

Лекция. Понятие проектирования *Задача данного курса, кроме навыков работы с программами, состоит в обучении общим основам моделирования, которые построены на принципах мышления человека. А эти принципы гласят, что любой сложный объект нужно разложить на структуру более простых объектов и начинать постигать взаимосвязи объекта и его устройство.*

Проектирование технического объекта — **создание, преобразование и представление** в принятой форме прообраза, прототипа еще не существующего объекта (или его ПО). Образ объекта или его составных частей может создаваться в воображении человека в результате творческого процесса или генерироваться в соответствии с некоторыми алгоритмами в процессе взаимодействия человека и ЭВМ. Проектирование, при котором проектные решения получают путем взаимодействия человека и ЭВМ, называют **автоматизированным проектированием**, в отличие от ручного (без использования ЭВМ) или автоматического (без участия человека на промежуточных этапах). Система, реализующая автоматизированное проектирование, представляет собой **систему автоматизированного проектирования** (САПР, в англоязычном написании CAD/CAE/CAM System — Computer Aided Design/Engineering/Manuf). Основная цель САПР — **повышение эффективности труда каждого сотрудника и всего производства в целом**.

Автоматизированное проектирование включает решение задач **расчета, анализа, оптимизации и синтеза**. **Анализ и синтез** — **основные методы познания**. Сами понятия «система», «комплекс» предполагает разложение их на элементы, части, которые образуют целое. Анализ поведения различных частей системы проводится для того, чтобы оценить систему как единое целое, выявить причины отклонения от главной цели. Синтез - объединение отдельных частей изучаемой системы, ее элементов в единую систему.

Создать проект объекта (изделия или процесса) означает **выбрать структуру, определить значения всех его параметров и представить результаты в установленной форме**. Результаты (проектная документация) могут быть выражены в виде чертежей, схем, пояснительных записок, программ для программно-управляемого технологического оборудования и других документов на бумаге или на машинных носителях информации. Понятие «проектирование» не включает в себя стадию реализации проекта, хотя современный конструктор отвечает не за чертеж и не за модель, а за то, чтобы деталь или узел за который он отвечает, оказался «в железе» в оговоренные сроки и бюджет соответствовал ТЗ.

Проектирование начинается с разработки (получения) **технического задания (ТЗ)** или технического предложения, и приводит к **представлению ТЗ в виде проектной документации**. Иногда разработку технического задания на проектирование называют **внешним** проектированием, а реализацию ТЗ — **внутренним**. В **ТЗ** на проектирование объекта указывают, по крайней мере, следующие данные:

1. **Назначение объекта;**
2. **Условия эксплуатации** представляются внешними параметрами, для которых указаны области допустимых значений. Примеры внешних параметров: температура окружающей среды, внешние силы, электрические напряжения, нагрузки и т.п.
3. **Условия работоспособности** или требования к выходным параметрам, т.е. к величинам, интересующим потребителя. Примеры условий работоспособности: - расход топлива на 100 км пробега автомобиля < 8 л; - коэффициент усиления усилителя в диапазоне частот > 300; - быстродействие процессора > 40 Мфлопс.

Проектирование сложных объектов основано на применении ряда идей и принципов, наиболее общим из которых является **системный подход**. Системный подход представляет собой **форму приложения теории познания и диалектики** к исследованию процессов, происходящих в природе, обществе, мышлении. Его сущность состоит в том, что каждый объект в процессе его исследования должен рассматриваться как большая и сложная система и, одновременно, как элемент более общей системы. **Системный подход** включает в себя выявление **структуры системы, типизацию связей, определение атрибутов, анализ влияния внешней среды, исследование модели системы и, возможно, оптимизацию ее структуры и функционирования**.

Один из разновидностей системного, **блочно-иерархический подход** использует идеи **декомпозиции** сложных объектов на **иерархические уровни**, вводит **аспекты и стадии**, понятие **стиля проектирования** (восходящий, нисходящий, смешанный), устанавливает связь между параметрами соседних иерархических уровней. В проектировании выделяются уровни:

- **- системный**, на котором решают наиболее общие задачи проектирования систем, машин и процессов; результаты проектирования представляют в виде структурных схем, генеральных планов, схем размещения оборудования, диаграмм потоков данных и т.п.;
- **- макроуровень**, на котором проектируют отдельные устройства, узлы машин и приборов; результаты представляют в виде функциональных, принципиальных и кинематических схем, сборочных чертежей и т.п.;
- **- микроуровень**, на котором проектируют отдельные детали и элементы машин и приборов.

Математически уровни характеризуются учитываемыми переменными, на микроуровне это параметры пространства x, y, z и время t . На макроуровне непрерывной переменной остается только время t . На системном уровне пространство и время обычно дискретны, учитывается факт совершения события, математическая модель может иметь вид системы булевых уравнений.

В каждом приложении число выделяемых уровней и их наименования могут быть различными. Так, в радиоэлектронике микроуровень часто называют **компонентным**, а макроуровень — **схемотехническим**

уровнем. Между схемотехническим и системным уровнями вводят **функционально-логический** уровень. В вычислительной технике системный уровень подразделяют на **уровни** проектирования ЭВМ (вычислительных систем) и вычислительных сетей. В машиностроении имеются уровни деталей, узлов, машин, комплексов.

Наряду с **декомпозицией** описаний на иерархические уровни применяют разделение представлений о проектируемых объектах на **аспекты - функциональный, информационный, структурный и поведенческий (процессный)**. Аспект – это точка зрения, с которой рассматриваются какие-либо предметы, явления. **Функциональное** описание системы (**как работает?**) чаще всего представляют функциональными схемами. **Структурное** описание (**из чего состоит?**) характеризует составные части системы и их межсоединения и может быть представлено структурными схемами. **Информационное** описание (**что, от чего и как зависит?**) включает в себя основные понятия предметной сущности, словесное пояснение или числовые значения характеристик (атрибутов) используемых объектов, а также описание связей между этими понятиями и характеристиками. Информационные модели можно представлять графически (графы, диаграммы сущность-отношение), в виде таблиц или списков. **Поведенческое описание** характеризует **алгоритмы работы системы** или технологические процессы создания системы. Разработка программного обеспечения (ПО) и алгоритмов работы систем является предметом **алгоритмического проектирования**, а разработка технологических процессов изготовления изделий предметом **технологического проектирования**.

Структурирование процесса проектирования ведется в трех направлениях, показанных на рис. 1 в виде трех координатных осей:

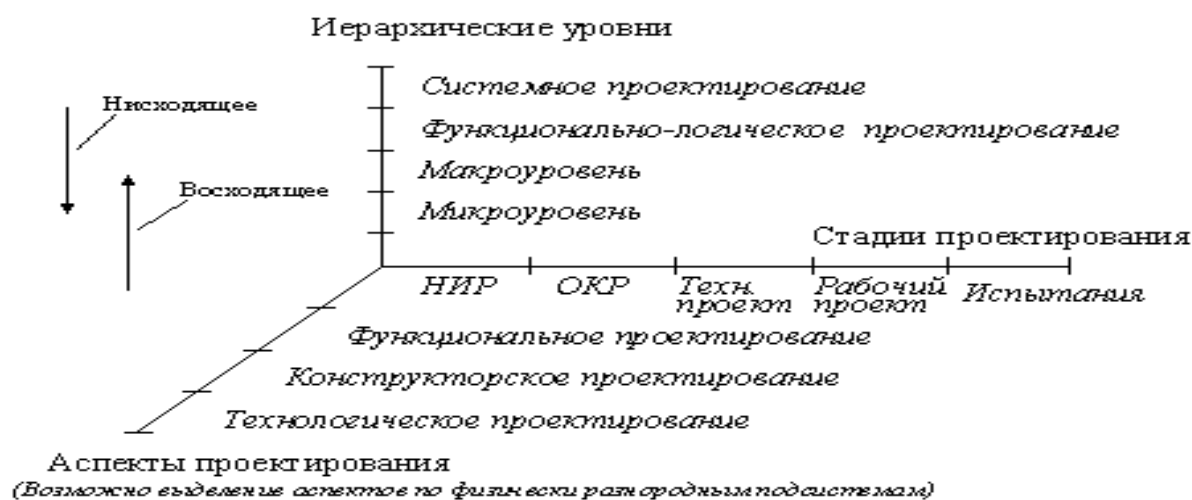


Рис. 1. Структурирование процесса проектирования

Наиболее крупные части проектирования как процесса, развивающегося во времени, называют **стадии проектирования**. Выделяют **концептуальное проектирование**, в процессе которого принимаются принципиальные проектные решения по облику и принципам действия проектируемых устройств и систем (аван-проект), стадии **научно-исследовательских работ (НИР)**, **эскизного проекта** или **опытно-конструкторских работ (ОКР)**, **технического, рабочего проектов, испытаний опытных образцов** или опытных партий. В зависимости от последовательности решения задач иерархических уровней различают **нисходящее, восходящее и смешанное проектирование**. Последовательность решения задач от нижних уровней к верхним характеризует восходящее проектирование, обратная последовательность приводит к нисходящему проектированию, а при наличии заранее спроектированных составных блоков (устройств) можно говорить о смешанном проектировании.

Для конструктора, например, понятие проектирование означает временную последовательность выполнения шагов (стадий) этого сложного процесса: **техническое задание, концепция изделия, компоновка, деление изделия на составные части, детальная проработка агрегатов, контрольная сборка изделия, выпуск конструкторской документации, внесение изменений в проект** (на основании испытаний опытного образца).

Понятия проектирования:

Элемент — часть системы, представление о которой нецелесообразно подвергать при проектировании дальнейшему членению.

Фазовая переменная — величина, характеризующая энергетическое или информационное наполнение элемента или системы.

Состояние — совокупность значений фазовых переменных, зафиксированных в одной временной точке процесса функционирования.

Система — множество элементов, находящихся в отношениях и связях между собой.

Сложная система — система, характеризующаяся большим числом элементов и большим числом их взаимосвязей. Сложность системы определяется также видом взаимосвязей элементов, свойствами целенаправленности, целостности, членимости, иерархичности, многоаспектности.

Подсистема — часть системы (подмножество элементов и их взаимосвязей), которая имеет свойства системы.

Надсистема — система, по отношению к которой рассматриваемая система является подсистемой.

Параметр — величина, выражающая свойство системы или ее части или влияющей на систему среды. Параметры подразделяют на **внешние, внутренние и выходные**, выражающие свойства внешней среды, элементов системы, самой системы, соответственно. Векторы **внутренних параметров, выходных параметров и внешних параметров** обозначаются

$$\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad \mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_m), \quad \mathbf{Q} = (q_1, q_2, \dots, q_k) \text{ соответственно.}$$

Структура — отображение совокупности элементов системы и их взаимосвязей; при описании структуры принимают во внимание лишь типы элементов и связей без конкретизации значений их параметров. Выбор структуры объекта называется **структурным синтезом**, а расчет значений параметров элементов — **параметрическим синтезом**.

Поведение (динамика) системы — изменение состояния системы в процессе функционирования.

Вектор переменных состояния \mathbf{V} — множество фазовых переменных, задание значений которых в некоторый момент времени полностью определяет поведение системы.

Фазовая траектория — представление процесса (зависимости $\mathbf{V}(t)$) в виде последовательности точек в пространстве состояний.

Пример: Компьютер является сложной системой в силу наличия у него большого числа элементов, разнообразных связей между элементами и подсистемами, свойств целенаправленности, целостности, иерархичности. К **подсистемам** компьютера относятся процессор (процессоры), оперативная память, кэш-память, шины, устройства ввода-вывода. В качестве **надсистемы** могут выступать вычислительная сеть, автоматизированная система, к которым принадлежит компьютер. **Внутренние параметры** — времена выполнения арифметических операций, чтения (записи) в накопителях, пропускная способность шин и др. **Выходные параметры** — производительность компьютера, энергопотребление, емкость оперативной и внешней памяти, себестоимость, время наработки на отказ и др. **Внешние параметры** — напряжение питания сети и его стабильность, температура окружающей среды и др.

Модели проектирования.



В проектных процедурах вместо еще не существующего проектируемого объекта оперируют некоторым квазиобъектом — **моделью**, которая отражает лишь некоторые интересные свойства объекта. Модели называют **математическими**, если они формализованы средствами аппарата и языка математики. Математические модели могут быть геометрическими и топологическими, динамическими и статическими, детерминированными и стохастическими, аналоговыми и дискретными, численными, имитационными и т.д.. В зависимости от принадлежности к тому или иному иерархическому уровню выделяют модели системного, функционально-логического, макроуровня (сосредоточенные) и микроуровня (распределенные).

Рис. Структура процесса решения задачи проектирования

Вычислительная математическая модель в общем случае представляет собой алгоритм вычисления вектора выходных параметров при заданных внутренних и внешних параметрах. Выходные параметры могут быть двух типов: во-первых, это **параметры-функционалы**, примеры таких параметров: амплитуды сигналов, временные задержки, мощности рассеивания и т.п. Во-вторых, это **граничные значения диапазонов** внешних переменных, в которых сохраняется работоспособность объекта.

Под **компьютерной моделью** чаще всего понимают:

- условный образ объекта или некоторой системы объектов (или процессов), отображающий структуру и взаимосвязи между элементами объекта и описанный с помощью взаимосвязанных компьютерных таблиц, блок-схем, диаграмм, графиков, рисунков, анимационных фрагментов, гипертекстов и т. д. Компьютерные модели такого вида являются **структурно-функциональными**;
- отдельную программу, совокупность программ, программный комплекс, позволяющий с помощью последовательности вычислений и графического отображения их результатов воспроизводить (имитировать) процессы функционирования объекта. Такие модели принято называть **имитационными**.



Моделирование состоит из этапов **формирования модели (modeling)** и **исследования модели (simulation)**.

Формирование модели включает две процедуры: разработку моделей отдельных компонентов и формирование модели системы из моделей компонентов. Как правило, модели компонентов разрабатываются специалистами в прикладных областях, знающими требования к моделям и формам их представления в САПР. Созданные модели включаются в библиотеки моделей прикладных программ анализа.

Рис. Проектная процедура в ECAD.

Исследование модели (simulation) — сводится к решению уравнений математической модели и вычислению вектора выходных параметров Y в граничных значениях переменных. Для этого используются специальные программы САПР (CAE). Выполнение анализа и сопоставление полученных результатов с ожидаемыми называют **процедурой верификации**.

На основании моделирования производят **синтез и оптимизацию системы** и подсистем, включающие **структурный синтез** и выбор численных значений параметров элементов (**параметрический синтез**).

Структура систем автоматизированного проектирования. Как и любая сложная система, САПР состоит из подсистем. Различают подсистемы **проектирующие и обслуживающие**.

Проектирующие подсистемы непосредственно выполняют проектные процедуры. Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы **геометрического моделирования** механических объектов, изготовления конструкторской документации, **схемотехнического анализа** (для ECAD это Microcap, Microwave Office, HFSS, тд), трассировки соединений в печатных платах (Multisim/Ultiboard) и пр. Они делятся на **объектные** — выполняющие проектные процедуры и операции, непосредственно связанные с конкретным типом объектов проектирования, и **инвариантные** — выполняющие унифицированные проектные процедуры и операции, имеющие смысл для многих типов объектов проектирования.

Обслуживающие подсистемы обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР. Типичными обслуживающими подсистемами являются подсистемы графического ввода-вывода, подсистемы управления проектными данными, подсистемы разработки и сопровождения программного обеспечения CASE (Computer Aided Software Engineering), обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

Структурирование САПР по различным **аспектам** обуславливает появление **7 видов обеспечения САПР**.

- техническое обеспечение**, включающее различные аппаратные средства (ЭВМ, периферийные устройства, сетевое коммутационное оборудование, линии связи, измерительные средства);
- математическое обеспечение**, объединяющее математические методы, модели и алгоритмы для выполнения проектирования
- программное обеспечение**, представляемое компьютерными программами САПР;
- информационное обеспечение**, состоящее из баз данных (БД), систем управления базами данных (СУБД), а также включающее другие данные, используемые при проектировании;
- лингвистическое обеспечение**, выражаемое языками общения между проектировщиками и ЭВМ, языками программирования и языками обмена данными между техническими средствами САПР;
- методическое обеспечение**, включающее различные методики проектирования, иногда к МетО относят также математическое обеспечение;
- **организационное обеспечение**, представляемое штатными расписаниями, должностными инструкциями и другими документами, регламентирующими работу проектного предприятия.

+ В САПР, как проектирующей системе, выделяют также **эргономическое и правовое обеспечение**. **Эргономическое** объединяет требования, направленные на согласование психологических, психофизиологических, антропометрических характеристик и возможностей человека с техническими характеристиками средств автоматизации и параметрами среды на рабочем месте. **Правовое обеспечение** состоит из правовых норм, регламентирующих правоотношения при функционировании САПР и юридический статус результатов ее функционирования.

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков, например, по приложению, целевому назначению, масштабам (комплексности решаемых задач), характеру базовой подсистемы — ядра САПР. По приложениям наиболее представительными и широко используемыми являются следующие группы САПР:

- САПР для применения в отраслях общего **машиностроения**. Их часто называют машиностроительными или **MCAD (Mechanical CAD)** системами – это Siemens NX, CATIA, PTC, Solid Work, Solid Edge, Компас и пр.
- САПР в области **радиоэлектроники**: системы **ECAD (Electronic CAD)** или EDA (Electronic Design Automation).
- САПР в области **архитектуры и строительства**.
- САПР больших интегральных схем (**БИС**), САПР летательных аппаратов, САПР электрических машин и т.п.

По характеру базовой подсистемы различают следующие разновидности САПР:

-**САПР** на базе подсистемы **машинной графики и геометрического моделирования**, где основной процедурой проектирования является **конструирование**, т.е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов.

-**САПР** на базе **СУБД (PLM)** ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчетах перерабатывается большой объем данных. **База данных** - упорядоченная совокупность данных, отображающих свойства объектов и их взаимосвязи в некоторой предметной области. Доступ к БД для чтения, записи и модификации данных осуществляется с помощью **систем управляемых баз данных (СУБД)**, совокупность БД и СУБД называют **банком данных**, а вся совокупность используемых при проектировании данных называется **информационным фондом САПР**.

-**САПР на базе конкретного прикладного пакета**, например, расчета прочности по методу конечных элементов (**МКЭ**), программы логического проектирования на базе HDL-языков, математические пакеты типа MathCAD, Matlab.

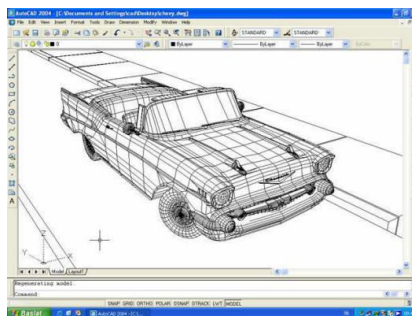
С чего начинались САПР ? Уже более 100 лет в производственной практике существует система, предполагающая разделение труда. Примером может служить цепочка: **дизайнер — конструктор — технолог — рабочий**. Каждый субъект этой цепочки преобразует и передает определенного вида информацию (техническое решение). Например, конструктор в своем сознании формирует окончательный образ будущего изделия и передает его технолог, чтобы тот сформировал последовательность изготовления. Этот процесс стал причиной появления универсального языка — **технического черчения**. Чертеж,

выполненный одним инженером, должен понять любой другой специалист, имеющий соответствующее образование. В итоге появились стандарты на оформление, а конструктора получили кушман - удобный инструмент для выполнения чертежей.

Но со временем ручное черчение перестало устраивать. Чем? Скоростью! Постоянно увеличивались объемы работ, росло количество типовых разработок, ужесточились требования к срокам выпуска изделия. И тут, кстати, начала интенсивно развиваться компьютерная отрасль: появление доступных и не слишком сложных в освоении компьютеров дали старт конструкторским системам **CAD** (Computer-Aided Design).



2D чертежи



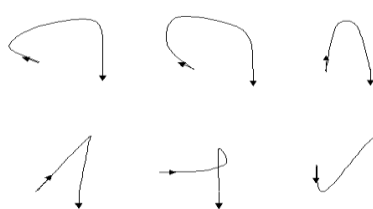
3D модели в CAD



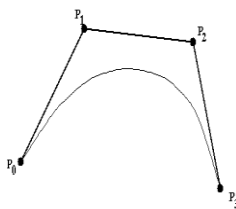
сложные формы 2CV

По сравнению с традиционным проектированием на бумаге, **компьютерное** имеет ряд преимуществ:

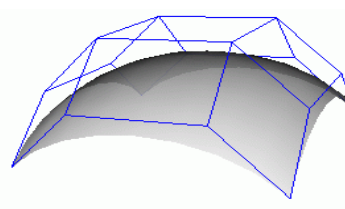
- **Компьютерное моделирование сложных форм:** Кривые Эрмита, поверхности Безье, сплайны и NURBS, дали математическое описание сложных поверхностей для изготовления на станках с ЧПУ.
- **Проекционное черчение заменяется 3D моделированием**, причем 3D модель используется одновременно как средство организации высокоэффективного процесса проектирования, технологической подготовки производства и самого производства.
- **Параметризация** существенно облегчает работу конструктора на всех этапах моделирования изделия.
- **Возможность организации процесса разработки и производства**, формирование комплекса требований и задач, которые необходимо выполнить, чтобы обеспечить соответствие по безопасности, качеству, надежности, стандартам работы изделия в рамках временных и бюджетных ограничений, при включении в единый контур большого числа участников с различными ролями.



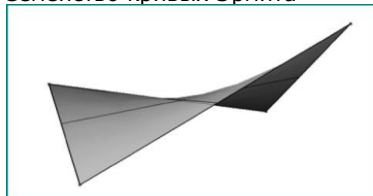
Семейство кривых Эрмита



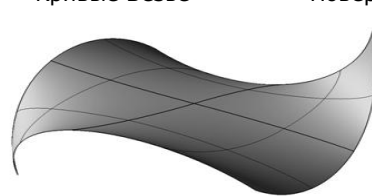
Кривые Безье



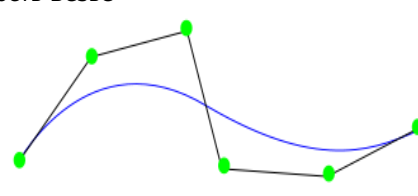
Поверхность Безье



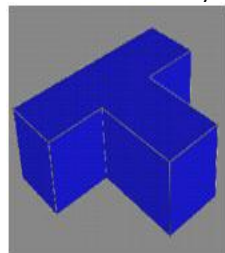
Билинейный лоскут



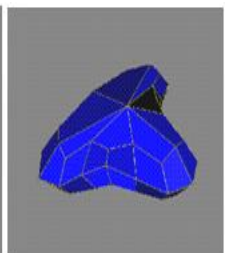
Лоскут Кунса



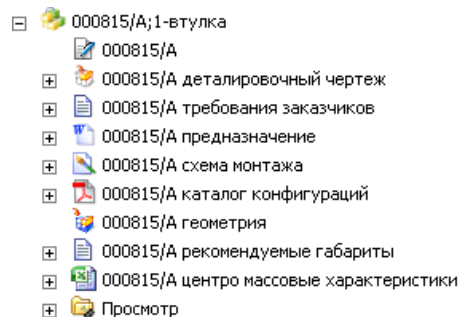
NURBS(Non-uniform rational B-spline)



B-сплайн



T-сплайн



) Применение CAD-систем для выпуска чертежей практически **вдвое увеличивает трудозатраты конструктора в связи с спецификой **электронного описания изделия** + требованием организации коллективной работы. Чертеж несет большой объем дополнительной информации, которая требует специальных усилий для размещения в электронном виде. Это геометрические характеристики, материалы, тех. требования, стандартные изделия, каким док-том выпущен, каким изменен = **целая совокупность документов информационной модели**.*

Автоматизация лишь отдельных этапов проектирования и производства иногда даже тормозит прирост производительности труда. Поэтому становится неизбежным использование **единой интегрированной системы**, связывающей работу **конструкторов, технологов, производителей, снабженцев, финансистов** и пр. Предприятиям приходится как можно быстрее выпускать новые изделия, снижать их себестоимость и повышать качество. Именно для этих задач был создан целый класс систем **product data management (PDM)** = сочетание CAE/CAD/CAM/CAPP/ERP/MRP, позволяющих облегчить весь цикл разработки изделий — от выработки концепции до создания опытного образца и запуска его в производство.

Основная цель САПР, PDM — **повышение эффективности труда каждого сотрудника и всего производства в целом**. Для инженеров это:

- повышение качества проектирования;
- сокращение трудоёмкости и сроков проектирования;
- снижение себестоимости проектирования и подготовки производства, уменьшение затрат на эксплуатацию.

Использование информационных технологий - один из немногих экономически выгодных способов повышения эффективности производства. Достижение этих целей обеспечивается путем:

- автоматизации оформления документации;
- информационной поддержки (повышение точности расчетов, повторного использования проектных решений, унификации проектных решений и процессов);
- использования технологий параллельного проектирования;
- замены натурных испытаний и макетирования математическим моделированием.
- построения системы качества продукции (согласно международным стандартам качества серии ISO 9000).

Единое информационное пространство предприятия называют **PLM** (Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом) и оно включает **еще и процессы самого производства** (программы станков с ЧПУ, оснастка, снабжение), **эксплуатации** (технические руководства и каталоги запчастей, результаты ремонтных работ), **упаковку, утилизацию** – это концепция, которая собирает вместе и управляет данными о корпоративной продукции, сделав их важнейшим бизнес-ресурсом.

Характерная особенность PLM — обеспечение взаимодействия различных **автоматизированных систем многих предприятий**, т.е. технологии PLM являются основой, интегрирующей информационное пространство, в котором функционируют САПР, подготовки и управления производством (ERP, PDM, SCM, CRM) и другие автоматизированные системы.

Что такое PLM-система? (Система контроля, «Электронный университет» в промышленности) - это СУБД, которая используется для хранения документации и управления знаниями об изделии. **PLM** может базироваться на **производственной** (Dassaut, Siemens, PTC) или **операционной** технологии (Oracle, которая считает единственно верным языком бухгалтерский учет, а не тот или иной проект. Oracle предлагает **PLM для менеджеров**, а не для инженеров и предполагает **управление информацией**, а не ее создание). Внедрение PLM в таких отраслях как фармацевтика, парфюмерия и косметика, производство удобрений и лакокрасочной продукции, которые основаны на рецептурах, а не на проектных данных, показывает, что успешная реализация PLM может совершенно не зависеть от CAD-систем.

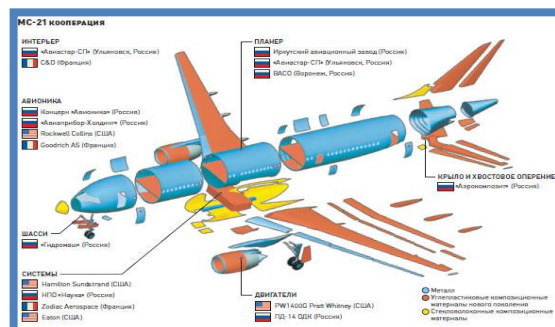
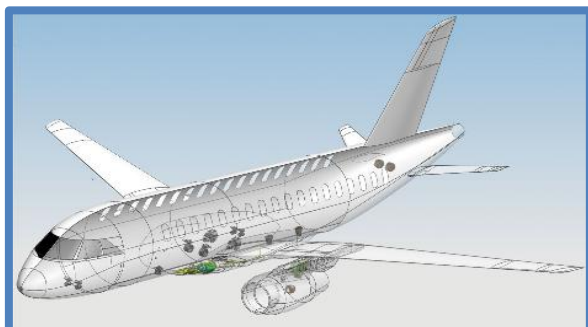
Преимущества PLM:

- удобство хранения, поиска, визуализации информации, автоматизация рутинных процессов;
- автоматизированная проверка графической и текстовой документации;
- удобство ведения вариантов, модификаций во временном и количественном измерении;
- возможность быстро загружать **большие сборки** в формате JT, вводить ограничения и условия;
- организация параллельной работы большого количества исполнителей при условии безоговорочной собираемости общего продукта.

Возможности PLM-систем высшего уровня Teamcenter (Siemens), SmarTeam, ENOVIA (Dassault), Windchill (PTC)

- Коллективная управляемая работа над одним большим проектом (от 10 тыс. компонентов);
- Моделирование сложных форм и изделий;
- технология проектирования «сверху вниз»;**
- проектирование «в контексте»;
- ассоциативное проектирование (фиксация связей).

Примеры проектов с применением Siemens PLM в России



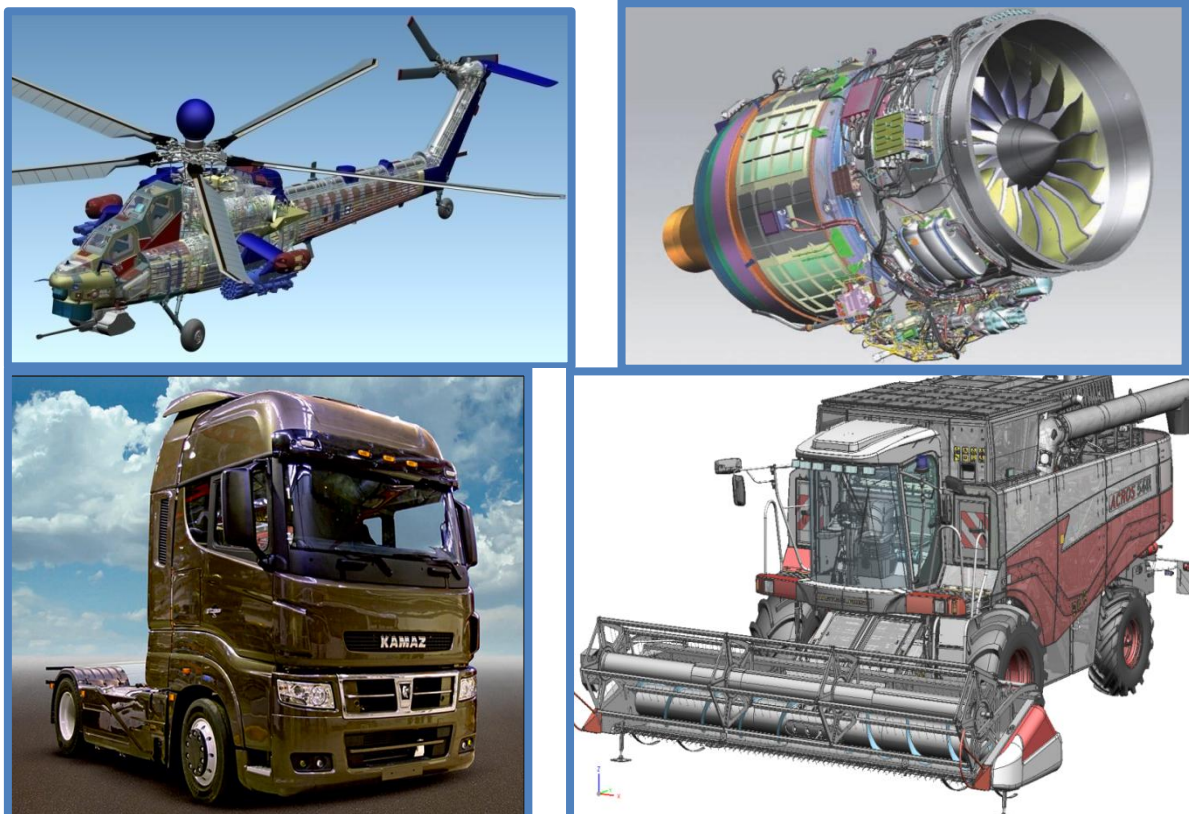


Рис. СУБД PLM, которая используется для хранения и управления знаниями об изделии

Проектирование снизу-вверх и сверху-вниз. Несмотря на свою простоту, проектирование снизу-вверх приводит к ряду проблем, которые отрицательно влияют на возможности, сроки и качество работы конструкторов, особенно при работе с большими сборками:

- сложности увязки между собой узлов и агрегатов, в том числе из-за локальных систем координат, в которых выполнены проеekты компонентов, и большого числа сопряжений сборок;
- проблемы проведения изменений, которые трудно отслеживать и обрабатывать;
- сложности с заменой узлов, когда меняется структура сборки;
- сложности при параллельной разработке отдельных узлов и агрегатов.

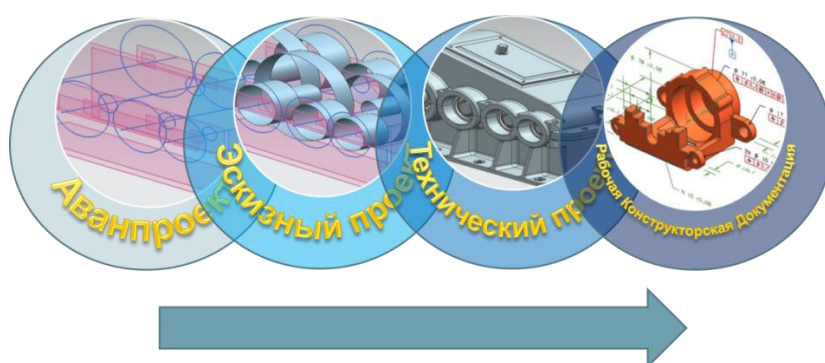
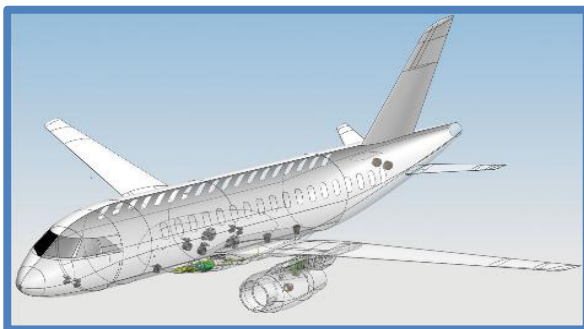


Рис. Этапы проектирования

Рис. Успешное применение принципа «снизу-вверх».

Альтернативный **способ проектирования «сверху-вниз»** также хорошо известен. В этом подходе основным рабочим объектом является **3D сборка узла**, агрегата, привязанная к существующему в каждый момент времени контексту всего проектируемого изделия. Использование подобного приема позволяет решить, например, проблемы локальных систем координат и упростить ограничения сборки.



3D сборка используется одновременно как **средство организации высокоэффективного процесса проектирования, технологической подготовки производства и самого производства**.

Сборка уточняется в процессе временных стадий проектирования, таких как аван-проект, эскизный проект, технический проект, на котором проводятся все основные расчеты, и рабочее проектирование, на котором выпускается необходимая конструкторская документация. При таком способе проектирования инженер сразу видит будущее изделие, имеет возможность оценить его, провести ее анализ на

предмет пересечений деталей, определения зазоров и работоспособности всего механизма в целом, еще до его изготовления.

3D модель, как важная часть документации, необходима на всех этапах жизненного цикла изделия, служит основой для одновременного (параллельного) проведения технологической, логистической подготовки производства, расчетов и анализа, а также визуализации процессов сборки, технического обслуживания и утилизации. Процесс проектирования и подготовки производства приобретает **спиральный** многоуровневый характер. Преимущество использования 3D - моделирования - исправление ошибок на ранней стадии проектирования, до появления первых опытных образцов.

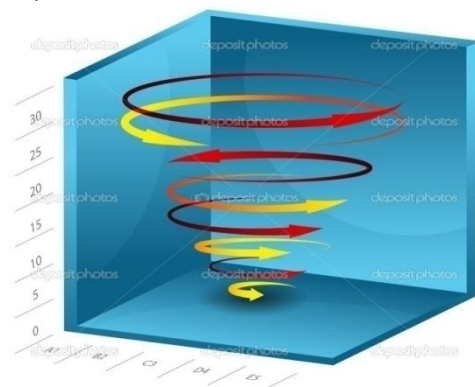
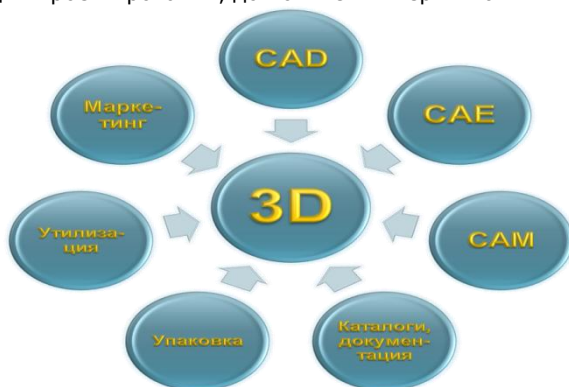


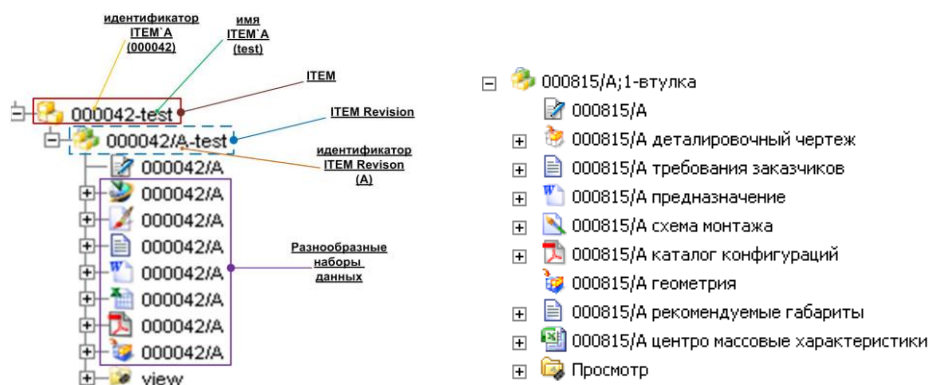
Рис. Параллельное проектирование на основе 3D-модели

Результат проектирования, документация, приобретает вид **цифровой модели изделия** (электронный макет), который содержит **геометрию изделия** и все необходимые **расчетные данные, карты технологических процессов, управляющие программы для станков, маршруты снабжения, электронные описания и технические руководства изделия**, и позволяет разрабатывать проекты наиболее эффективным и менее затратным образом. Технологии «цифрового» проектирования предполагают отказ от использования бумаги как носителя информации.

Цифровизация всей промышленности подразумевает полную интеграцию:

- традиционных информационных потоков планирования и управления производством, поставок. (В отличие от автоматизации технологического процесса, задачи управления производством в массе своей не автоматизированы. Большая часть задач управления производством выполняется в ручном режиме, а не в замкнутом контуре). Цифровизация позволит «замкнуть» этот контур и обеспечить выполнение таких задач в автоматизированном режиме.
- средств исполнения: люди, машины и механизмы, оборудование... в кибер-физические системы для **повышения экономической эффективности** всей производственной системы. При этом кибер-физические системы основываются на фундаменте базовых процессов: - проектирования (изделий), планирования/управления производством и поставками, уже используемых сейчас предприятиями. И с этапами ЖЦ создания продукции для потребителя («разработка -> испытания -> ввод в «серию» (не обязательно переход к массовому производству, но обязательно - вывод из стадии опытного) -> планирование, закупка, производство -> передача потребителю»).

Электронные модели для разных производств могут быть разные (например, **ЭЛОИЗ**, электронное описание изделия на предприятиях Сухого). Но, если они одинаковые, то приходим к **понятию цифрового производства**. После чертежа следует электронный техпроцесс и техкарта для каждого рабочего места с 3D-моделями, приемами обработки и сборки (как правило, одного образца для всех предприятий того же Сухого (Комсомольск на Амуре, Новосибирск, Таганрог и пр.) + корпоративная система передачи данных).



Электронная модель (макет) изделия – это окончательная сборка, соответствующая ТЗ и очищенная от размеров и вспомогательных построений. Все элементы привязаны, структурированы и расположены в общей системе координат.

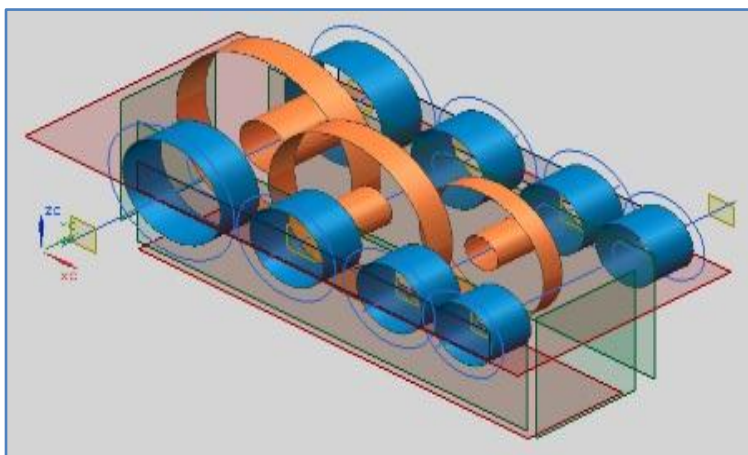
Электронный макет является подлинником КД и содержит информацию, достаточную для проведения технологической подготовки производства (ТПП). Необходимая технологическая информация в виде атрибутов **КТИ** (конструкторско-технологическая информация) = **PMI** (Product Manufacturing Information) наносится непосредственно на модели технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц.

Для повышения эффективности процесса проектирования выработана специальная технология, условно называемая «**Технологией Электронного Макета**». В основе работы по технологии Электронного Макета лежит **организация проектирования сверху вниз** максимально возможно **в контексте** проектируемого изделия, начиная с ранних стадий проекта.

После систематизации требований к разрабатываемому изделию, выработке ТЗ, процесс проектирования начинается с **первичной компоновки**. Именно на компоновке сначала отрабатываются различные возможные схемы проектируемого объекта, затем в рамках выбранной схемы идет компоновочная увязка, оптимизация. В дальнейшем, в случае изменения требований к разрабатываемому изделию, появления новых агрегатов (например, двигатель, или электроника), или просто ввиду потребностей модификации и модернизации, возникает необходимость **корректировать компоновку**.

Для решения задачи контекстного проектирования по технологии Электронного Макета вводятся следующие понятия:

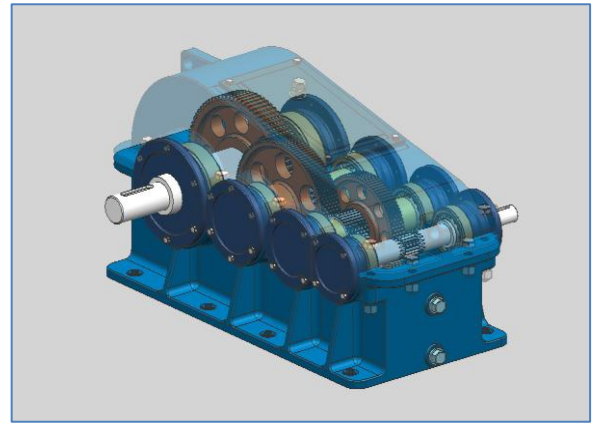
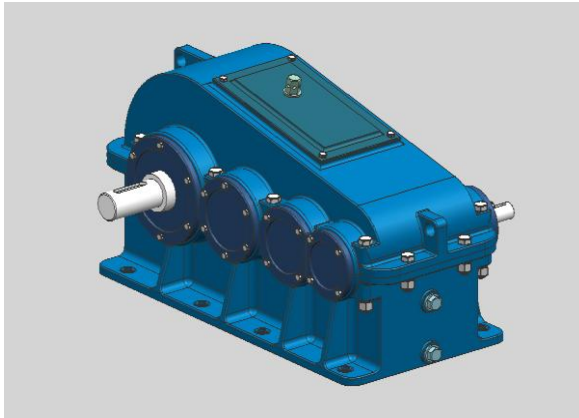
- **базовая контрольная структура (БКС)**. **БКС** - это **концептуальная модель**, описывающая изделие на самом верхнем уровне. Как правило, это **компоновка, сборка**. В БКС входят геометрия обводов корпуса, схема конструктивно-силовых элементов, габаритные размеры и расположение основных агрегатов, оборудования, снаряжения, кинематические схемы механизмов, поверхности и эскизы стыковочных зон, а также другая, определяющая облик геометрическая и текстовая информация по проекту.



На стадии проектирования БКС позволяет проанализировать основные параметры изделия, их влияние на его будущие характеристики, выбрать наиболее рациональную компоновку. Формирование БКС (компоновки) – это очень ответственная задача, в ней участвуют главный конструктор, отдел проектов, профильные специалисты с большим опытом.

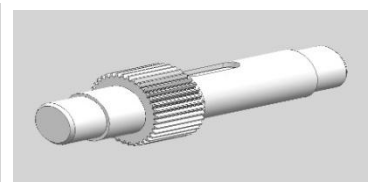
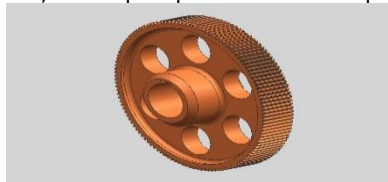
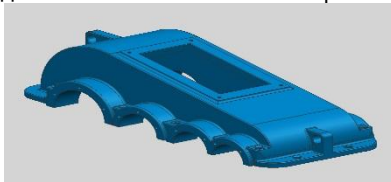
БКС редуктора

- **электронный макет изделия (ЭМ)**



ЭМ

- **личная контрольная структура (ЛКС)** – это сборка, которая формируется самим инженером из части БКС и «**окружения**». Получается, что в информационной среде по изделию существует одна БКС, один ЭМ, и множество ЛКС. Цель работы с ЛКС – изоляция вспомогательных построений, ассоциативных связей и параметризации от сборки Электронного Макета, а также удобство работы с контекстом и исходными данными. ЛКС – это некие ограничения, в которых работает инженер.



Непосредственную область работы конструктора, где имеются **черновики**, промежуточные результаты, называют **рабочей – wr** (work part). Т.о. конструктор имеет для проектирования глобальные ограничения – БКС, локальные ограничения – ЛКС, рабочую часть, ЭМ, куда он отправляет результаты работы и архив, куда сдаются чертежи (если они есть).

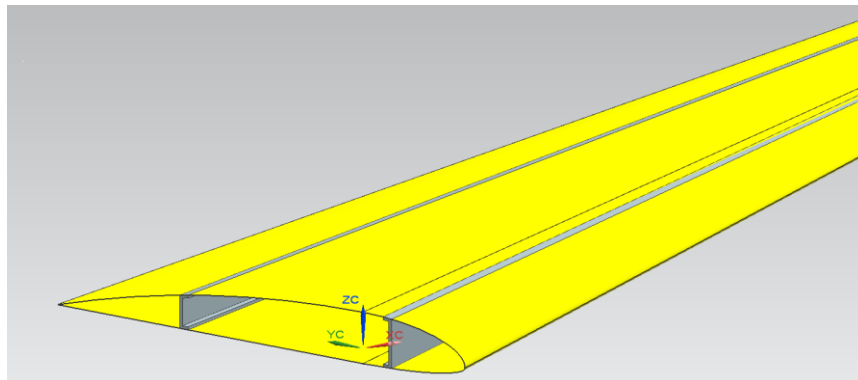
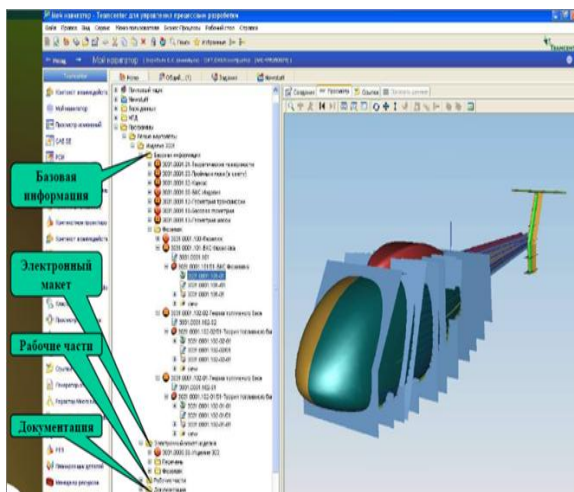
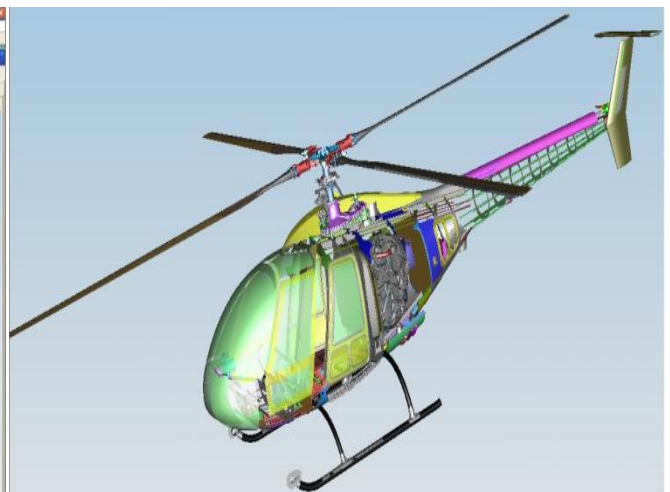


Рис. ЭМ, БКС, ЛКС, модели «окружения» на примере крыла самолета.

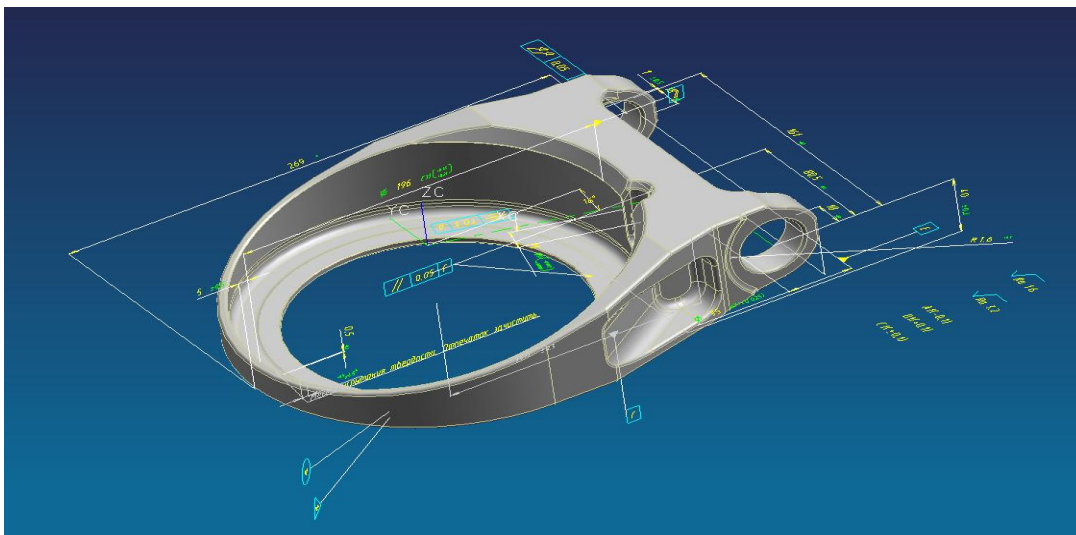


БКС



Электронный макет вертолета

Технология КТИ (конструкторско-технологическая информация) = **PMI** (Product Manufacturing Information) - на разработанную модель наносятся значки размеров, допусков формы и взаимного расположения поверхностей, шероховатости и т.п. (на рисунке ниже – пример модели с PMI)

[illegible]

В случае необходимости по этим видам и сечениям в автоматическом режиме можно получить чертежный документ.

	TurboCAD	IMSI
Специализированные	САПР	
Электроника	MultiSim, MicroCap, Microwave Office	
Строительное (железобетон)	Millennium	RoboBAT
Архитектурное проектирование	Architectural Desktop	Autodesk

Система **Unigraphics** (ныне Siemens NX) является универсальной интегрированной системой автоматизации проектирования и производства и, фактически, служит стандартом для САПР аэрокосмической, автомобильной, машиностроительной, медицинской и многих других отраслей промышленности, производящих высокотехнологичную и наукоемкую продукцию.

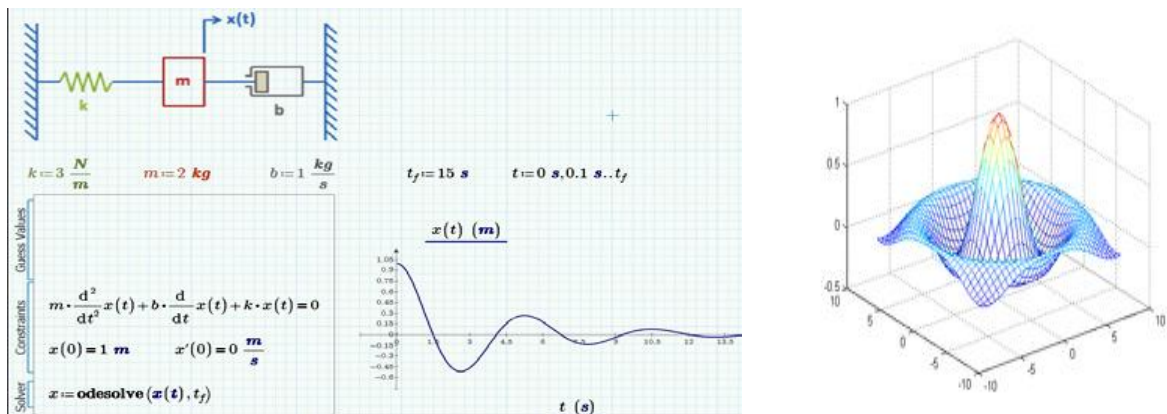
Siemens Teamcenter — это PDM-система, обеспечивающая организацию коллективной работы сотрудников предприятия (группы предприятий) с данными об изделии и о связанных с ним процессах на всех этапах его жизненного цикла. Teamcenter приобрел лидирующую позицию на мировом рынке среди систем подобного класса за счет уникальных возможностей в подготовке и осуществлении производства в различных отраслях (машиностроение, приборостроение, электроника, промышленное и гражданское строительство, легкая промышленность). Именно производственные предприятия освоили и оценили ТС, что привело к популяризации и продукта NX среди проектировщиков. Сухой и Boeing используют NX для военных и CATIA для коммерческих самолетов.

Oracle E-business Suite – стандартное решение для связи конструкторов, финансистов и плановиков.

Parametric Technology Company (PTC) - русские версии Mathcad, Pro/ENGINEER

(CAD/CAE/CAM) и Windchill (PLM). Гражданские проекты ОАО "Туполев", самолёт Ту-324, выполняемый в системе Pro/ENGINEER, машиностроительный завод в г. Королеве (Подлипки).

Mathcad — система компьютерной алгебры для автоматизации математических расчетов. Имеет упрощенный интерфейс, требует для адаптации минимум навыков программирования. (Mathematica, Maple, Matlab)



MATLAB (Matrix Laboratory) - высокоуровневый интерпретируемый язык программирования и пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений. Программа MATLAB может создавать трехмерную графику с помощью функций surf, plot3 или mesh.

Жизненный цикл промышленных изделий (ЖЦИ) включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового продукта до его утилизации по окончании срока использования. Основные этапы жизненного цикла промышленной продукции представлены на рис. К ним относятся этапы маркетинга, проектирования, технологической подготовки производства (ТПП), закупки материалов и комплектующих, собственно производства, реализации продукции, эксплуатации (упаковка и хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию) и, наконец, утилизации.

На предварительном этапе проводится **анализ рыночной ситуации**, определяются перспективы спроса на планируемые изделия (инфоСАПР). Системы расчетов и инженерного анализа называют **CAE** (Computer Aided Engineering), проектирования - **CAD** (Computer Aided Design). Проектирование технологических процессов выполняется в автоматизированных системах технологической подготовки производства (АСТПП), входящих как составная часть в системы **CAM** (Computer Aided Manufacturing).

Информационная поддержка этапа производства продукции осуществляется автоматизированными системами управления предприятием (АСУП) и автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУТП).

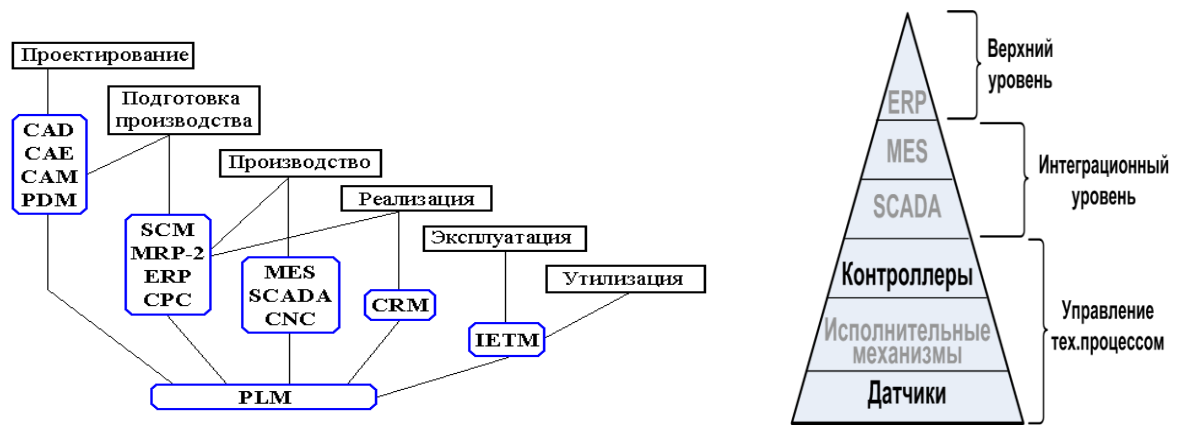


Рис. Основные типы АС с их привязкой к этапам жизненного цикла изделий.

Уровни САПР подготовки производства.

На большинстве этапов жизненного цикла, начиная с определения предприятий-поставщиков исходных материалов и компонентов и кончая реализацией продукции, требуются услуги **системы управления цепочками поставок** — Supply Chain Management (SCM).

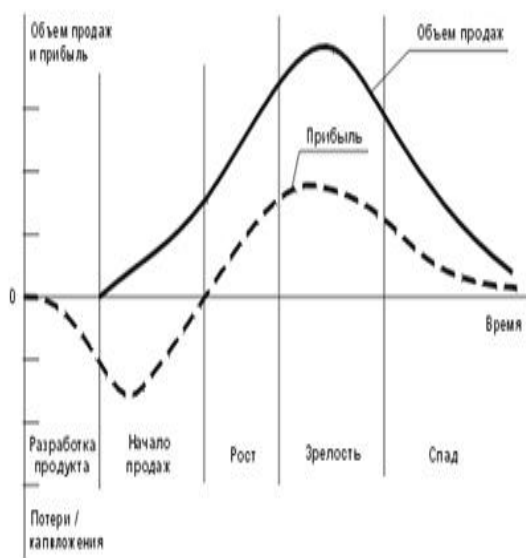
К АСУП относятся **системы планирования и управления предприятием ERP, CAPP** (Enterprise Resource Planning, CA Product Planning). Наиболее развитые системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учетом основных фондов и т.п. Системы **планирования производства и требований к материалам MRP-2** (Manufacturing Requirement Planning) и системы управления цепочками поставок SCM ориентированы на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством.

Промежуточное положение между АСУП и АСУТП занимает производственная исполнительная система **MES** (Manufacturing Execution Systems), предназначенная для решения оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом.

В состав АСУТП входит система **SCADA** (Supervisory Control and Data Acquisition), выполняющая диспетчерские функции (сбор и обработка данных о состоянии оборудования и технологических процессов) и помогающая разрабатывать ПО для встроенного оборудования. Для непосредственного программного управления технологическим оборудованием используются системы **CNC** (Computer Numerical Control) на базе контроллеров (специализированных компьютеров, называемых промышленными), которые встроены в технологическое оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ). Системы CNC называют также встроенными компьютерными системами.

На этапе реализации продукции выполняются функции управления отношениями с заказчиками и покупателями. Эти функции возложены на систему **CRM**, а также **систем электронного бизнеса (E-commerce)**. Они объединяют в едином информационном пространстве запросы заказчиков и данные о возможностях множества дилеров, занимающихся поставками заказанных изделий - **CPC** (Collaborative Product Commerce).

Функции обучения обслуживающего персонала выполняют интерактивные электронные технические руководства **IETM** (Interactive Electronic Technical Manuals). С их помощью выполняются диагностические операции, поиск отказавших компонентов, заказ дополнительных запасных деталей и некоторые другие операции на этапе эксплуатации систем.



Жизненный цикл продукта — время с момента первоначального появления продукта на рынке до прекращения его реализации на данном рынке. Описывается изменением показателей объема продаж и прибыли по времени и состоит из следующих стадий: **начало продаж (внедрение на рынок), рост, зрелость (насыщение) и спад.**

Стадия внедрения на рынок характеризуется незначительным ростом объема продаж и может быть убыточной из-за больших начальных затрат на маркетинг, малых объемов выпуска продукта и неосвоенности его производства.

Стадия роста объема продаж характеризуется быстрым ростом объема продаж, обусловленного признанием продукта со стороны потребителей, прибыльность растет, относительная доля затрат на маркетинг, как правило, падает, цены постоянны или немного падают.

На **стадии зрелости** рост объема продаж замедляется и даже начинает падать, так как продукт уже приобретен большинством потенциальных потребителей, усиливается конкуренция, затраты на маркетинг обычно возрастают, возможно снижение цен, прибыль стабилизируется или снижается. При модернизации продукта и /или рыночных сегментов возможно продление данной стадии.

Спад проявляется в резком снижении объема продаж и прибыли.

Модернизация продукта, снижение цен, увеличение затрат на

маркетинг могут только продлить эту стадию. Максимум прибыли, как правило, по сравнению с максимумом объема продаж смещается в направлении начальных стадий жизненного цикла. Это обусловлено повышением затрат на поддержание сбыта на поздних стадиях жизненного цикла продукта.

Рис. Жизненный цикл продукта

САПР продолжают развиваться: модной является тема **облачных вычислений**.

Облачные вычисления (cloud computing) — технология распределённой обработки данных, в которой компьютерные ресурсы и мощности предоставляются пользователю как интернет - сервис. Облачный сервис представляет собой особую клиент- серверную технологию, в которой использование ресурсов в виде процессорного времени, оперативной памяти, дискового пространства, сетевых каналов, специализированных контроллеров и пр. выглядит для клиента как единый виртуальный сервер. Клиент может прозрачно и с высокой гибкостью менять объёмы потребляемых ресурсов в случае изменения своих потребностей (увеличивать/уменьшать мощность сервера с соответствующим изменением оплаты за него).

Применение этой технологии сулит более высокую производительность, потенциально обеспечивается большая надёжность работы системы, сохранность данных, отсутствие требования инсталляции сервиса на конкретном устройстве. Уже нашедшее применение облачных технологий – хранение, доступ, поиск и конвертация инженерных данных, в первую очередь геометрических. Облачные вычисления применяют разные методы предоставления лицензий, в частности: лизинг ПО (рассрочка платежей) и абонентская плата, зависящая от фактического времени пользования ПО.

Мобильность – второй, популярный и свершившийся тренд. Успехом он обязан в первую очередь появлению и популярности относительно крупноформатных планшетных устройств, таких как iPad и многочисленным решениям на базе Android. Развитие и расширение ассортимента облачных решений даст возможность использовать мобильные планшетные устройства более широко, практически незаметно включая их корпоративные и глобальные сети.

Открытые системы - одна из главных тенденции современной индустрии информатики. Открытой может быть названа любая система (компьютер, вычислительная сеть, ОС, аппаратные и программные продукты), которые построены в соответствии с **открытыми спецификациями**. Под этим понимается **переносимость ПО на различные программные платформы и приспособленность к модификации и комплексированию с другими системами** в целях расширения функциональных возможностей и придания системе новых качеств. Открытость подразумевает выделение в системе **интерфейсной части** (входов и выходов), обеспечивающей сопряжение с другими системами.

Если интерфейсные части выполнены с заранее оговоренными правилами и соглашениями, то создание новых сложных систем существенно упрощается. В вычислительной технике концепция открытости нашла выражение в **эталонной модели взаимодействия открытых систем** (ЭМВОС), поддерживаемой рядом международных стандартов: интерфейсов прикладных программ API с операционным окружением, графического пользовательского интерфейса, хранения и передачи графических данных, построения баз данных и файловых систем (язык SQL) и пр.

Основная литература по дисциплине

1. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования, М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009, 335 с.
2. Основы автоматизированного проектирования: Учебник / под редакцией А.П. Карпенко - М.: ИНФРА-М, 2015. - 328 с.
3. Генератор образовательных ресурсов: <http://bigor.bmstu.ru>

Дополнительные учебные материалы

1. Малюх В. Введение в современные САПР. Курс лекций. - М.: ДМК Пресс, 2010. — 192 с.
2. Ушаков Д.М. Введение в математические основы САПР. Курс Лекций. - М.: ДМК Пресс, 2011. — 208 с.
3. Васильев А.Б. Matlab. Практический подход - М.: Наука и Техника, 2015 год - 448., ил.

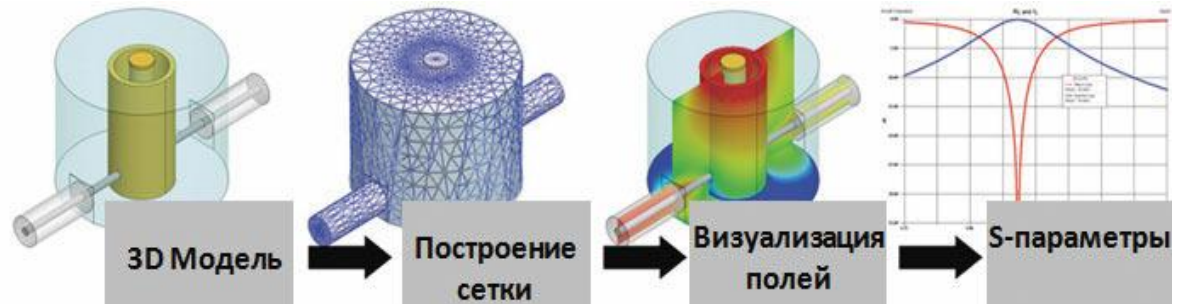
Для РЛ: **HFSS** — инструмент для трехмерного моделирования ВЧ/СВЧ электромагнитных полей.

Одним из инструментов, позволяющих выполнить проектирование ВЧ/СВЧ устройства, рассчитать его технические характеристики, провести компьютерный эксперимент, моделирующий условия реального мира, является линейка инструментов для инженерных расчетов, разработанная американской компанией Ansoft, LLC. В 2008 году компания Ansoft вошла в состав корпорации ANSYS — мирового лидера в области КЭ компьютерных инженерных расчетов.

Технология HFSS позволяет выполнять расчет электрических и магнитных полей, токов, S-параметров и излучений. Процесс выполнения расчета полностью автоматизирован, пользователю необходимо задать геометрические параметры, свойства материалов и желаемый результат. HFSS автоматически строит конечноэлементную сеточную модель, соответствующую конкретной задаче.

Для решения уравнений электродинамики HFSS используется метод конечных элементов (Finite Element Method, FEM), включающий адаптивное генерирование и деление ячеек. Решения для электромагнитного

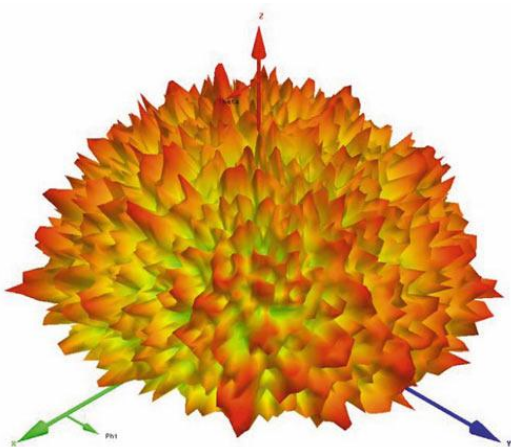
поля, полученные из уравнений Максвелла, позволяют точно определить все характеристики СВЧ устройства с учетом возникновения и преобразования одних типов волн в другие, потерь в материалах и на излучение и т.д.



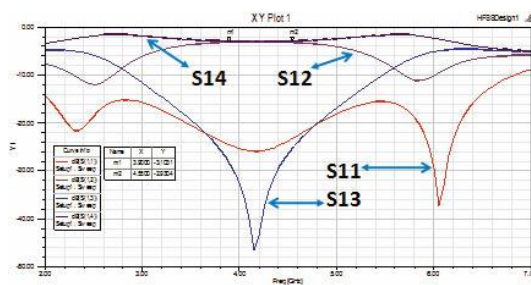
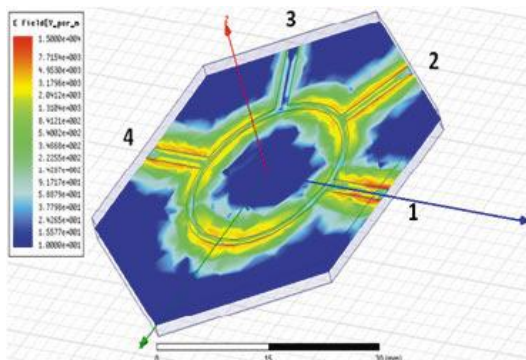
HFSS предоставляет возможности **моделирования** антенн, делителей мощности, схем коммутации, волноводных элементов, фильтров СВЧ и трехмерных неоднородностей, описание которых сводится к построению трехмерной геометрической модели, заданию свойств материала.

Использование HFSS позволяет исследовать, например, электромагнитную совместимость, при разработке высокочастотных компонентов, применяемых в принимающих и передающих частях коммуникационных систем, радиолокационных системах, спутниках и сотовых телефонах. Кроме того, HFSS используется для расчета электромагнитного взаимодействия между соединительными элементами, линиями электропередачи, переходными отверстиями печатных плат, а также для расчета высокоскоростных компонентов, применяемых в компьютерных серверах, устройствах хранения данных, мультимедийных персональных компьютерах, развлекательных и телекоммуникационных системах.

На рисунке, представлен пример построения диаграммы направленности прямоугольной микрополосковой антенны GPS, установленной на крыше автомобиля в области открывания люка. Решения для электромагнитного поля, полученные из уравнений Максвелла, позволяют точно определить все характеристики СВЧ устройства с учетом возникновения и преобразования одних типов волн в другие, потерь в материалах и на излучение и т.д.



МПЛ антенна



Мост

Типы решений

HFSS позволяет пользователю решать широкий круг задач. Для различных типов задач применяется один из четырех типов решения: Driven Modal, Driven Terminal, Eigenmode, Transient.

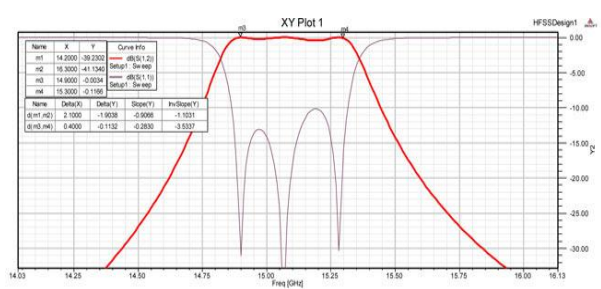
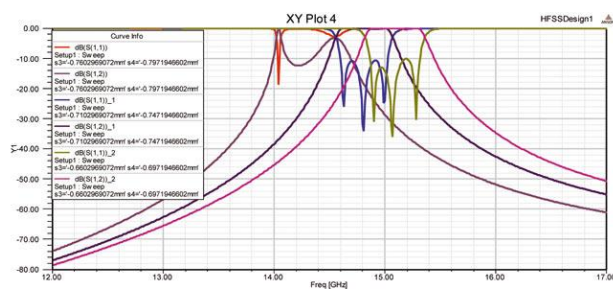
При типе решения Driven Modal HFSS вычисляет многомодовые S-параметры пассивных СВЧ структур типа микрополосковых линий, волноводов и других линий передачи.

Тип решения Driven Terminal выбирается, если вы хотите вычислить S-параметры многопортовой структуры, подключенной к нагрузкам. S-матрица будет выражаться в терминах отношений напряжений отраженных и падающих волн в портах многополюсника.

Тип решения Eigenmode предназначен для расчета собственных волн или колебаний структуры. Решающее устройство Eigenmode может находить собственные моды структур без потерь, структур с потерями, а также вычислять собственную добротность резонатора.

Тип решения Transient используется для трехмерного полноволнового электромагнитного расчета переходных процессов методом Галеркина (DGTD). С его помощью инженеры могут исследовать приложения, связанные с ударным возбуждением, например георадары (GPR), электростатический разряд, электромагнитную интерференцию и т.д. Другие приложения включают рефлектометрию во временной области (TDR) и визуализацию полей входных импульсов общего вида во времени. Эта технология дополняет технологию HFSS для анализа в частотной области и является инструментом, позволяющим инженерам в деталях понять электромагнитные характеристики разрабатываемых устройств и систем.

Программа HFSS располагает специальным модулем Optimetrics, который позволяет инженерам определить оптимальную конструкцию из всех возможных вариантов. Он включает пять подмодулей: Parametric, Optimization, Sensitivity, Tuning, Statistical, предназначенных для определенных целей. В процессе оптимизации цель оптимизации задается в виде целевой функции. Модуль Optimetrics изменяет значения параметров так, чтобы получить требуемое значение. Целевая функция может быть любой характеристикой, которую HFSS может вычислять, например значения поля, любой из S-параметров и др. Постпроцессор выполняет обработку данных после расчета поля. С его помощью можно вычислить различные характеристики: мощность рассеяния, поглощенная энергия, добротность, S-параметры и связанные с ними характеристики. Также могут быть рассчитаны абсолютные значения полей. То есть в каждой точке пространства можно вывести модуль и фазу векторов E и H электромагнитного поля.



HFSS IE решатель

Начиная с 12-й версии в HFSS имеется новый решатель HFSS IE (IE — интегральные уравнения). Это новый опциональный пакет, выполняющий вычисление токов в проводящих и диэлектрических поверхностях на границе свободного пространства с применением метода моментов (MoM). Пакет HFSSIE эффективен для изучения рассеяния больших, преимущественно проводящих структур. Так же как и в HFSS, в нем используется алгоритм адаптивного формирования оптимальной сетки, гарантирующей получение достоверных результатов. В технологии HFSSIE применяется метод адаптивной перекрестной аппроксимации (Adaptive Cross Approximation, ACA) вместе с итерационным матричным решателем для уменьшения требований к вычислительным ресурсам, что позволяет применять его для широкого круга задач.

Гибридный метод конечных элементов и интегральных уравнений (FEBI)

Данный метод применяется в HFSS версии 13.0 и более поздних. FEBI вобрал в себя лучшее из обоих методов (метода конечных элементов и метода моментов): способность метода конечных элементов работать со сложной геометрией и способность метода моментов напрямую вычислять функции Грина для свободных границ в задачах излучения и рассеяния. Многопроцессорные вычисления (Multiprocessing, MP) позволяют использовать многоядерные процессоры с общей внешней памятью при численном моделировании HFSS методом конечных элементов или интегральных уравнений.

Уравнения Максвелла:

- 1) вихревое магнитное поле порождается изменениями электрического

$$\text{rot } H = j_{np} + j_{cm} = \sigma E + dD/dt ; D = \epsilon \epsilon_0 E. j_{cm} = \partial \epsilon \epsilon_0 E.$$
- 2) вихревое электрическое поле порождается изменениями магнитного

$$\text{rot } E = - dB/dt.$$
- 3) поток вектора электрической индукции через любую замкнутую поверхность равен заряду внутри этой поверхности

$$\text{div } D = \rho.$$
- 4) магнитных зарядов в природе не существует

$$\text{div } B = 0.$$

rotH означает: на направление (вектор) тока "надевается" маленькое воображаемое колечко. Значение касательной к колечку, т. е. составляющей напряженности магнитного поля **H** умножается на длину окружности (колечка) и делится на площадь этого колечка.

Поток (**div**, истечение) - скорость истечения воды из водопроводного крана помножить на площадь отверстия крана, мы получим поток воды — расход в кубометрах за секунду.

Этапы проектирования автоматизированных систем (АС).

Чаще всего применяют **нисходящий стиль блочно-иерархического проектирования**. Верхний уровень проектирования АС часто называют **концептуальным проектированием**, которое выполняют в процессе предпроектных исследований, формулировки ТЗ, разработки эскизного проекта и прототипирования (согласно ГОСТ 34.601-90, эти стадии называют формированием требований к АС, разработкой концепции АС и эскизным проектом).

Предпроектные исследования проводят путем анализа (обследования) деятельности предприятия (компании, учреждения, офиса), на котором создается или модернизируется АС. При этом нужно получить ответы на вопросы: что не устраивает в существующей технологии? Что можно улучшить? Кому это нужно и, следовательно, каков будет эффект?

Обследование проводят системные аналитики совместно с представителями организации-заказчика. На основе анализа результатов обследования строят модель, отражающую деятельность предприятия на данный момент (до реорганизации). Ее называют моделью «**Как есть**». Далее разрабатывают исходную концепцию АС. Эта концепция включает в себя предложения по изменению структуры предприятия, взаимодействию подразделений, информационным потокам, что выражается в модели «**Как должно быть**».

Эскизный проект (техническое предложение) представляют в виде проектной документации, описывающей архитектуру системы, структуру ее подсистем, состав модулей. Здесь же содержатся предложения по выбору базовых программных и аппаратных средств, которые должны учитывать прогноз развития предприятия.

Содержанием следующего этапа, **рабочего проектирования** (это стадии разработки технического проекта, рабочей документации), является уточнение перечней приобретаемого оборудования и готовых программных продуктов, построение системной среды, детальное инфологическое проектирование БД и их первоначального наполнения, разработка собственного оригинального ПО. После этого следует **ввод в действие**, закупка и установка программно-аппаратных средств, внедрение и опытная эксплуатация системы. Особое место в ряду проектных задач занимает разработка проекта корпоративной вычислительной сети, поскольку техническое обеспечение АС имеет сетевую структуру.

Разработка ПО. Модель зрелости процесса разработки

Изначальной целью разработки стандарта было создание методики, позволяющей правительственным организациям США выбирать наилучших поставщиков ПО. Для этого созданы исчерпывающее описание способов оценки процессов разработки ПО и методики их дальнейшего усовершенствования. Главным понятием стандарта является **зрелость организации**.

Незрелой считается организация, в которой процесс разработки программного обеспечения зависит от конкретных исполнителей и менеджеров и решения зачастую просто импровизируются "на ходу". В этом случае велика вероятность превышения бюджета или заваливания сроков сдачи проекта.

В **Зрелой** организации существуют **стандарты на процессы разработки, тестирования и внедрения ПО**, правила оформления конечного программного кода, компонентов, интерфейсов и т. д.- инфраструктура и корпоративная культура, поддерживающую процесс разработки ПО.

Стандарт в целом состоит из **критериев оценки зрелости** организации и **рецептов улучшения** существующих процессов. В этом наблюдается принципиальное различие с моделью ISO 9001, в которой сформулированы только необходимые условия для достижения некоторого минимального уровня организованности процесса и не дается никаких рекомендаций по дальнейшему существованию процессов.

В модели определено пять уровней зрелости организаций. В результате аттестации компании присваивается определенный уровень, который в дальнейшем может повышаться или понижаться.

На предприятии **начального уровня** организации не существует стабильных условий для созданий качественного программного обеспечения. Результат любого проекта целиком и полностью зависит от личных качеств менеджера и опыта программистов, причем успех одного проекта может быть повторен только в случае назначения тех же менеджеров и программистов на следующий проект. Более того, если такие менеджеры или программисты уходят с предприятия, то с их уходом резко падает качество производимых программных продуктов.

Для достижения **повторяемого уровня** на предприятии должны быть внедрены **технологии управления проектами**, существуют и обеспечивается следование **стандартам** на разрабатываемое ПО.

Определённый уровень характеризуется наличием на предприятии **программы постоянного повышения квалификации** и обучения сотрудников. Начиная с этого уровня, организация перестает зависеть от качеств конкретных разработчиков и не имеет тенденции скатываться на уровень ниже в стрессовых ситуациях.

На **управляемом уровне** в организации устанавливаются **количественные показатели качества** — как на ПО, так и на продукты в целом. На **оптимизирующем уровне** количественные показатели качества применяются не только к существующим процессам, но и для оценки эффективности ввода новых технологий, ведутся работы по уменьшению стоимости разработки ПО, например, с помощью создания и повторного использования компонентов.

