

# Виртуальное моделирование элементов двигателя на базе многодисциплинарных моделей

## Лекция 6.

Прочность. Надёжность. Подготовка к  
производству. PDM.

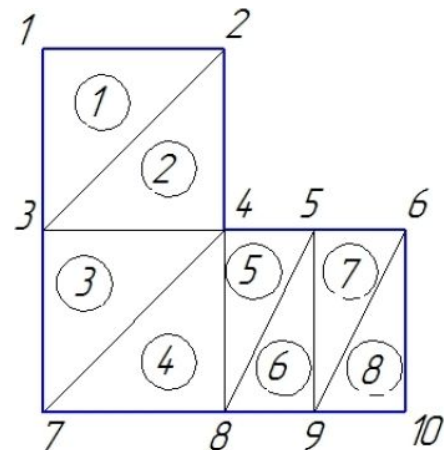
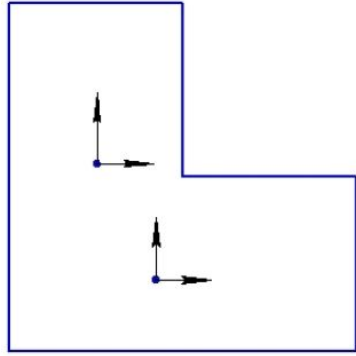
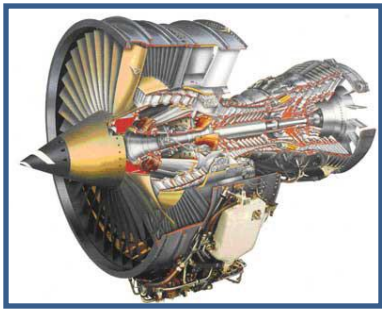
## Прочность – метод конечных элементов

Метод конечных элементов – один из наиболее распространенных современных численных методов. Он лежит в основе таких мощных пакетов программ, как ANSYS, NASTRAN и многие другие.

Он позволяет рассчитывать не только прочность, но и колебания. Методом конечных элементов можно рассчитывать задачи гидрогазодинамики и теплопередачи, причем результаты этих расчетов очень удобно передавать как данные для расчета на прочность. Можно рассчитывать детали любой формы, при любых нагрузках и закреплениях.

Поэтому метод конечных элементов свободен от очень многих допущений, которые необходимы при выводе аналитических уравнений и ограничивают их точность.

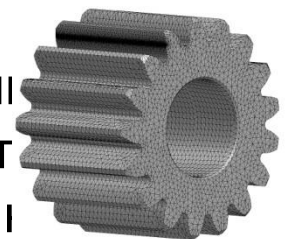
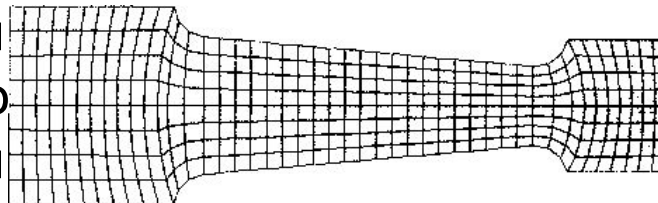
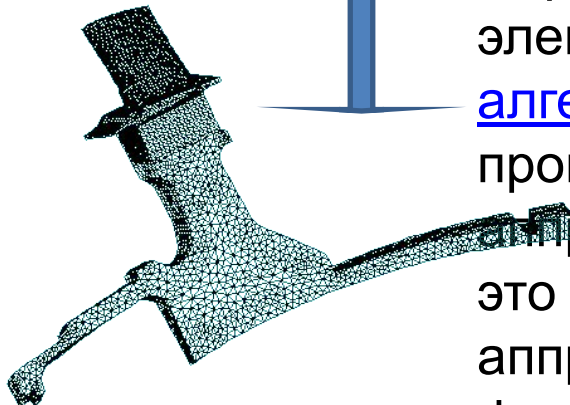
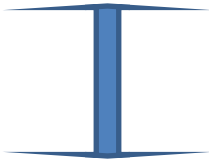
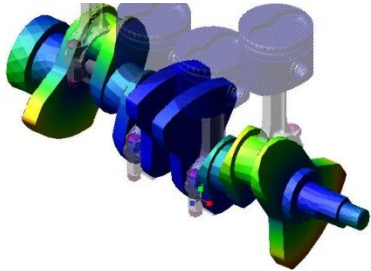
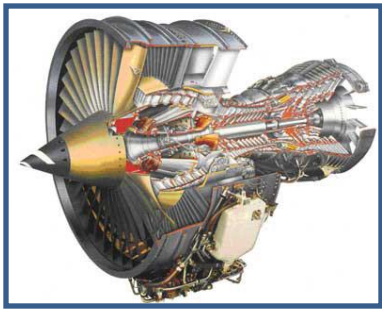
Основная идея метода конечных элементов (МКЭ) – аппроксимация сплошной среды с бесконечным числом точек и степеней свободы совокупностью элементов конечно малого размера, связанных между собой в узлах. В примере на рис разбивка детали содержит 8 конечных элементов и 10 узлов.



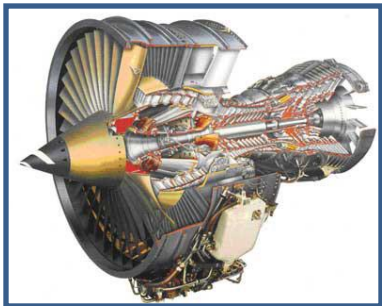
## Прочность – метод конечных элементов

В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. В простейшем случае это полином. В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. В простейшем случае это полином первой степени. Вне своего элемента аппроксимирующая функция равна нулю. Значения функций на границах элементов (в узлах) являются решением задачи и заранее неизвестны. Коэффициенты аппроксимирующих функций обычно ищутся из условия равенства значения соседних функций на границах между элементами (в узлах). Затем эти коэффициенты выражаются через значения функций в узлах элементов. Составляется система линейных алгебраических уравнений. В каждом из элементов произвольно выбирается

аппроксим  
это полино  
аппроксим  
нуль

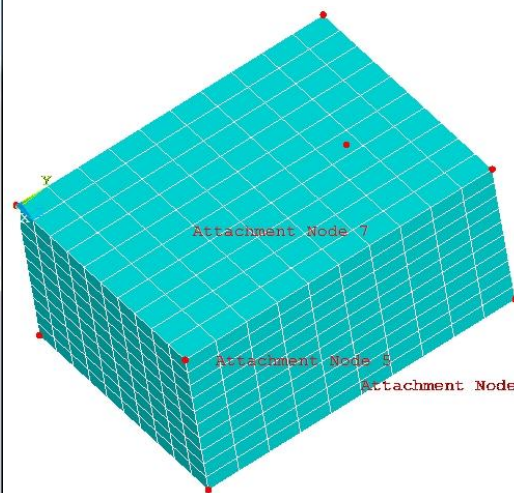
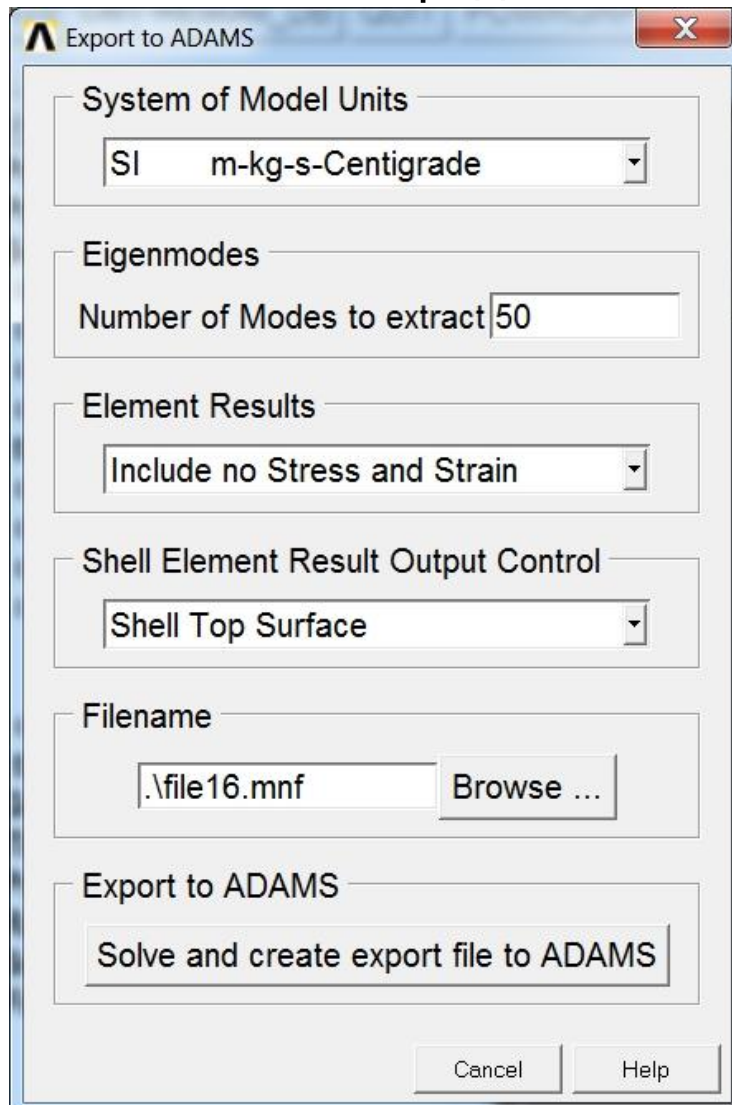
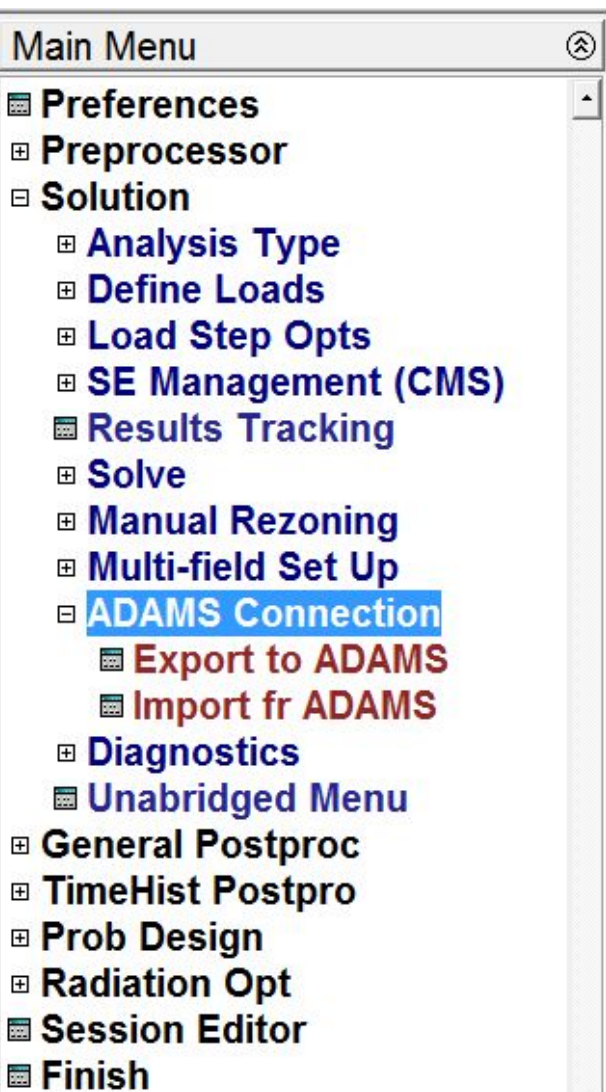


е  
а  
3  
19



## Прочность – интерфейс ANSYS-ADAMS

ANSYS и ADAMS могут обмениваться деформируемыми телами в формате \*.mnf (modal neutral file). При экспорте деформируемого тела из ANSYS пользователю предлагается указать Attachment



Файл в формате \*.mnf можно импортировать в MSC. ADAMS через меню Build – Flexible Bodies – ADAMS/Flex.



**Просмотреть работу, понять, что является исходными данными, и что результатом**

**Создать геометрию модели (Preprocessor - Modeling)**

**Выбрать тип конечного элемента (Preprocessor - Element Type)**

**Выбор физических констант: толщин оболочек, диаметров и т.д. (Preprocessor - Real Constants)**

**Выбор материалов модели: модуль упругости, плотность и т.д. (Preprocessor - Material Props)**

**Выбор поперечного сечения для линейных и балочных элементов (Preprocessor - Sections)**

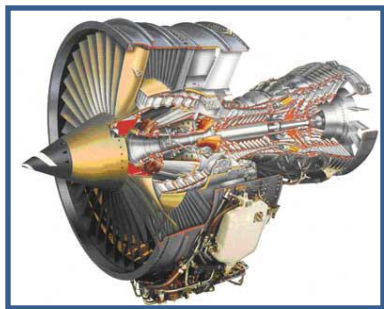
**Задание свойств сетки и разбиение на сетку конечных элементов (Preprocessor - Meshing)**

**Закрепление модели и приложение нагрузок (Preprocessor - Loads)**

**Выбор типа расчёта: статический, динамический, колебания и т.д. (Solution - Analysis Type)**

**Проведение расчёта текущей модели (Solution - Solve - Current LS)**

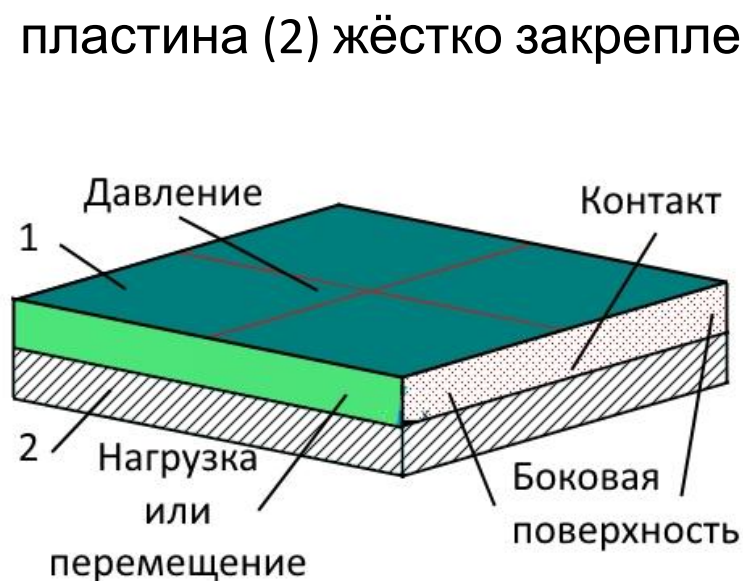
**Построение и анализ графиков (General Postproc - Plot Results - Contour Plot)**

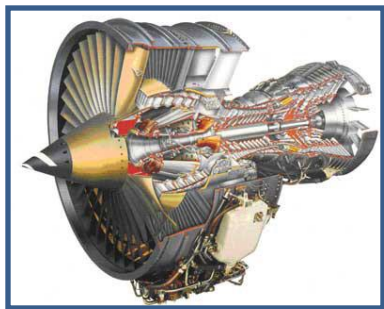


## Прочность – решение контактных задач

В ANSYS возможно решение контактных задач в статической и нестационарной постановке. Статический расчёт модели позволяет получить, например, гистерезисные характеристики.

Исследуя поведение контакта в динамике, можно получить АЧХ исследуемых конструкций и оценить влияние различных конструктивных мероприятий по снижению уровня вибраций. Ниже дан пример модели, состоящей из двух соприкасающихся пластин, между которыми задано контактное взаимодействие. Верхняя пластина (1) закреплена только от перемещений в боковом направлении. Нижняя пластина (2) жёстко закреплена по нижней поверхности.





## Программное обеспечение по расчету надежности сложных технических систем

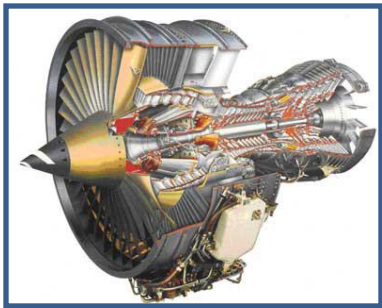
Подготовлено по материалам статьи авторов: Строгонов Андрей, Жаднов Валерий, Полесский Сергей.

Наиболее распространены среди разработчиков БК являются: **RELEX** (Relex software Corporation, США); **A.L.D.Group** (Израиль); **Risk Spectrum** (Relcon AB, Швеция); **ISOGRAPH** (Великобритания).

Использование аппарата математической логики позволяет формализовать условия работоспособности сложных технических систем и расчет их надежности.

Если можно утверждать, что система работоспособна в случае работоспособности ее элементов А и В, то можно сделать вывод о том, что работоспособность системы (событие С) и работоспособность элементов А и В (событие А и событие В) связаны между собой логическим уравнением работоспособности:  $C = A \wedge B$ . Здесь обозначение  $\wedge$  используется для отображения логической операции И. Логическое уравнение работоспособности для данного случая может быть представлено схемой последовательного соединения элементов А и В.

В общем случае под **деревом событий** понимается графическая модель, описывающая логику развития различных вариантов



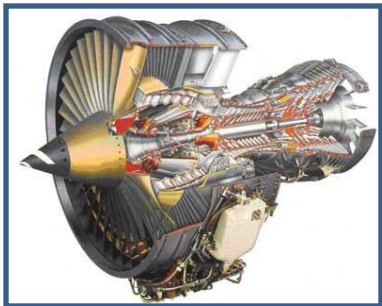
# Программное обеспечение по расчету надежности сложных технических систем

Подготовлено по материалам статьи авторов: Строгонов Андрей, Жаднов Валерий, Полесский Сергей.






Под **деревом отказов** понимается графическая модель, отображающая логику событий, приводящих к невыполнению заданной функции (отказу) системы вследствие возникновения различных комбинаций отказов оборудования и ошибок персонала. В состав **дерева отказов** входят графические элементы, служащие для отображения элементарных случайных событий (базисных событий) и логических операторов. Каждому логическому оператору Булевой алгебры соответствует определенный графический элемент, что позволяет производить декомпозицию сложных событий на более простые (базисные или элементарные).

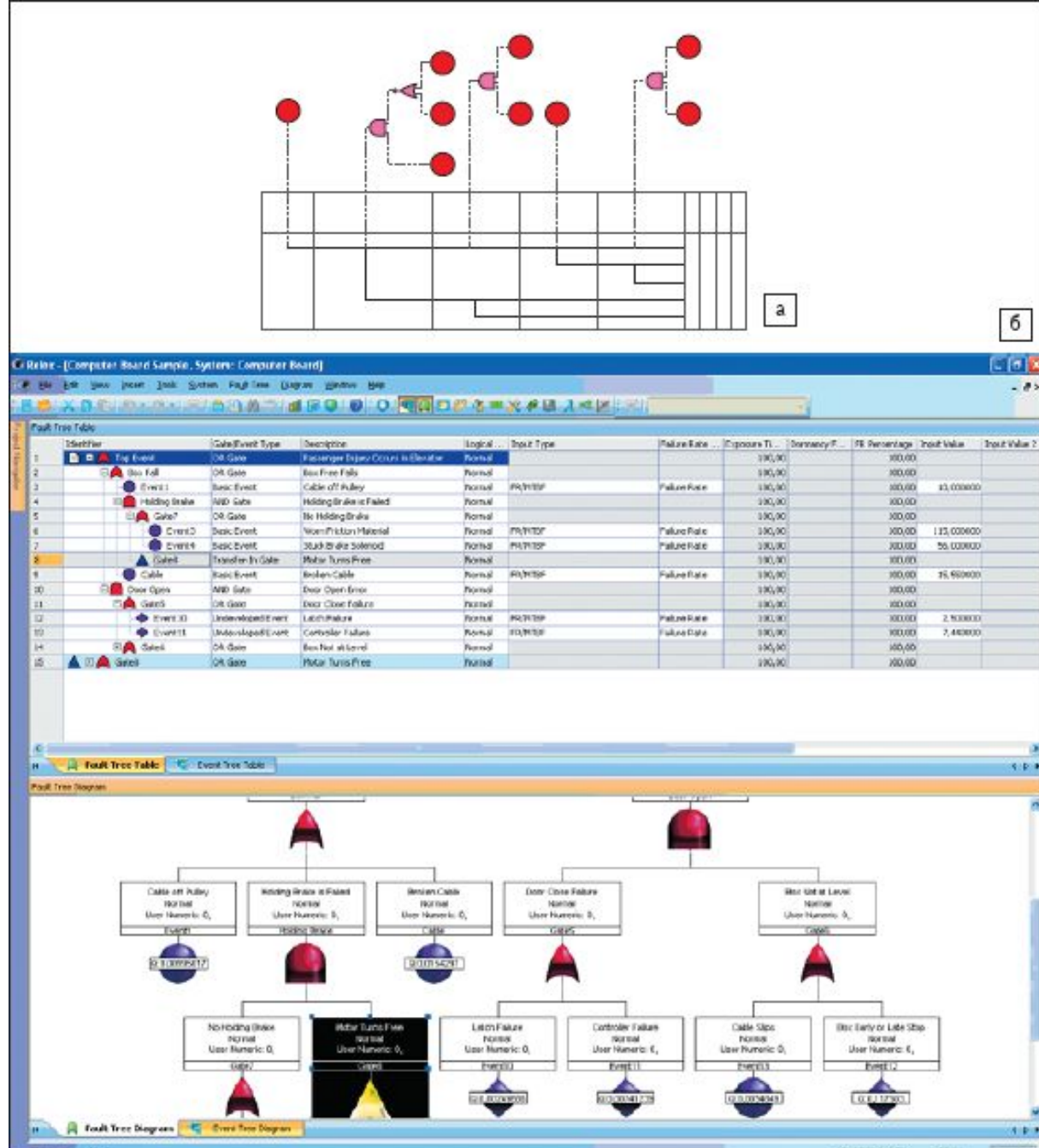
С помощью **аварийных процессов** на **дереве событий** отображаются варианты развития аварийного процесса. При этом под **аварийным процессом** понимается последовательность событий, приводящих к некоторому конечному состоянию объекта, включающая исходное событие аварии, успешные или неуспешные срабатывания систем безопасности и действия личного состава (персонала) в процессе развития аварии.

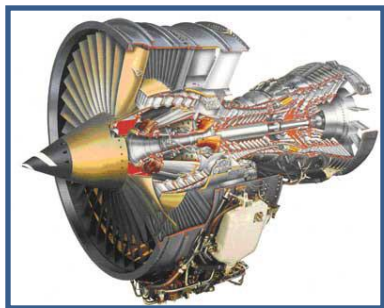




# Программное обеспечение по расчету надежности сложных технических систем

Вершина	Название	Описание
	AND	Логическое И
	OR	Логическое ИЛИ
	NAND	Логическое И-НЕ
	NOR	Логическое ИЛИ-НЕ
	NOT	Логическое НЕ





## Программное обеспечение по расчету надежности сложных технических систем

Подготовлено по материалам статьи авторов: Строгонов Андрей, Жаднов Валерий, Полесский Сергей.

[http://www.kit-e.ru/articles/device/2007\\_5\\_183.php](http://www.kit-e.ru/articles/device/2007_5_183.php)

Отечественное ПО, которое применяется на ряде предприятий:

ПО АСОНИКА-К (МИЭМ-ASKsoft)

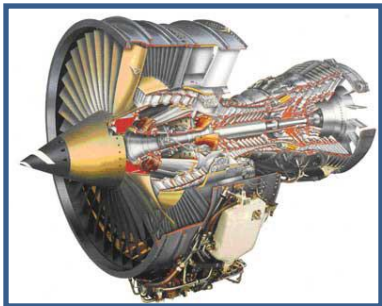
ПО АСМ (ПО для автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем, ОАО «СПИК СЗМА»);

ПО «Универсал» (для расчетов надежности и функциональной безопасности технических устройств и систем, ФГУП «ВНИИ УП МПС РФ»);

ИМК КОК (инструментально-моделирующий комплекс для оценки качества функционирования информационных систем, ФГУП «3 ЦНИИ МО РФ») и др.

Для расчета надежности РЭА и ЭРИ также широко используют автоматизированную справочно-информационную систему (АСРН) (ФГУП «22 ЦНИИ МО РФ»);

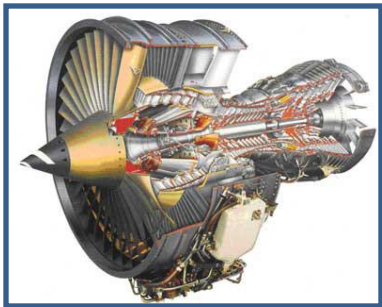
автоматизированную систему расчета надежности ЭРИ и РЭА (АСРН-2000, АСРН-1 (для ЭРИ и РЭА народнохозяйственного назначения, ОАО «РНИИ “ЭЛЕКТРОНСТАНДАРТ”»)).



Подготовка к  
производств  
у -  
программно  
е  
обеспечение  
по CAM-части





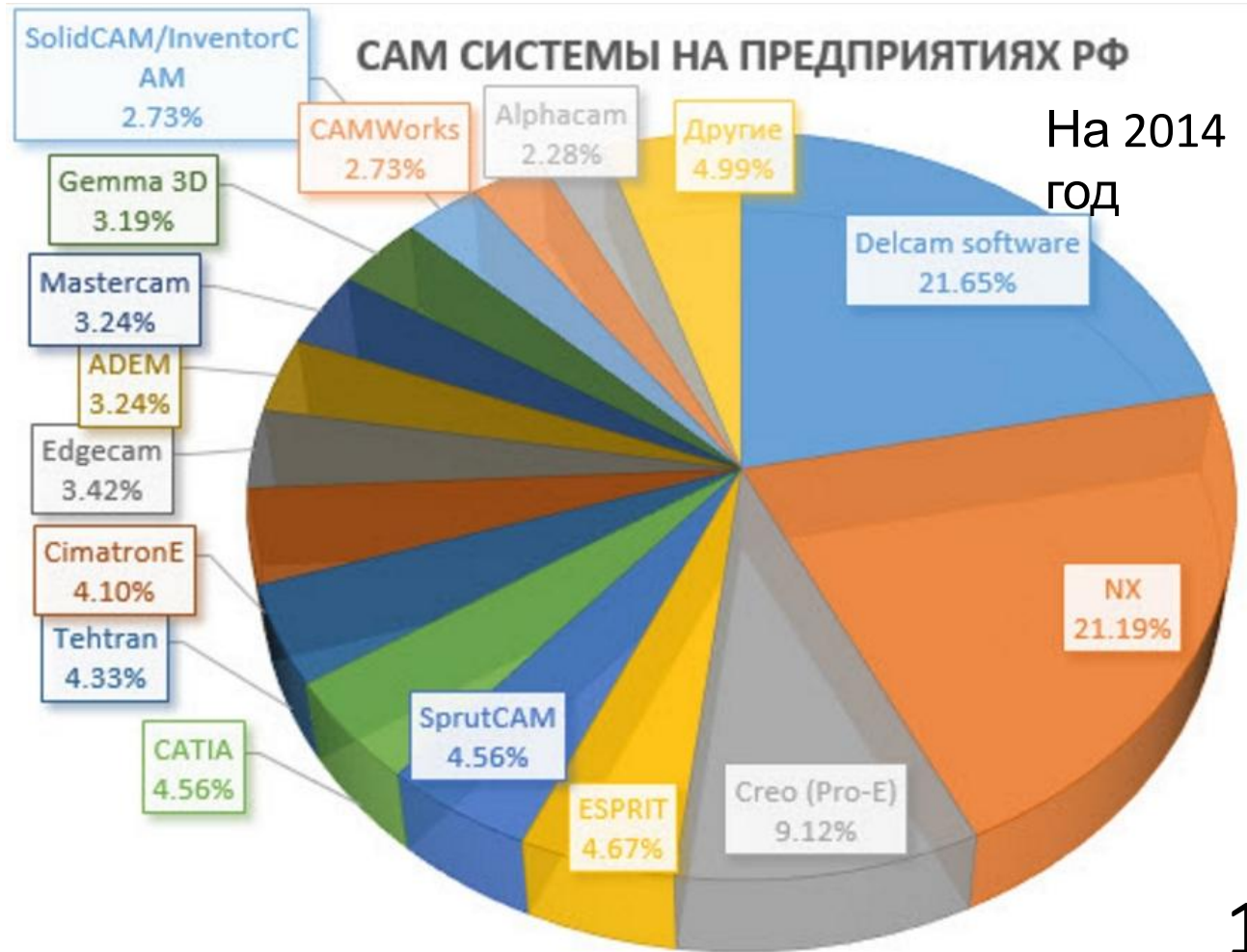


## Подготовка к производству - программное обеспечение по САМ-части

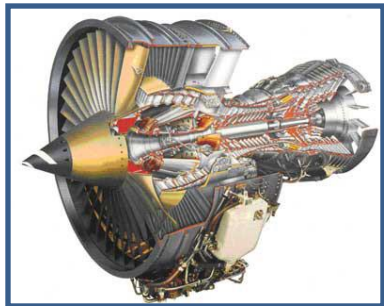
САМ-системы условно можно разделить на два типа: собственно САМ, и, ПО, использующее САМ в составе CAD/CAM и PLM комплексов, причем САМ функционал в таких решениях не является доминантой.

Основное назначение САМ-пакетов – создание программ управления ЧПУ для преобразования «виртуального» изделия в реальное.

Вторая задача – анализ и разработка технологии изготовления.







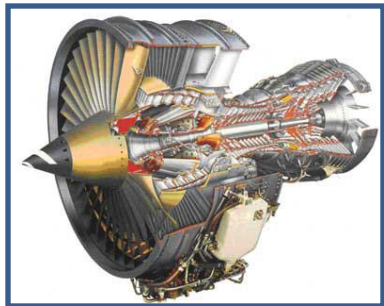
## Подготовка к производству - NX CAM

NX предоставляет полное программное решение для разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ (CAM), постпроцессирования и симуляции работы станков.

Программное обеспечение NX успешно внедрено и используется во многих отраслях промышленности, его возможности для производства проверены в авиакосмической отрасли, автомобилестроении, в производстве медицинского оборудования, изготовлении пресс-форм и штампов, а также в сфере машиностроения. Новейшие технологии автоматизации программирования станков с ЧПУ в NX CAM могут повысить эффективность производства.

Благодаря обработке на основе элементов (FBM) можно сократить время программирования до 90 %. Кроме того, шаблоны позволяют использовать заранее определенные процессы на основе правил, чтобы стандартизировать программируемые задачи и ускорить их выполнение.

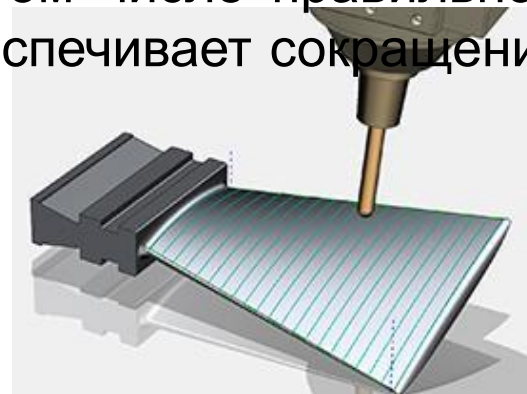
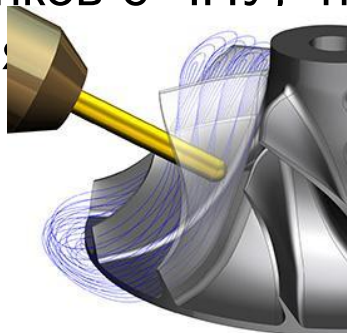
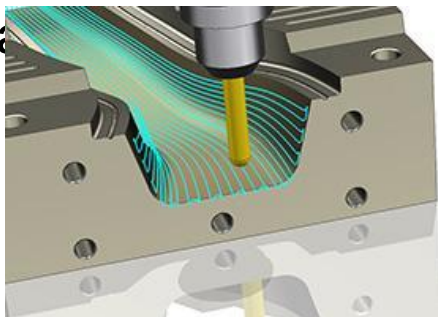
NX CAM имеет тесно интегрированную систему постпроцессирования, которая позволяет легко сгенерировать требуемый код УП для большинства типов станков и систем ЧПУ. Многоуровневый процесс проверки программы для станка с ЧПУ включает симуляцию на основе G-кода, что позволяет исключить необходимость использования внешних пакетов программ для симуляции.

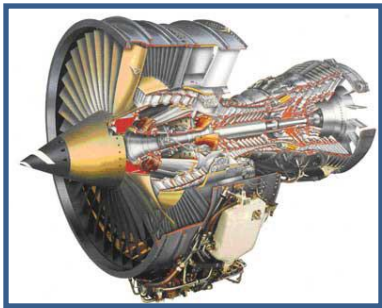


## Подготовка к производству - NX CAM

NX предоставляет полное программное решение для разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ (CAM), постпроцессирования и симуляции работы станков.

В NX реализованы расширенные средства автоматизированного проектирования, которые позволяют решать любые задачи: от моделирования новых деталей и подготовки моделей деталей для CAM до создания чертежей наладки по данным из 3D-модели. Интеграция NX CAM с системой управления данными и процессами Teamcenter является основой расширенного решения для производства деталей. Это позволяет легко управлять всеми типами данных, включая 3D-модели детали, карты наладки, перечни инструментов, а также файлами управляющих программ для станков с ЧПУ, обеспечивая полный контроль ревизий. Такое управление данными и процессами гарантирует использование нужных данных, в том числе правильной оснастки и программ для станков с ЧПУ, что обеспечивает сокращение затрат на производство.





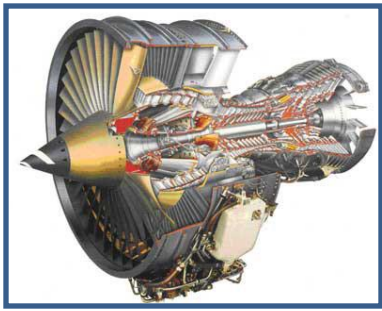
## Подготовка к производству – чертежи (2D-модель)

Станки с ЧПУ различных типов (в том числе 3D-принтеры) могут охватить лишь некоторую часть производства. Для остального производства

Автосоздание  
видов,  
разрезов,  
сечений,  
стандартных  
деталей,  
размеров  
Ассоциативная  
связь с 3D-  
моделью  
Помощь в  
выборе  
допусков,  
посадок,  
шероховатосте  
й



Автозаполнение  
документации:  
(форматки, спецификации,  
ТУ)



## PLM – жизненный цикл

**Жизненный цикл изделия** (*жизненный цикл продукции*) — совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукта.

### Этапы жизненного цикла

- Маркетинговые исследования
- Проектирование продукта
- Планирование и разработка процесса
- Закупка
- Производство или обслуживание
- Проверка
- Упаковка и хранение
- Продажа и распределение
- Монтаж и наладка
- Техническая поддержка и обслуживание
- Эксплуатация по назначению
- Послепродажная деятельность
- Утилизация и(или) переработка

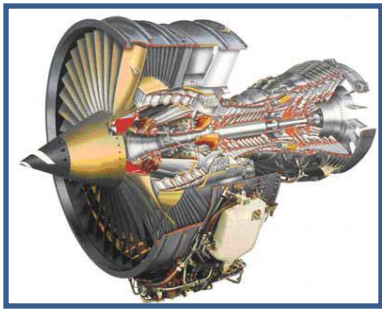
Технологии PLM (включая технологии CPC) являются основой, интегрирующей информационное пространство, в котором функционируют САПР, ERP, PDM, SCM, CRM и другие автоматизированные системы многих предприятий.

ERP - интегрированные системы планирования ресурсов предприятия;

SCM - системы планирования производства;

CRM - отношения с заказчиками и покупателями.





## **PDM – управление данными о виртуальном изделии**

**PDM-система** ([англ. Product Data Management](#) — система управления данными об изделии) — организационно-техническая система,

обеспечивающая управление всей информацией об изделии. В PDM-системах реализованы следующие технологии, как:

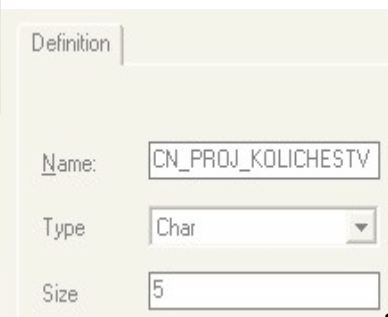
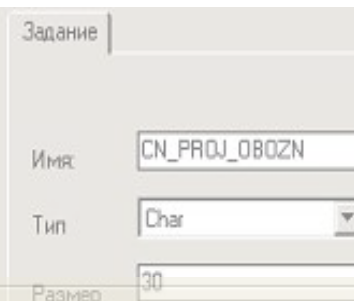
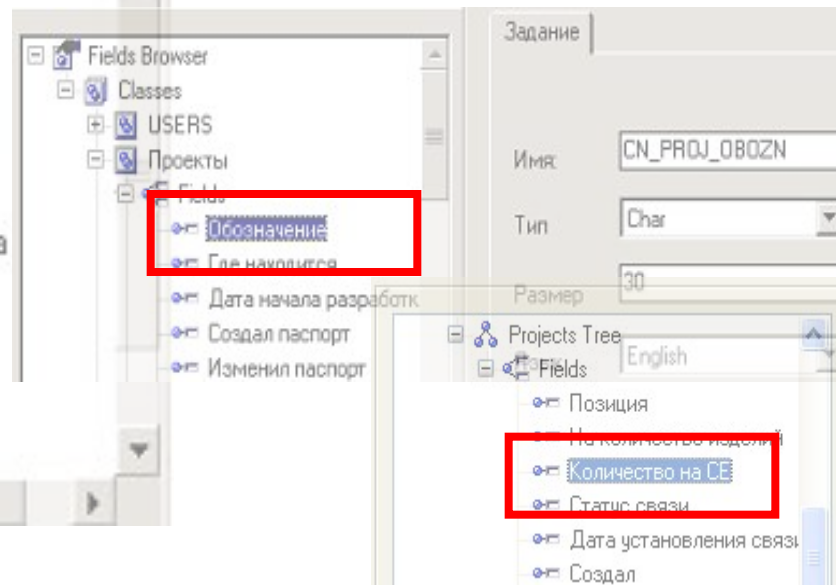
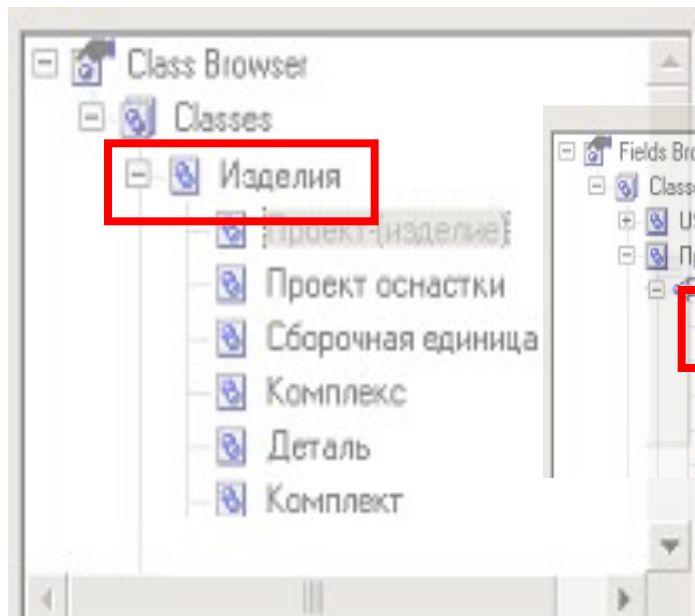
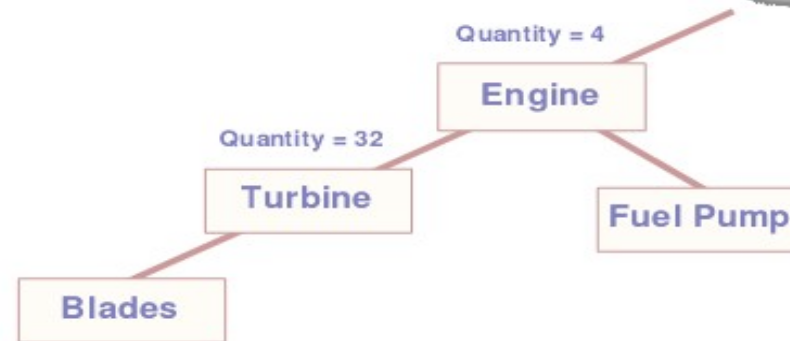
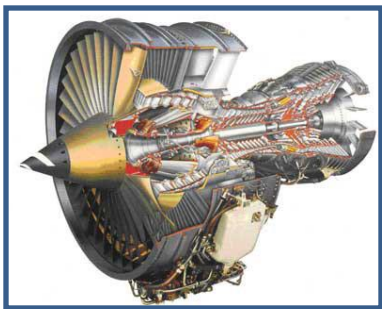
- управление инженерными данными (engineering data management — EDM)
- управление документами
- управление информацией об изделии (product information management — PIM)
- управление техническими данными (technical data management — TDM)
- управление технической информацией (technical information management — TIM)
- управление изображениями и манипулирование информацией, всесторонне определяющей конкретное изделие.

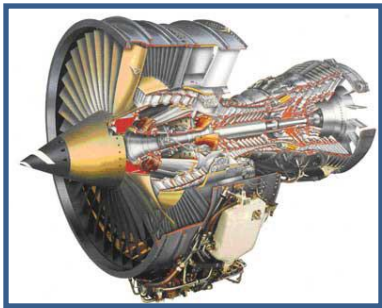
Базовые функциональные возможности PDM-систем охватывают следующие основные направления:

- управление хранением данных и документами
- управление потоками работ и процессами
- управление структурой продукта
- автоматизация генерации выборок и отчетов
- механизм авторизации

# PDM – управление данными о виртуальном изделии

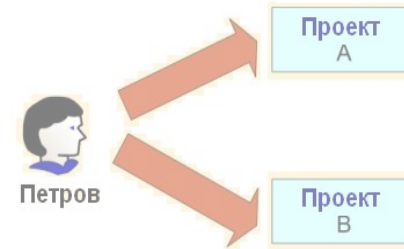
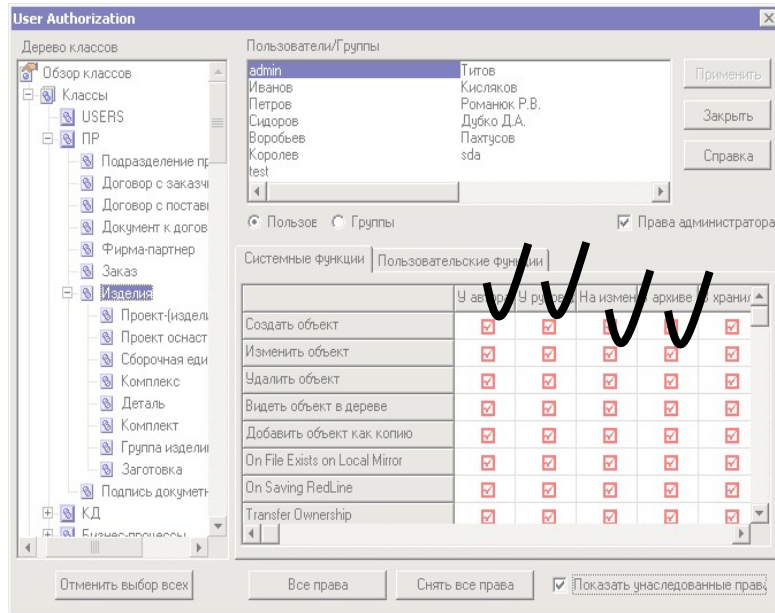
## Построение модели предметной области



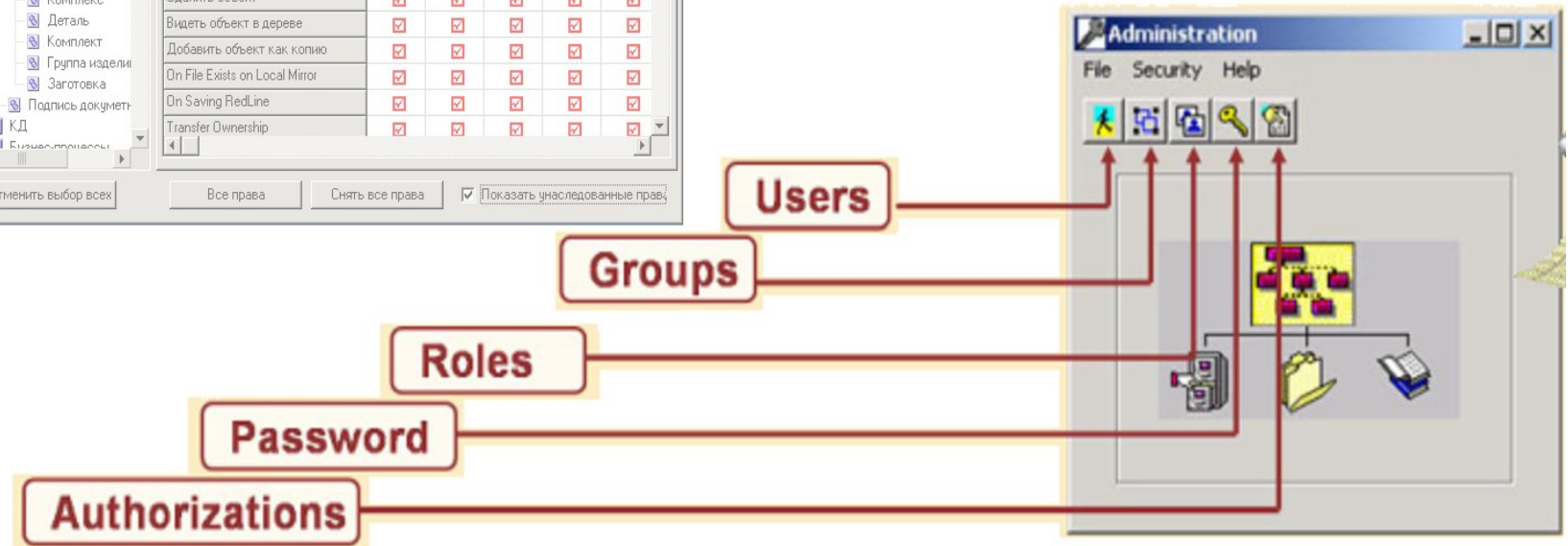


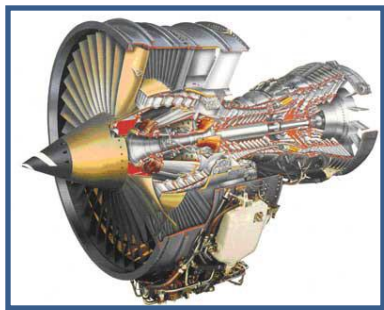
# PDM – управление данными о виртуальном изделии

## User Maintenance



Права доступа автоматически изменяются в зависимости от выполняемой роли в проекте





# PDM – управление данными о виртуальном изделии

## Интеграция с CAD-системами

Поддержка структуры сборок (структура, атрибуты сохраняются в SMARTEAM), управление структурой сборок с учетом ЖЦ документов (версий)

- CATIA (Web)
- CATIA (Windows)
- SolidWorks
- AutoCAD
- Mechanical Desktop
- Inventor
- Solid Edge
- Pro/ENGINEER
- MicroStation
- I-deas
- UG

Автоматическое заполнение основной надписи на чертежах

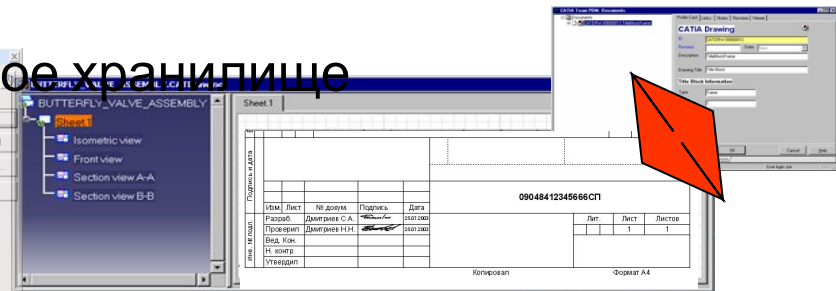
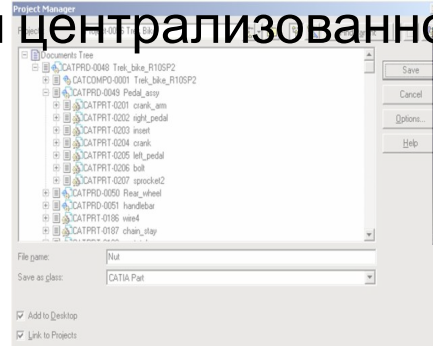
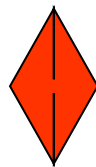
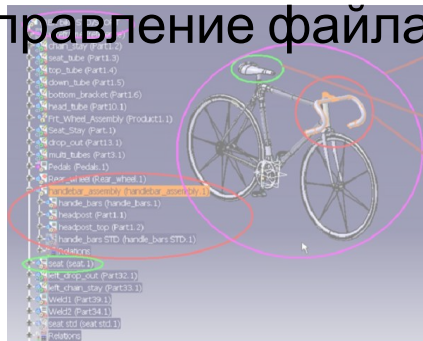
Автозапуск CAD-системы из PDM SMARTEAM

Двунаправленная интеграция

Хранение и передача ассоциативных связей из CAD в PDM

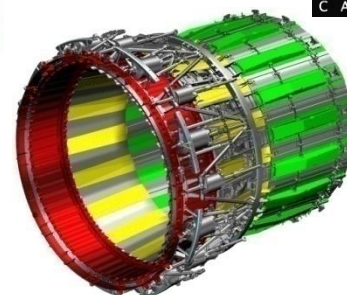
Обеспечение параллельной, коллективной работы участвующих в проекте специалистов

Управление файлами и централизованное хранилище



Двунаправленная интеграция





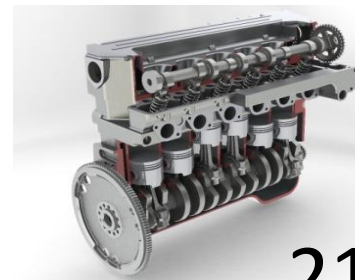
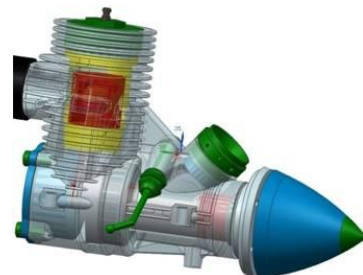
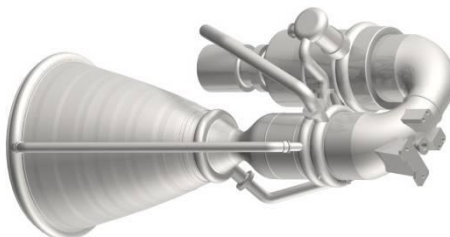
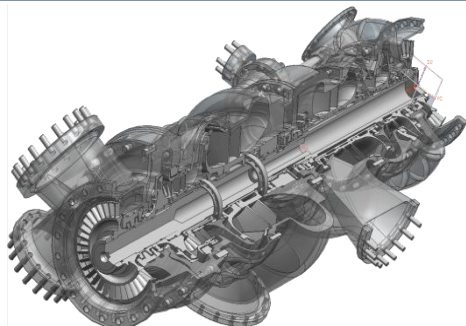
**Виртуальный ГТД**

**Многодисциплинарный анализ,  
параметризация,  
опора на физические модели  
при виртуальном моделировании,  
интеграция пакетов,  
объединение данных об изделии  
(жизненном цикле)  
внутри PDM-системы**

**Виртуальный ЖРД**

**Виртуальный ДВС**

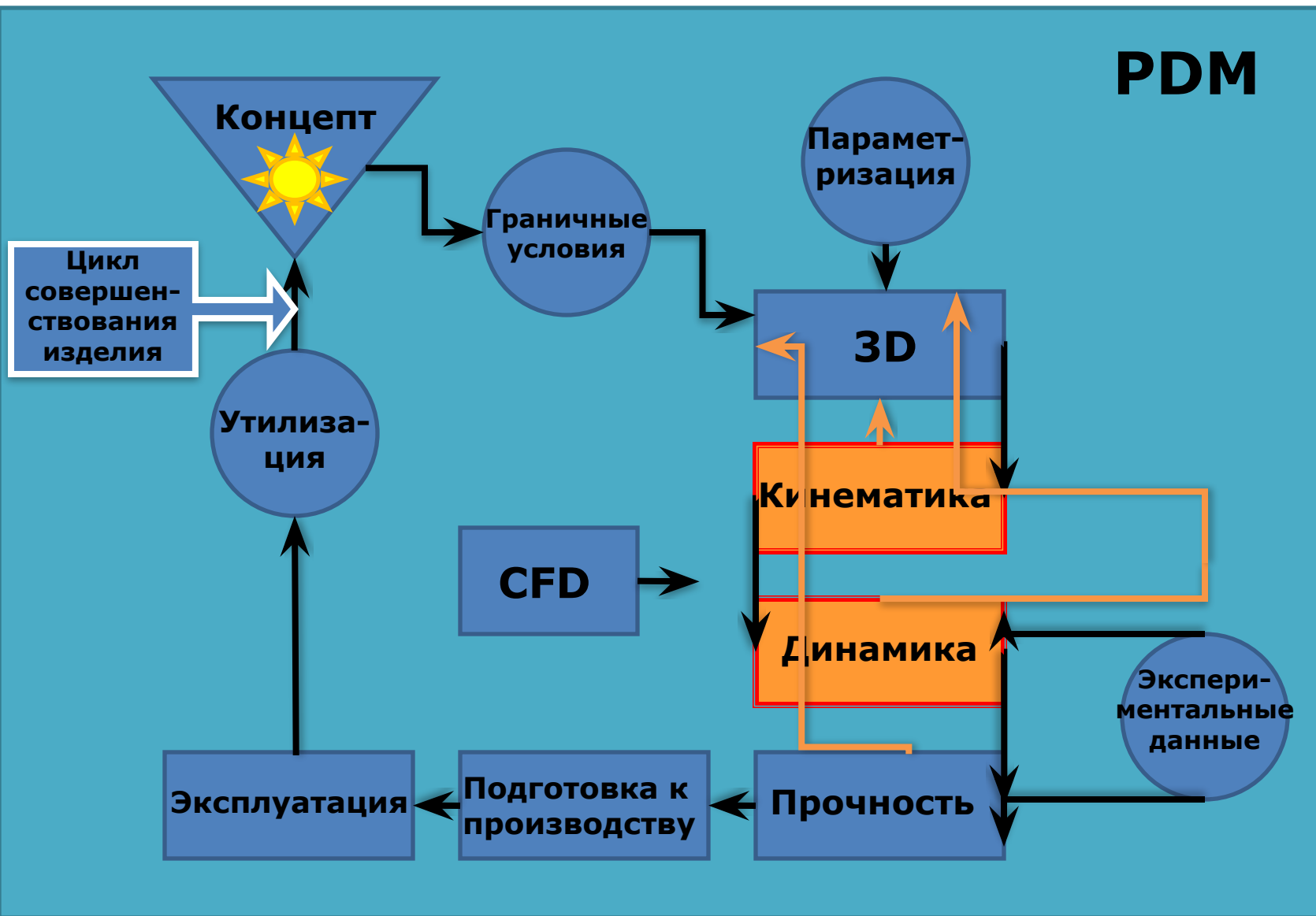
**Teamcenter 8**



# Универсальная схема виртуального прототипирования двигателя

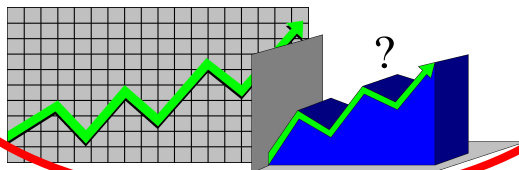
Виртуальные двигатели: ГТД, ЖРД, ДВС

PDM

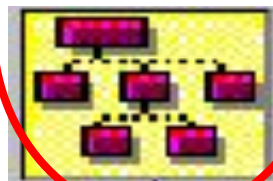


# Формы представления данных об изделии

## Таблицы



## Состав изделия



## Электронные документы

PDF Word

## Спецификации



## Модели и сборки



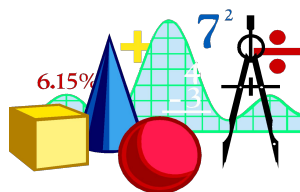
## Электронные чертежи



## ~~Бумажные документы~~



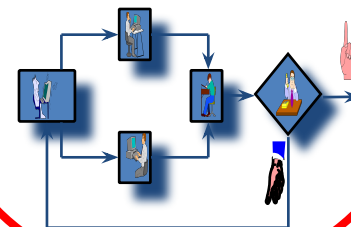
## Аналитика



## Графика

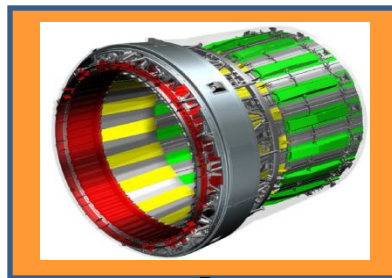


## Workflow



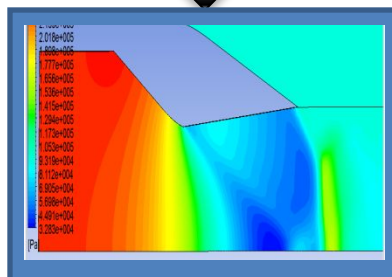
# Виртуальное моделирование реактивного сопла авиационного двигателя

Объёмное моделирование  
конструкции в SIEMENS NX

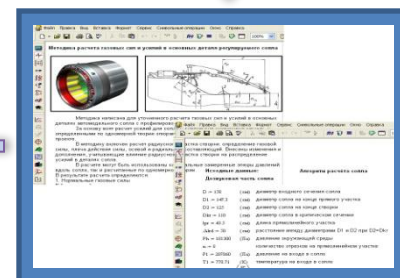
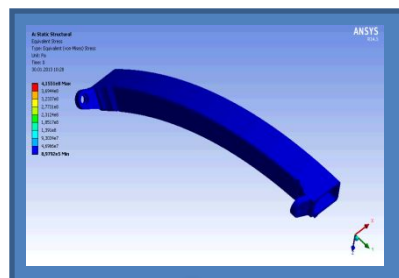


Кинематическое  
моделирование  
конструкции в MCS.ADAMS

Газодинамический расчёт  
течения рабочего тела в  
Ansys CFX



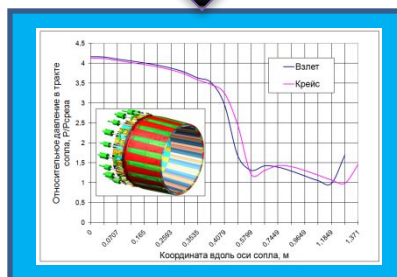
Прочностной анализ  
конструкции в Ansys или  
MSC.NASTRAN



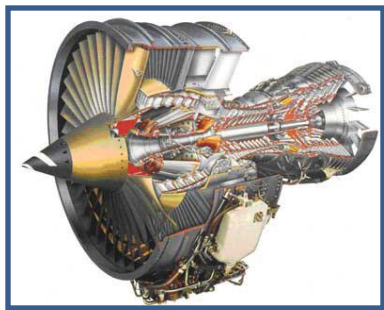
Динамический анализ  
конструкции в MCS.ADAMS

Поверочный расчёт в MathCAD

Специализированные расчёты  
(вибрационный, трибологический, износ)

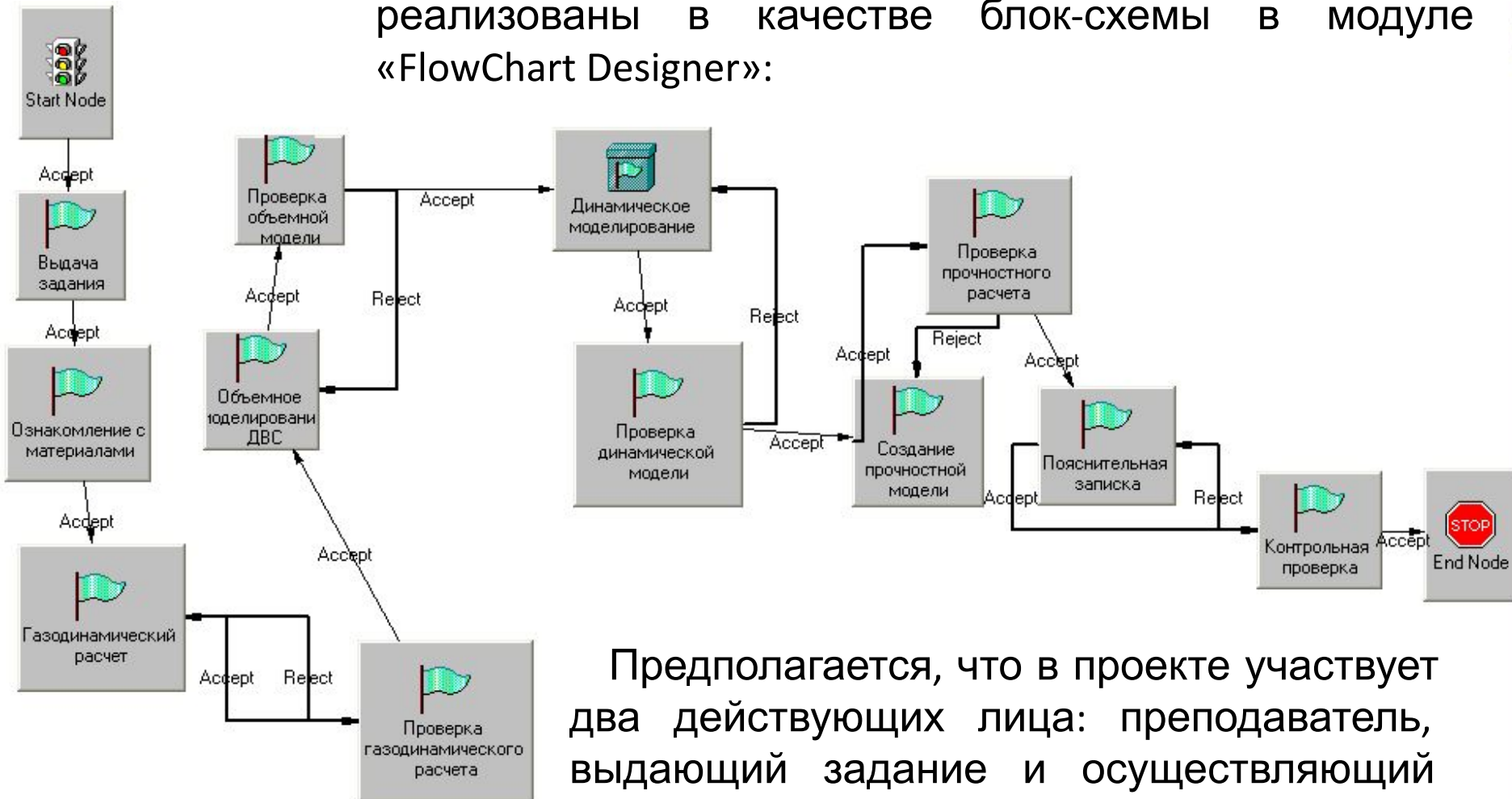






## PDM – пример курсовой работы

В качестве процесса, моделирование которого производилось в пакете «SmarTeam», была выбрана часть сквозного курсового проекта по созданию виртуального двигателя. Затем эти этапы были реализованы в качестве блок-схемы в модуле «FlowChart Designer»:



Предполагается, что в проекте участвует два действующих лица: преподаватель, выдающий задание и осуществляющий контроль и студент, выполняющий полученное задание.