, динамический анализ,

анализ теплопередачи, анализ термических напряжений, анализ жидких сред, моделирование гидродинамического подшипника, акустический анализ, электростатический анализ, магнитостатический анализ, анализ электромагнитного поля, оптимизацию и анализ чувствительности конструкции.

Для системы Marc усовершенствован прямой профильный решатель и прямой решатель для систем уравнений с разреженными матрицами.

Система Marc дает возможность "переноса" результатов расчета осесимметричной конструкции на соответствующую трехмерную модель для дальнейшего анализа.

В Marc более 140 элементов: элементы низкого и высокого порядков, элементы арматуры, элементы с упрощенным интегрированием, элементы с линейным перемещением для моделирования композитных материалов. Элементы обеспечивают моделирование больших линейных и угловых перемещений, конечных деформаций.

Геометрическое моделирование в Marc выполняется на основе точек, кривых (линии, полиномы, дуги, окружности, скругления, кубические сплайны, NURBS-кривые, кривые Безье), поверхностей (четыреугольные поверхности, цилиндры, сферы, линейчатые поверхности, поверхности Безье, поверхности движения, поверхности вращения, NURBS-поверхности, ограниченные поверхности и др.).

Объемное моделирование в Marc основывается на геометрическом ядре ACIS. Создание объемных тел выполняется на основе геометрических примитивов (аналитически определенных поверхностей, блоков, сфер, цилиндров, конусов, торов).

Для системы Marc усовершенствован алгоритм создания треугольных и четырехугольных сеток, предоставлена возможность задания параметров генерируемой сетки.

В системе Marc применена фотореалистическая визуализация с использованием алгоритма трассировки лучей.

Система Marc 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

5.7 Универсальный конечно-элементный пакет ANSYS

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

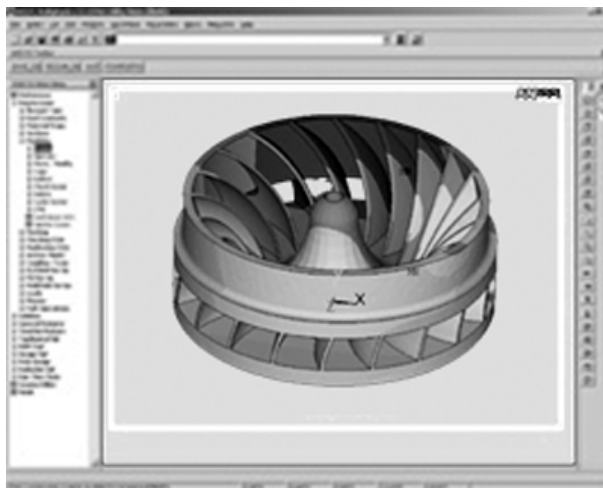


Рис. 5.7.1. Среда моделирования системы.

Программа ANSYS 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.

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.

Для решения задач прочности ANSYS позволяет выбирать как чисто прочностные, со степенями свободы в узлах по перемещениям и углам поворота, так и совместные элементы для связанных задач, где требуется моделировать деформации в связи с температурными, электромагнитными и другими эффектами.

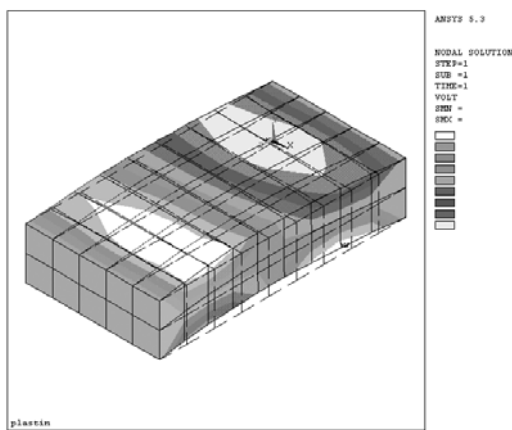


Рис. 5.7.2. Результаты моделирования прочностной задачи.

ANSYS предоставляет модели материалов:

- изотропные, ортотропные, анизотропные
- линейно упругие
- нелинейно-упругие
- неупругие
- пользовательские

В системе ANSYS граничные условия и нагрузки могут прикладываться как к узлам и элементам, так и ко всем геометрическим объектам, точкам, линиям, поверхностям и объемам. Нагрузки могут задаваться в локальных координатных системах. Система позволяет наряду с классическим табличным способом создавать функциональные нагрузки, сохранять их на диске, создавать пользовательские библиотеки.

Оптимизация в ANSYS возможна параметрическая и топологическая.

В системе ANSYS применяются решатели:

- неявный с изменяемым шагом по времени с автоматизированной процедурой увеличения шага
- явный с возможностью переключения неявный/явный
- прямые
- итерационные
- параллельные

Препроцессор ANSYS позволяет создавать геометрические модели собственными средствами или импортировать и модифицировать внешние. Геометрическая модель может быть свободно модифицирована, поскольку при импорте осуществляется перетрансляция данных в геометрический формат ANSYS и деталь не подменяется неизменяемой конечно-элементной сеткой. Проектировщик может удалять несущественные мелкие детали, дорабатывать определенные детали, строить сетку, проводить сгущение-разрежение сетки.

Система ANSYS позволяет создавать и изменять поверхностную, твердотельную и каркасную геометрию моделей.

ANSYS делает возможным создание геометрических моделей сверху вниз (операции с геометрическими примитивами) и снизу-вверх (точки, линии, поверхности, объемы). Построение твердотельной модели возможно в ANSYS: при помощи набора готовых примитивов и булевых операций над ними, либо последовательным построением, начиная с опорных точек, далее линии, сплайны до твердого тела. ANSYS предоставляет все инструменты для быстрого создания сложных моделей.

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.

Сеточный генератор позволяет выполнять автоматизированную процедуру разбиения на тетраэдры твердых тел произвольной геометрии, автоматическое построение переходных сеток гексаэдр-пирамида-тетраэдр для элементов второго порядка, автоматическое сопряжение областей, разбитых элементами первого и второго порядков - программное удаление среднего узла по границам, построение нерегулярных сеток на произвольных поверхностях только из четырехугольных элементов, создание объемной трехмерной сетки по имеющейся поверхностной при отсутствии твердотельной модели.

В ANSYS возможна оптимизация и сглаживание уже имеющейся сетки, проверка качества сетки со средствами визуализации.

Алгоритм разбиения имеет широкий набор опций.

Система ANSYS позволяет перестраивать сетку в соответствии с полученными в результате расчета узловыми перемещениями.

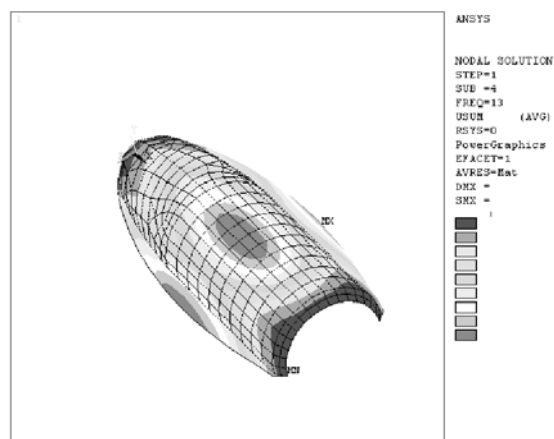


Рис. 5.7.3. Оптимизация сетки расчетной модели.

В системе применяется редактируемая пользователем библиотека свойств материалов.

Специализированные средства позволяют задавать сечения балочных элементов на основе стандартных профилей и пользовательской библиотеки сечений.

Средства визуализации препроцессора поддерживают формат Open GL. Возможен вывод изображений в форматах WMF, EMF, BMP, TIFF, JPEG, HPGL, HPGL2, EPS, VRML, AVI .

При построении модели графические аннотации (геометрические объекты, символы, текст) прикрепляются к точкам, узлам и вращаются вместе с моделью.

Постпроцессор позволяет представлять результатов в виде изоповерхностей и изолиний в прозрачном теле.

В ANSYS реализован прямой доступ к геометрическим моделям CAD-систем: Pro/Engineer, Unigraphics, AutoCAD, Solid Edge, Solid Works.

ANSYS предоставляет импорт моделей из CAD-систем в форматах: Parasolid, ACIS SAT, IGES.

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.

5.8 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.

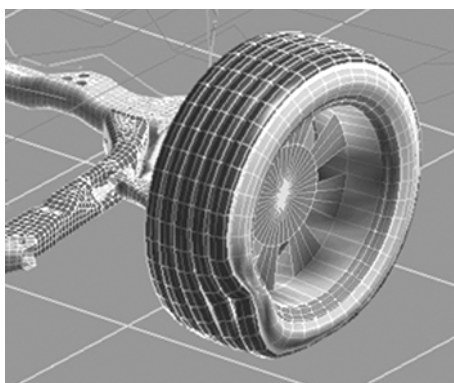


Рис. 5.8.1. Динамическая нелинейная задача.

В LS-DYNA реализованы эффективные методы решения задач: явный и неявный метод конечных элементов, многокомпонентная гидродинамика, бессеточный метод, метод Галеркина.

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

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

В настоящее время LS-DYNA используется многими промышленными предприятиями и фирмами, научно-исследовательскими институтами и учреждениями образования. Многие возможности LS-DYNA являются

результатом совместной работы научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий.

LS-DYNA предоставляет большую библиотеку элементов, которая включает помимо стандартного набора балочных, оболочечных и объемных элементов и узкоспециализированные элементы, например элемент, предназначенный для моделирования ремня безопасности в автомобиле, а также большой набор дискретных элементов.

Все элементы допускают параллельные вычисления и максимально векторизованы;

Библиотека моделей материалов LS-DYNA включает более 120 типов металлов, композитных материалов, грунтов, керамики, стекла, пенополиуретанов, жидких и газообразных сред, взрывчатых веществ в условиях термомеханического воздействия, в условиях больших давлений, скоростей деформаций и температур.

В LS-DYNA более 30 моделей контактно-ударных алгоритмов, которые учитывают все особенности взаимодействия контактирующих сред: скольжение, сухое и вязкое трение, тепловой контакт, отлипание, вязкое и хрупкое разрушение, пробивание, контакт абсолютно твердых тел с деформируемыми структурами и между собой, сварные, болтовые и заклепочные соединения.

В LS-DYNA разработана процедура автоматической и ручной адаптивной перестройки конечно-элементной сетки при вырождении элементов.

Решаемые задачи LS-DYNA: нелинейные динамические, квазистатические и статические задачи механики деформируемого тела.

LS-DYNA позволяет решать динамические задачи механики деформируемого тела (динамического анализа), определять реакции деформируемой механической системы на заданное возмущение. В результате решения задачи программа позволяет определить перемещения, скорости, ускорения элементов этой системы, напряжения и деформации в

них, а также производные от них величины. При решении задачи учитываются силы инерции, а искомые величины ищутся как функции времени.

Для решения нелинейных динамических задач механики деформируемого тела LS-DYNA использует следующие решатели:

- явный;
- неявные (прямой с учетом разреженности матриц, итерационный);
- Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH);
- Element Free Galerkin method (EFG).

В LS-DYNA для решения динамических задач многокомпонентной гидродинамики реализованы эйлеровы и произвольные лагранжево-эйлеровы сетки, которые лежат в основе используемого для решения подобных задач метода - Multimaterial Eulerian Hydrodynamics (MEH). Для решения динамических задач многокомпонентной гидродинамики может быть использован метод SPH.

Для решения нелинейных квазистатических и статических задач механики деформируемого тела в LS-DYNA может быть использован неявный решатель.

LS-DYNA имеет богатую библиотеку элементов с упрощенной (одноточечной) и полной схемой интегрирования. Элементы с упрощенной схемой интегрирования просты и эффективны. Все элементы векторизованы, а также оптимизированы: мембраны, четырехузловые тонкие оболочки, треугольные оболочечные элементы, восьмиузловые толстые оболочки, объемные элементы, балки, дискретные элементы, 2D-элементы.

LS-DYNA имеет более 130 моделей металлических и неметаллических материалов, многие из которых имеют критерии разрушения.

LS-DYNA включает следующие модели материалов:

- модели упругих материалов: изотропная; ортотропная; анизотропная; термоупругая; упругая с разрушением; вязкоупругая.

- модели упруговязкопластических материалов: упругопластические с изотропным, кинематическим и комбинированным упрочнением, в том числе с зависимостью свойств от температуры и скорости деформации; упругопластические с анизотропным упрочнением; упругопластическая модель Стенберга-Гунана и Джонсона-Кука; полной пластичности; сверхпластичности.

- модели пен: модель гиперупругой пены; модели разрушаемой и не разрушаемой пены; модель изотропной пены; модель целлюлозы;

- модель уретановой пены с гистерезисом.

- модели эластомеров и резин: модель резины Муни-Ривлина, Блейца-Ко, Огдена, Арруда-Бойса.

- линейная вязкоупругая модель;

- модели ткани;

- модели композитов, включая модели слоистых, матричных и тканевых, с разрушением и без;

- модели геологических пород;

- модели кевлара с повреждениями;

- модели биомеханических материалов, включая ткани сердца; специальные модели для гидродинамических задач;

- модели, которые могут быть созданы пользователем.

В LS-DYNA включены простые в использовании и эффективные контактные алгоритмы, включая термомеханический.

Интерфейс LS-DYNA с CATIA предназначен для полной постановки в среде CATIA задачи для дальнейшего решения средствами LS-DYNA.

Интерфейс представляет собой набор специализированных инструментов и меню к конечно-элементному модулю CATIA, предназначенных для задания и последующей выдачи конечно-элементной сетки, свойств материалов, нагрузок, условий контакта, граничных и начальных условий и последующей передачи их в LS-DYNA.

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.

5.9 Программный комплекс прочностного конечноэлементного анализа ABAQUS

ABAQUS – программный комплекс для прочностного конечноэлементного анализа сложных линейных и нелинейных инженерных проблем.

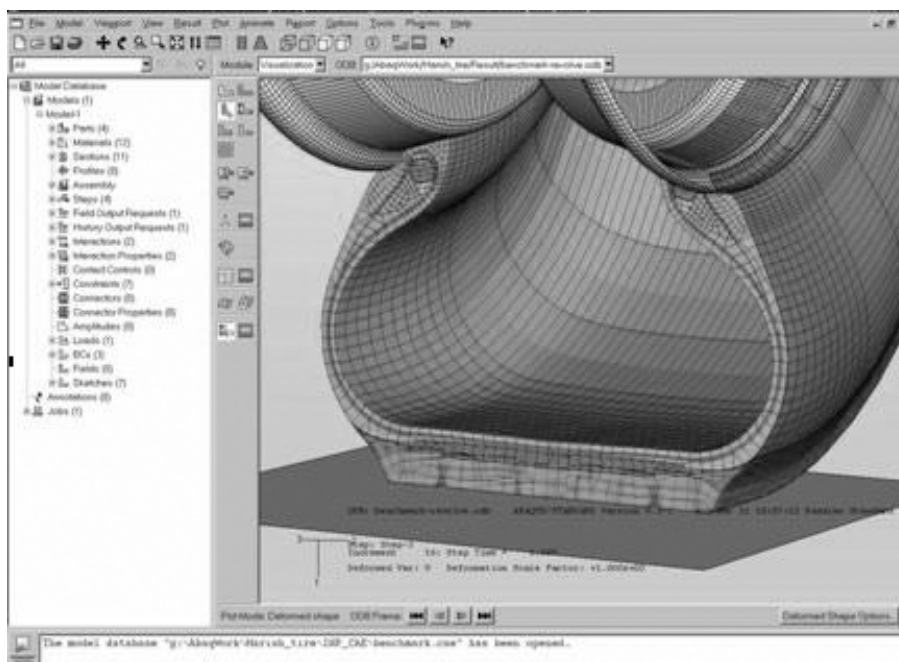


Рис. 5.9.1. Вид среды моделирования ABAQUS.

ABAQUS включает в себя следующие основные модули:

- ABAQUS/Standard
- ABAQUS/Explicit
- ABAQUS/CAE
- FE-Safe
- ABAQUS for CATIA V5

Модуль ABAQUS/Standard предназначен для решения задач конечноэлементного анализа, таких как, статика, динамика, теплопередача в совокупности с контактными взаимодействиями и нелинейными свойствами материалов, основан на неявной схеме интегрирования.

ABAQUS/Standard имеет дополнительные модули и интерфейсы: модуль исследования чувствительности конструкции к геометрическим изменениям

Модуль ABAQUS/Standard позволяет производить следующие типы анализа:

- статический анализ напряжений и перемещений
- вязкоупругий и вязкопластический отклик
- переходный динамический анализ напряжений и перемещений
- переходной или установившийся анализ теплопередачи
- переходной или установившийся анализ диффузии массы
- задачи тепло - электричества
- анализ потоков в пористой среде
- анализ напряжения и диффузии массы
- задачи пьезоэлектрики
- контактный анализ
- задачи акустики и вибрации

Модуль ABAQUS/Explicit основан на явной схеме интегрирования и предназначен для расчета нестационарной динамики, квазистатики, быстротекущих процессов, таких как, задачи падения, соударения, разрушения и моделирования технологических процессов

Модуль ABAQUS/Explicit позволяет производить следующие виды анализа:

- кратковременные динамические процессы и квазистатика
- полностью связанный анализ термпрочности
- надежное определение общего (автоматического) контакта
- моделирование взрывного нагружения

ABAQUS/CAE - модуль пре и постпроцессора программного комплекса ABAQUS, предназначенный для моделирования и визуализации результатов расчета из модулей анализа ABAQUS/Standard и ABAQUS/Explicit.

ABAQUS/CAE прямой доступ к CAD моделям, расширенные возможности по построению сетки и простой интерфейс.

ABAQUS/CAE ориентирован на топологию и параметризацию.

С помощью ABAQUS/CAE можно быстро и эффективно создавать, редактировать модели, производить мониторинг и диагностировать задачи, визуализировать результаты для всех модулей анализа.

5.10 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.

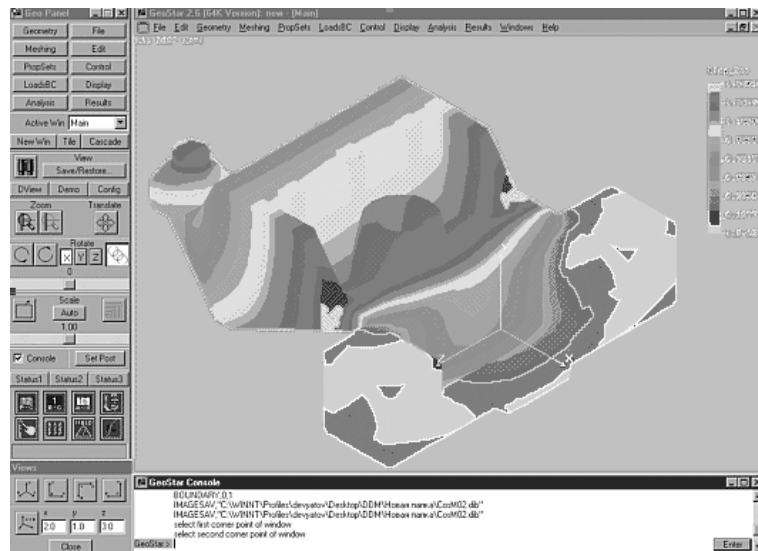


Рис. 5.10.1. Среда моделирования COSMOS.

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

- трехмерный графический CAD построитель,
- препроцессор, который позволяет создавать конечно-элементную 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 позволяет решать следующие задачи:

- линейная статика для отдельных деталей и сборок - трехмерных объемных тел и оболочек.

- учет контактного взаимодействия с трением и без трения.

- определение резонансных частот и соответствующих форм колебаний.

- определение критических нагрузок и форм потери устойчивости.

- тепловые задачи - стационарные и нестационарные.

- динамика жидкостей и газов.

- нелинейные задачи деформирования твердого тела (анизотропность, пластичность, ползучесть, гиперупругость).

- низкочастотные электромагнитные явления.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Бате Н., Вильсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. М. Стройиздат. 1982. 448 с.
2. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимации. М.: Мир. 1986
3. Копанев Д. Решение задач нелинейной статики в MSC.Patran-Nastran. Руководство пользователя. – М.: 1999. MSC.Software Corporation.
4. Копанев Д. Решение задач динамики средствами MSC.Nastran. MSC.Software Corporation.
5. Мельников Г.И. Динамика нелинейных механических и электромеханических систем. –Л.:Маш. 1975. 200 с.
6. MSC.Nastran. Quick Reference Guide MSC.Software Corporation.
7. MSC.Patran User's Guide MSC.Software Corporation.
8. Рачков С.П. MSC NASTRAN для Windows.- М.:НТП 2004.-552 с.
9. Рыбников Е.К., Володин С.В., Соболев Р.Ю. Инженерные расчёты механических конструкций в системе MSC.Patran-Nastran. Часть I. Учебное пособие – М., 2003. – 130 с.
10. Рыбников Е.К., Володин С.В., Соболев Р.Ю. Инженерные расчёты механических конструкций в системе MSC.Patran-Nastran. Часть II. Учебное пособие. – М., 2003. – 174 с.
11. Самарский А.А. Введение в численные методы. М.: Наука. 1982 г.
12. Сегерлинд М. Применение метода конечных элементов. М.: Мир 1979 392 с.
13. Шатров Б.В. теоретические основы анализа конструкций с применением метода конечных элементов. Курс лекций М.: 1998. MSC.Software Corporation.
14. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в . MSC NASTRAN – М.:ДМК, 2004. 704 с.

Список контрольных вопросов

1. Дайте определение понятия CAE систем.
2. Что является предметом моделирования в CAE системах?
3. Назовите основные функции CAE систем.
4. Приведите примеры основных CAE систем.
5. Приведите примеры областей применения CAE систем.
6. Как связаны CAD и CAE системы?
7. Какие методы применяются в CAE системах?
8. Что включают в себя CAE системы?
9. Назовите основные задачи, решаемые в CAE системах.
10. Назовите основные задачи препроцессора в CAE системах.
11. Приведите примеры препроцессорных программ для CAE систем
12. Назовите основные функции постпроцессора в CAE системах.
13. Какие виды анализа выполняются в CAE системах
14. Какие системы являются препроцессором и постпроцессором одновременно.

Список частей для учебного пособия

«Интеллектуальные программные комплексы для технической и технологической подготовки производства»

Часть 1. Проектирования подсистем ТПП

Часть 2. Системы управления жизненным циклом приборов, систем и технологий

Часть 3. Системы проектирования оптико-механических приборов

Часть 4. Системы конструирования деталей, заготовок и сборочных единиц

Часть 5. Системы инженерного расчета и анализа деталей и сборочных единиц.

Часть 6. Системы анализа и моделирования технологической подготовки производства

Часть 7. Системы проектирования технологических процессов

Часть 8. Системы проектирования технологической оснастки



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена Программа развития государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики» на 2009–2018 годы.

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Кафедра технологии приборостроения относится к числу ведущих кафедр института со дня его основания в 1931 году. Тогда она называлась кафедрой механической технологии и возглавлялась известным ученым в области разработки инструмента профессором А.П. Знаменским. Позже она была переименована в кафедру технологии приборостроения.

За время своего существования кафедра выпустила из стен института более тысячи квалифицированных инженеров, более сотни кандидатов и докторов наук. В разные годы ее возглавляли известные ученые и педагоги профессора Николай Павлович Соболев и Сергей Петрович Митрофанов.

Кафедра имеет выдающиеся научные достижения. Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, профессором С.П. Митрофановым были разработаны научные основы группового производства, за что он был удостоен Ленинской премии СССР. Методы группового производства с успехом применяются в промышленности и постоянно развиваются его учениками. Заслуженным изобретателем Российской Федерации Юрием Григорьевичем Шнейдером разработаны метод и инструментарий нанесения регулярного микрорельефа на функциональной поверхности.

В настоящее время кафедра осуществляет выпуск специалистов по специальностям "Технология приборостроения" (инженер-технолог, инженер-технолог-менеджер, инженер-технолог по искусственному интеллекту в приборостроении) и "Системы автоматизированного проектирования" (инженер-системотехник). На кафедре ведется подготовка бакалавров, магистров, инженеров и аспирантов по названным специализациям силами семи профессоров и девяти доцентов.

Сергей Евгеньевич Иванов
Под ред. Дмитрия Дмитриевича Куликова

**Интеллектуальные программные комплексы для технической и
технологической подготовки производства**

**Часть 5. Системы инженерного расчета и анализа деталей
и сборочных единиц**

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Дизайн

С.Е. Иванов

Верстка

С.Е. Иванов

Редакционно-издательский отдел Санкт-Петербургского
государственного университета информационных технологий,
механики и оптики

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати

Заказ №

Тираж 50 шт.

Отпечатано на ризографе