

В.В. Муленко

Компьютерные технологии и автоматизированные системы в машиностроении.

Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности
«Автоматизация проектирования нефтегазового оборудования»,
«Автоматизация проектирования бурового оборудования»,

бакалавров и магистров, обучающихся по направлению
151000 «Технологические машины и оборудование»
27.04.01 «Стандартизация и метрология»

РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина
МОСКВА 2015

Содержание

Содержание	2
Система автоматизированного проектирования	3
Цели создания и задачи САПР	3
Основы автоматизированного проектирования	4
Состав и структура САПР	7
Компоненты и обеспечение САПР	8
Классификация САПР по отраслевому назначению	10
Классификация САПР по целевому назначению и их функции	11
Классификация автоматизированных систем (CAD/CAM/CAE/PDM).	15
Понятие интегрированной системы автоматизации	19
Системы управления жизненным циклом изделия в современном машиностроении	23
Этапы жизненного цикла изделия	24
Информация об изделии	25
Автоматизированные системы управления ЖЦИ	26
Понятие PLM-технологии.	31
Понятие CALS-технологии.	33
Стандарты информационной поддержки ЖЦИ.	35
Технологии информационной поддержки ЖЦИ.	37
Преимущества применения CALS-технологий	44
Создание типовых АРМов на предприятии	45
АРМ-конструктора	49
АРМ инженера-расчетчика	51
Электронные структура, модель и макет изделия	53
Виртуальная модель – новый взгляд на процесс проектирования	56
Цифровая модель изделия (на примере CATIA)	57
Аддитивные технологии. Аддитивное производство	61
Технологии 3D печати	64
Лазерная стереолитография (SLA)	66
Моделирование методом наплавления (FDM)	67
Технологии лазерного спекания и лазерной плавки (SLS, DMLS и SLM)	69
Литература	72

Система автоматизированного проектирования

САПР (Система Автоматизации Проектных Работ) — автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования^[1], представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности^{[2][3]} (Материал из Википедии — свободной энциклопедии).

Для перевода **САПР** на английский язык используется термин **CAD** (англ. *computer-aided design*), подразумевающий использование компьютерных технологий в проектировании. В ГОСТ 15971-90^[4] термин «*Computer-aided design*» приводится как стандартизированный англоязычный эквивалент термина «автоматизированное проектирование». Понятие **CAD** может обозначать как программные и аппаратные средства, так и аппаратно-программные комплексы автоматизации проектирования. Понятие **CAD** не является полным эквивалентом **САПР**, как организационно-технической системы.

За русским термином САПР скрывается несколько классов программных систем имеющих отношение к автоматизации труда инженеров, конструкторов и технологов [3]. Каждый из классов имеет устоявшуюся трехбуквенную английскую аббревиатуру:

- двумерное черчение и трехмерное геометрическое проектирование (**CAD**);
- инженерный анализ (**CAE**);
- технологическая подготовка производства (**CAPP**);
- автоматизация производства (**CAM**);
- управление данными об изделии (**PDM**);
- управление жизненным циклом изделия (**PLM**).

Цели создания и задачи САПР

В рамках жизненного цикла промышленных изделий, САПР решает задачи автоматизации стадий проектирования и подготовки производства.

Основная цель создания САПР — повышение эффективности труда инженеров, включая:

- сокращения трудоёмкости проектирования и планирования;
- сокращения сроков проектирования;
- сокращения себестоимости проектирования и изготовления, уменьшение затрат на эксплуатацию;
- повышения качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;
- сокращения затрат на натурное моделирование и испытания.

Достижение целей создания САПР обеспечивается путем:

- автоматизации оформления документации;
- информационной поддержки и автоматизации принятия решений;
- использования технологий параллельного проектирования;
- унификации проектных решений и процессов проектирования;
- повторного использования проектных решений, данных и наработок;
- стратегического проектирования;

- замены натурных испытаний и макетирования математическим моделированием на ЭВМ;
- повышения качества управления проектированием;
- применения методов вариантного проектирования и оптимизации.
- уменьшение объёма испытаний и доводки опытных образцов в результате повышения уровня достоверности проектных решений и, следовательно, снижение временных затрат.

Основы автоматизированного проектирования

Основные принципы проектирования

Кратко, процесс *проектирования* рассматривается как начальный этап создания нового изделия и заключается в получении и преобразовании исходного описания объекта в окончательное описание на основе выполнения комплекса работ исследовательского, расчетного и конструкторского характера.

Проектирование, при котором проектные решения получают путем взаимодействия человека, ЭВМ и комплекса программных и других средств автоматизации его деятельности, называют **автоматизированным** (также бывает: ручное – реализуется без участия ЭВМ; автоматическое – без участия человека). Система, реализующая автоматизированное проектирование, представляет собой систему автоматизированного проектирования (САПР).

Проектирование сложных объектов основано на применении идей и принципов, изложенных в ряде теорий и подходов. Наиболее общим подходом является *системный подход*, идеями которого пронизаны различные методики проектирования сложных систем.

Основной общий принцип *системного подхода* заключается в рассмотрении частей явления или сложной системы с учетом их взаимодействия. *Системный подход* включает в себя выявление структуры системы, типизацию связей, определение атрибутов, анализ влияния внешней среды, учитывает социально-экономические и экологические последствия их функционирования.

В технике дисциплину, в которой исследуются сложные технические системы, их проектирование, и аналогичную теории систем, чаще называют *системотехникой*. Предметом *системотехники* являются, во-первых, организация процесса создания, использования и развития технических систем, во-вторых, методы и принципы их проектирования и исследования. В *системотехнике* важно уметь сформулировать цели системы и организовать ее рассмотрение с позиций поставленных целей. Тогда можно отбросить лишние и малозначимые части при проектировании и моделировании, перейти к постановке оптимизационных задач.

Системы автоматизированного проектирования относятся к числу наиболее сложных современных искусственных систем. Их проектирование и сопровождение невозможны без *системного подхода*. Поэтому идеи и положения *системотехники* входят составной частью в дисциплины, посвященные изучению современных автоматизированных систем и технологий их применения. Например, системный подход к моделированию подразумевает возможность повторного использования информации и наработок в ходе проектирования сложных машиностроительных конструкций.

Другие компоненты *системотехники*, такие как: структурный, блочно-иерархический, объектно-ориентированный подходы включают в себя основные положения *системного подхода*.

При *структурном подходе*, как разновидности системного, требуется синтезировать варианты системы из компонентов (блоков) и оценивать варианты при их частичном переборе с предварительным прогнозированием характеристик компонентов.

Блочно-иерархический подход к проектированию использует идеи декомпозиции сложных описаний объектов и соответственно средств их создания на иерархические уровни и аспекты, вводит понятие стиля проектирования (восходящее и нисходящее), устанавливает связь между параметрами соседних иерархических уровней.

Объектно-ориентированный подход к проектированию (ООП) используется в основном при разработке информационных систем и прежде всего их программного обеспечения (ПО). Данный подход имеет следующие преимущества в решении проблем управления сложностью и интеграции ПО:

- вносит в модели приложений большую структурную определенность, распределяя представленные в приложении данные и процедуры между классами объектов;
- сокращает объем спецификаций, благодаря введению в описания иерархии объектов и отношений исследования между свойствами объектов разных уровней иерархии;
- уменьшает вероятность искажения данных вследствие ошибочных действий за счет ограничения доступа к определенным категориям данных в объектах. Описание в каждом классе объектов допустимых обращений к ним и принятых форматов сообщений облегчает согласование и интеграцию ПО.

Для всех подходов к проектированию сложных систем характерны также следующие особенности.

1. *Структуризация* процесса проектирования, выражаемая декомпозицией проектных задач и документации, выделением стадий, этапов, проектных процедур. Эта структуризация является сущностью блочно-иерархического подхода к проектированию.

2. *Итерационный* характер проектирования.

3. *Типизация и унификация* проектных решений и средств проектирования.

Проектирование и конструирование

Разработка нового объекта осуществляется не только путем проектирования, но и путем конструирования. Проектирование и конструирование являются взаимосвязанными процессами, дополняющими друг друга. Проектирование принято рассматривать как процесс построения общей схемы установки, агрегата, их узлов и систем, а конструирование – как более детальную проработку этой схемы с учетом технологии изготовления.

Конструкционная форма объекта уточняется применением методов проектирования – производением расчетов параметров, прочностных расчетов, оптимизации и др.

Применительно к объектам нефтегазового оборудования **конструкция** – это устройство, взаимное расположение частей и элементов установки определяющееся его назначением. Конструкция предусматривает способ соединения, взаимодействие частей, а также материал, из которого должны быть изготовлены отдельные части (элементы).

В свою очередь проектирование возможно только при предварительно принятых вариантах конструкционного исполнения. Проектирование предшествует конструированию и представляет

собой поиск научно обоснованных, технически осуществимых и экономически целесообразных инженерных решений.

Результатом проектирования является проект разрабатываемой установки.

В результате конструирования создается конкретная, однозначная конструкция изделия.

В процессе *конструирования* выполняется:

- формирование технических требований к изделию и его частям;
- создание моделей, изображений, видов изделия;
- расчет комплекса размеров с допускаемыми отклонениями;
- формирование требований к поверхностям;
- создание технической документации.

Конструирование опирается на результаты проектирования и уточняет все инженерные решения, принятые при проектировании. Создаваемая в процессе конструирования техническая документация должна обеспечить перенос всей конструкторской информации на изготавливаемое устройство и его рациональную эксплуатацию.

Цель проектирования и конструирования – разработка нового изделия, которое не существует или существует в другой форме и имеет иные размеры и параметры (в виде прототипа).

Проектирование и конструирование – виды интеллектуальной деятельности, при которой у разработчика формируется конкретный образ, техническое решение, которое подвергается мысленным изменениям, эффект внесения которых всесторонне оценивается, оптимизируется и впоследствии принимает окончательный, технически обоснованный вид.

В технической литературе часто используется термин «разработка». По сути – это более широкое понятие, чем проектирование и конструирование. В разработку входят не только два эти вида инженерного творчества, но и ведение научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ.

Стадии проектирования

Стадии проектирования — наиболее крупные части проектирования, как процесса, развивающегося во времени. В общем случае выделяют стадии научно-исследовательских работ (НИР), эскизного проекта или опытно-конструкторских работ (ОКР), технического, рабочего проектов, испытаний опытных образцов или опытных партий. Стадию НИР иногда называют предпроектными исследованиями или стадией технического предложения. Очевидно, что по мере перехода от стадии к стадии степень подробности и тщательность проработки проекта возрастают, и рабочий проект уже должен быть вполне достаточным для изготовления опытных или серийных образцов. Близким к определению стадии, но менее четко оговоренным понятием, является понятие этапа проектирования.

Техническое задание (ТЗ) является первичным, основополагающим документом. ТЗ отражает технические, технико-экономические характеристики будущего изделия, определяет основные характеристики конструкции и принципы работы. Требования ТЗ основываются на современных достижениях науки и техники, на выполнении научно-исследовательских и экспериментальных работах.

Техническое предложение – начальный этап проектирования. Основная задача этого этапа – проверка совместимости требований ТЗ с возможностями реализации технических решений. Тех-

ническое предложение содержит анализ возможных вариантов технических решений и обоснование предлагаемого варианта решения.

Эскизный проект – конструкторская проработка оптимального варианта изделия до уровня принципиальных конструкторских решений, дающих общее представление об устройстве и принципах работы изделия. В эскизном проекте закладываются основы применения типовых, стандартизованных и унифицированных составных частей разработки, формируются требования к специальным комплектующим.

Технический проект выполняют на основе согласованного и утвержденного эскизного проекта, а в тех случаях, когда последний не разрабатывается, - на основе согласованного и утвержденного технического задания (утвержденного технического предложения). Технический проект должен полностью определять проектируемую конструкцию и содержать окончательный технико-экономический расчет. Технический проект содержит технические решения и данные, достаточные для полного представления об устройстве и принципах работы устройства. В техническом проекте должны быть решены все вопросы, обеспечивающие высокий технический уровень нового изделия как в процессе изготовления, сборки, испытания, так и в процессе эксплуатации. Все расчеты технического проекта выполняются в окончательном виде, не требующем проверки или уточнения на этапе разработки рабочей документации.

Разработка рабочей документации составляет заключительный этап проектирования, задачей которого является полная детализация проектных решений, обеспечивающая возможность осуществления всех производственных операций, связанных с реализацией этих решений и созданием изделия.

На всех этапах проектирования и конструирования инженер разработчик даже при создании новых, ранее не существовавших установок использует накопленный опыт предшествующих разработок аналогичных объектов. Такой опыт представляется ему в виде технической документации, созданной при разработке объектов, в виде результатов их эксплуатации, опубликованных в различных литературных источниках, в виде патентно-информационных материалов.

Стадии (этапы) проектирования подразделяют на составные части, называемые проектными процедурами. Примерами проектных процедур могут служить подготовка трех мерных моделей и детализированных чертежей, анализ кинематики, моделирование переходного процесса, оптимизация параметров и другие проектные задачи. В свою очередь, проектные процедуры можно расчленить на более мелкие компоненты, называемые например, при анализе прочности детали сеточными методами. Операциями могут быть построение сетки, выбор или расчет внешних воздействий, собственно моделирование полей напряжений и деформаций, представление результатов моделирования в графической и текстовой формах. Проектирование сводится к выполнению некоторых последовательностей проектных процедур.

Состав и структура САПР

В соответствии с ГОСТ 23501.101-87^[2] составными структурными частями САПР являются подсистемы, обладающие всеми свойствами систем и создаваемые как самостоятельные системы. Каждая подсистема — это выделенная по некоторым признакам часть САПР, обеспечивающая выполнение некоторых функционально-законченных последовательностей проектных задач с полу-

чением соответствующих проектных решений и проектных документов. Различают подсистемы проектирующие и обслуживающие:

- **Проектирующие** подсистемы — объектно-ориентированные подсистемы, реализующие определенный этап проектирования или группу связанных проектных задач, в зависимости от отношения к объекту проектирования делятся на объектные и инвариантные. Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации.
 - *Объектные* — выполняющие проектные процедуры и операции, непосредственно связанные с конкретным типом объектов проектирования.
 - *Инвариантные* — выполняющие унифицированные проектные процедуры и операции, имеющие смысл для многих типов объектов проектирования.
- **Обслуживающие** подсистемы — объектно-независимые подсистемы реализующие функции общие для подсистем или САПР в целом, обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, оформление, передачу и вывод данных, сопровождение программного обеспечения и т. п., их совокупность называют **системной средой** (или оболочкой) САПР. Типичными обслуживающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными (PDM), управления процессом проектирования (DesPM — Design Process Management), пользовательского интерфейса для связи разработчиков с ЭВМ, CASE (Computer Aided Software Engineering) для разработки и сопровождения программного обеспечения САПР, обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

Компоненты и обеспечение САПР

Каждая *подсистема*, в свою очередь состоит из *компонентов*, обеспечивающих функционирование подсистемы. *Компонент* выполняет определенную функцию в подсистеме и представляет собой наименьший (неделимый) самостоятельно разрабатываемый или покупной элемент САПР (программа, файл модели детали, графический дисплей, инструкция и т. п.). Совокупность однотипных компонентов образует **средство обеспечения САПР**. Выделяют следующие виды обеспечения САПР:

1. **Техническое обеспечение (ТО)** — совокупность связанных и взаимодействующих технических средств, обеспечивающих работу САПР, включающая различные аппаратные средства (ЭВМ, периферийные устройства, сетевое оборудование, линии связи, измерительные средства).
2. **Математическое обеспечение (МО)**, объединяющее математические методы, модели и алгоритмы используемые для решения задач автоматизированного проектирования. МО по назначению и способам реализации делят на две части:
 - математические методы и построенные на их основе математические модели объектов проектирования или их части;
 - формализованное описание технологии автоматизированного проектирования.

Подсистемы машинной графики и геометрического моделирования (МГиГМ) занимают центральное место в машиностроительных САПР. Конструирование изделий в них, как правило, проводится в интерактивном режиме при оперировании геометрическими моделями, т.е. математическими объектами, отображающими форму деталей, состав сборочных узлов и возможно некоторые дополнительные параметры (масса, момент инерции, цвета поверхности и т.п.).

В подсистемах МГиГМ типичный маршрут обработки данных включает в себя получение проектного решения в прикладной программе, его представление в виде геометрической модели (геометрическое моделирование), подготовку проектного решения к визуализации, собственно визуализацию в аппаратуре рабочей станции и при необходимости корректировку решения в интерактивном режиме. Две последние операции реализуются на базе аппаратных средств машинной графики. Когда говорят о математическом обеспечении МГиГМ, имеют в виду прежде всего модели, методы и алгоритмы для геометрического моделирования и подготовки к визуализации. При этом часто именно математическое обеспечение подготовки к визуализации называют математическим обеспечением машинной графики.

Различают математическое обеспечение двумерного (2D) и трехмерного (3D) моделирования. Основные применения 2D графики — подготовка чертежной документации в машиностроительных САПР.

В 3D моделировании различают модели *каркасные* (проволочные), *поверхностные*, *объемные* (твердотельные).

- *Каркасная* модель представляет форму детали в виде конечного множества линий, лежащих на поверхностях детали. Для каждой линии известны координаты концевых точек и указана их инцидентность ребрам или поверхностям. Оперировать каркасной моделью на дальнейших операциях маршрутов проектирования неудобно, и поэтому каркасные модели в настоящее время используют редко.
- *Поверхностная* модель отображает форму детали с помощью задания ограничивающих ее поверхностей, например, в виде совокупности данных о гранях, ребрах и вершинах. Особое место занимают модели деталей с поверхностями сложной формы, так называемыми скульптурными поверхностями. К таким деталям относятся корпуса многих транспортных средств (например, судов, автомобилей), детали, обтекаемые потоками жидкостей и газов (лопатки турбин, крылья самолетов), и др.
- *Объемные* модели отличаются тем, что в них в явной форме содержатся сведения о принадлежности элементов внутреннему или внешнему по отношению к детали пространству.

3. **Программное обеспечение (ПО)**, представляемое компьютерными программами необходимыми для осуществления процесса проектирования. ПО САПР подразделяется на **общесистемное и прикладное**:

- общесистемное ПО предназначено для управления компонентами технического обеспечения и обеспечения функционирования прикладных программ. Примером компонента общесистемного ПО является операционная система.
- прикладное ПО реализует математическое обеспечение для непосредственного выполнения проектных процедур включает программы пакеты прикладных программ, предна-

значенные для обслуживания определенных этапов проектирования или групп однотипных задач внутри различных этапов (модуль проектирования трубопроводов, пакет схемотехнического моделирования, геометрический решатель САПР).

4. **Информационное обеспечение (ИО)** — совокупность сведений, необходимых для выполнения проектирования, состоит из описания стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, комплектующих изделий и их моделей, правил и норм проектирования. Основная часть ИО САПР — базы данных и системы управления базами данных.
5. **Лингвистическое обеспечение (ЛО)** — совокупность языков, используемых в САПР для представления информации о проектируемых объектах, процессе и средствах проектирования, а также для осуществления диалога проектировщик-ЭВМ и обмена данными между техническими средствами САПР, включает термины, определения, правила формализации естественного языка, методы сжатия и развертывания. В ЛО выделяют класс различного типа языков проектирования и моделирования (VHDL, VERILOG, UML, GPSS).
6. **Методическое обеспечение (МетО)** — описание технологии функционирования САПР, методов выбора и применения пользователями технологических приемов для получения конкретных результатов, включающее в себя теорию процессов, происходящих в проектируемых объектах, методы анализа, синтеза систем и их составных частей, различные методики проектирования, иногда к МетО относят также МО и ЛО.
7. **Организационное обеспечение (ОО)** — совокупность документов, определяющих состав проектной организации, связь между подразделениями, организационную структуру объекта и системы автоматизации, деятельность в условиях функционирования системы, форму представления результатов проектирования. В ОО входят штатные расписания, должностные инструкции, правила эксплуатации, приказы, положения и т. п.

В САПР как проектируемой системе, выделяют также *эргономическое* и *правовое* обеспечения.

- **Эргономическое** обеспечение объединяет взаимосвязанные требования, направленные на согласование психологических, психофизиологических, антропометрических характеристик и возможностей человека с техническими характеристиками средств автоматизации и параметрами рабочей среды на рабочем месте.
- **Правовое** обеспечение состоит из правовых норм, регламентирующих правоотношения при функционировании САПР, и юридический статус результатов ее функционирования.

Классификация САПР по отраслевому назначению

- **Машиностроительные САПР (MCAD** англ. *mechanical computer-aided design*) — автоматизированное проектирование механических устройств. Применяются в автомобилестроение, судостроении, авиакосмической промышленности, при создании нефтегазового оборудования для добычи, транспортировки, хранения и переработки, при производстве товаров народного потребления и т.д., включают в себя разработку деталей и сборок (механизмов) с использованием параметрического проектирования на основе конструктивных элементов, технологий поверхностного и объемного моделирования. Инструментальные

средства проектирования в машиностроении - это CAD/CAE/CAM системы. Они предназначены для комплексной автоматизации проектирования, конструирования и изготовления продукции машиностроения;

- **САПР в области архитектуры и строительства** (*AEC CAD* (англ. *architecture, engineering and construction computer-aided design*) или *CAAD* (англ. *computer-aided architectural design*)) — Используются для проектирования зданий, промышленных объектов, дорог, мостов и проч.;
- *EDA* (англ. *electronic design automation*) или *ECAD* (англ. *electronic computer-aided design*) — **САПР электронных устройств**, радиоэлектронных средств, интегральных схем, печатных плат и т. п.

Классификация САПР по целевому назначению и их функции

ГОСТ 23501.108-85 устанавливает следующие признаки классификации САПР: тип объекта проектирования, разновидность объекта проектирования, сложность объекта проектирования, уровень автоматизации проектирования, комплексность автоматизации проектирования, характер выпускаемых документов, количество выпускаемых документов, количество уровней в структуре технического обеспечения.

По целевому назначению различают подсистемы САПР, которые обеспечивают различные аспекты проектирования.

- **CAD** — средства автоматизированного проектирования, в контексте указанной классификации термин обозначает средства САПР предназначенные для автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации, САПР общего назначения. Для обозначения данного класса средств САПР используется также термин *CADD* (англ. *computer-aided design and drafting*) — автоматизированное проектирование и создание чертежей.

Функции CAD-систем в машиностроении подразделяют на функции двумерного (2D) и трехмерного (3D) проектирования. К функциям 2D относятся черчение, оформление конструкторской документации; к функциям 3D — получение трехмерных моделей, параметрические расчеты, реалистичная визуализация, взаимное преобразование 2D и 3D моделей.

Для современных CAD-систем характерен модульный принцип построения. Базовые модули конструкторского проектирования предназначены для твердотельного и поверхностного моделирования, синтеза конструкций из базовых элементов формы, поддерживают параметризацию и ассоциативность, проекционное черчение, выполняют разработку чертежей с простановкой размеров и допусков. Пользователь может пополнять библиотеку оригинальными моделями. Синтез трехмерных моделей сложной формы возможен вытягиванием плоского контура по нормали к его плоскости, его протягиванием вдоль произвольной пространственной кривой, вращением контура вокруг заданной оси, натягиванием между несколькими заданными сечениями. Синтез сборок выполняется вызовом или ссылкой на библиотечные элементы, их модификацией, разработкой новых деталей. Детали сборки можно нужным образом ориентировать в пространстве. Далее следует ввести ассоциативные (сопрягающие) связи.

Основными MCAD системами являются CATIA (Dassault Systemes), UNIGRAPHICS NX (Siemens PLM Software), Pro/ENGINEER (PTC), AutoCAD Inventor Professional.

Дополнительные модули конструкторского проектирования имеют более конкретную, но узкую специализацию. Примерами таких модулей могут служить модули конструирования панелей из композитных материалов, разработки штампов и литейных пресс-форм, трубопроводных систем, сварных конструкций, разводки электрических кабелей и жгутов.

CAE — средства автоматизации инженерных расчётов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий. Системы инженерного анализа предназначены для изучения поведения продукта с использованием его геометрической модели - как правило, такая модель создается в системе CAD. Благодаря развитым CAE-системам, первые же собранные в реальном цехе изделия демонстрируют все заложенные его проектировщиками характеристики и могут тут же поставляться заказчику.

Наиболее распространены CAE-системы, использующие решение систем дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных элементов (**МКЭ**). Они делятся на универсальные системы анализа с использованием МКЭ и специализированные.

Функции систем инженерного анализа (**CAE**) довольно разнообразны, так как связаны с проектными процедурами анализа, моделирования, оптимизации проектных решений. В состав машиностроительных CAE-систем прежде всего включают программы для следующих процедур:

- анализ кинематики и динамики изделия с определением траекторий движущихся частей и действующих сил в процессе работы;
- моделирование упруго-напряженного, деформированного, теплового состояния, колебаний конструкции, определения критических нагрузок. Чаще всего выполняется в соответствии с методом конечных элементов (МКЭ);
- стационарного и нестационарного газодинамического и теплового моделирования с учетом вязкости, турбулентных явлений, пограничного слоя и т.п.;
- расчет состояний и переходных процессов на макроуровне;
- имитационного моделирования сложных производственных систем на основе моделей массового обслуживания и сетей Петри.

Примеры CAE систем моделирования полей физических величин в соответствии с МКЭ: Ansys, MSC Nastran, NX Nastran, Cosmos/M, Nisa, Moldflow, ABAQUS, LS-DYNA, MSC.ADAMS, MSC, T-FLEX Анализ.

Специализированные системы МКЭ ориентированы на конкретные виды анализа. Примерами таких систем могут служить пакеты Flotran, Fluid, предназначенные для моделирования гидрогазодинамических процессов, OPTRIS - для моделирования деформаций и др.

- **CAM** — средства технологической подготовки производства изделий, обеспечивают автоматизацию программирования и управления оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) или ГАПС (Гибких Автоматизированных Производственных Систем). Русским аналогом термина является АСТПП — автоматизированная система технологической подготовки производства. Сюда входит и задача САПР ТП - разработка технологической документации (маршрутной, операционной), доводимой до рабочих мест и регламентирующей процесс изготовления детали.

Основные **функции** систем технологической подготовки производства (**CAM**): разработка технологических процессов, синтез управляющих программ для технологического оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), моделирование процессов обработки, в том числе построение траекторий относительного движения инструмента и заготовки в процессе обработки, генерация постпроцессоров для конкретных типов оборудования с ЧПУ (NC — Numerical Control), расчет норм времени обработки.

Примеры CAM. **NX CAM** — система автоматизированной разработки управляющих программ для станков с ЧПУ от компании Siemens PLM Software. **SprutCAM** — единственная российская CAM-система, и одна из немногих среди зарубежных, поддерживающая разработку УП для многокоординатного, электроэрозионного и токарно-фрезерного оборудования с учетом полной кинематической 3D-модели всех узлов в том числе. **ADEM** (англ. Automated Design Engineering Manufacturing) — российская интегрированная CAD/CAM/CAPP система, предназначенная для автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП). Пакет **EdgeCAM** от компании Pathtrace. **PowerMill** — продукт компании Delcam. Функционал CAM-системы Delcam, начиная с 2011-й версии, интегрируется в среду проектирования CAD-системы SolidWorks, разрабатываемого корпорацией Dassault Systèmes SolidWorks Corp. **Mastercam** — программное обеспечение для фрезерной, токарной, электроэрозионной и деревообработки на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Разработчик — известная американская компания CNC Software Inc., уже более 25 лет создает и совершенствует систему и является одним из мировых лидеров в CAM индустрии. Mastercam интегрирован в программные продукты фирмы АСКОН.

- **CAPP** (англ. computer-aided process planning — автоматизированная система технологической подготовки производства) — средства автоматизации планирования технологических процессов применяемые на стыке систем CAD и CAM.

Это программные продукты, помогающие автоматизировать процесс подготовки производства, а именно планирование (написание) технологических процессов. В основном такие программы работают с базой данных технологических планов предприятия. Задача CAPP следующая: по заданной модели изделия, выполненной в CAD-системе, составить план его производства — маршрут изготовления. В этот маршрут входят сведения о последовательности технологических операций изготовления детали, а также сборочных операциях (если таковые имеются); оборудование, используемое на каждой операции, и инструмент, при помощи которого на операциях производится обработка. Обычно технологическая подготовка производства осуществляется в написании технологических процессов на новые изделия, или разработка техпроцессов по уже имеющейся базе типовых технологических процессов. Если говорить о автоматизации написании технологических процессов, то существует два подхода: модифицированный и генеративный.

Примеры CAPP. **Tecnomatix** — пакет решений для трехмерного моделирования, анализа и автоматизированной подготовки производства от компании Siemens PLM Software. **Vertical** — система автоматизации технологической подготовки производства от компании Ascon. Техно Про и TechnologiCS — отечественных разработок.

- **Системы управления данными об изделии (PDM системы)** используются на всех этапах проектирования, позволяя осуществлять режим коллективного проектирования, автоматизируя функции управления, связанные с этим режимом: назначение и обеспечение качества ответственности, прав доступа, ведение базы данных проекта и т.д. В первую очередь системы PDM

упрощают передачу данных между отделами предприятия и доступ к информации, необходимой для работы в разных программных системах. Использование этих систем на предприятии улучшает взаимодействие подразделений, уменьшает бумажный документооборот, повышает эффективность управления.

PDM-система управляет всеми связанными с изделием информационными процессами (в первую очередь, проектированием изделия и технологией его производства), а также всей информацией об изделии - его составом и структурой, геометрическими данными, чертежами, планами проектирования и производства, нормативными документами, программами для станков с ЧПУ, результатами анализа, корреспонденцией, данными о партиях и отдельных экземплярах изделия и многим другим.

PDM-система выступает в качестве средства интеграции множества используемых на предприятии прикладных автоматизированных систем (CAD/CAM/CAE/CAPP/ERP/MRP) за счет сбора поступающей из них информации в логически единую модель на основе стандартных интерфейсов взаимодействия.

Пользователями PDM-системы могут быть все сотрудники всех предприятий-участников жизненного цикла изделия: конструкторы, технологи, работники технического архива, а также сотрудники, работающие в других предметных областях (сбыт, маркетинг, снабжение, финансы, сервис, эксплуатация и т. п.).

Наиболее **типичные задачи**, решаемые при помощи PDM-систем:

- электронный архив документации (конструкторской, технологической, организационно-распорядительной, проектной, нормативно-технической);
- электронный документооборот (согласование данных и документов, контроль исполнения);
- управление разработкой данных и документации (совместная работа в рабочей группе, управление составами и конфигурацией изделий);
- компьютерная система менеджмента качества;
- электронные справочники (материалы, ПКИ, стандартные изделия и т.д.).

Примеры PDM. В настоящее время наиболее известными PDM-системами являются ENOVIA и SmarTeam (Dessault Systemes), Teamcenter (Siemens PLM Software), Windchill (PTC), mySAP PLM (SAP), BaanPDM (BAAN) и российские системы Лоцман: PLM (Аскон), PDM StepSuite (НПО "Прикладная логистика"), Party Plus (Лоция Софт). Основные разработчики САПР в машиностроении считают целесообразным предлагать комплексные системы PLM, в состав которых входят как модули CAD/CAM/CAE, так и PDM.

С помощью CAD-средств создаётся геометрическая модель изделия, которая используется в качестве входных данных в системах CAM, и на основе которой, в системах CAE, формируется требуемая для инженерного анализа модель исследуемого процесса.

Многие системы автоматизированного проектирования совмещают в себе решение задач относящихся к различным аспектам проектирования CAD/CAM, CAD/CAE, CAD/CAE/CAM. Такие системы называют комплексными или интегрированными.

На сегодняшний день все существующее программное обеспечение автоматизированного конструирования для машиностроения принято классифицировать по функциональной полноте. По этому признаку оно делится условно на три уровня. К нижнему уровню (легкие САПР) относятся программы для автоматизации разработки и сопровождения технической документации, реализующие 2D модели в виде чертежей и спецификаций, технологических карт, ведомостей. Например: AutoCAD LT (AutoDesk), T-Flex CAD 2D (Топ Системы), КОМПАС-График (Аскон), CADMECH (Интермех) и др.

На среднем (средние САПР) - располагаются программные комплексы, которые позволяют создать трехмерные параметрические модели сравнительно несложного изделия, методом твердотельного моделирования, выполнять проверочные расчеты деталей и сборок. К числу этих программных комплексов можно отнести: Solid Works (SolidWorks Corp., США), AutoCAD Inventor (AutoDesk, США), Autodesk Mechanical Desktop (AutoDesk, США), Solid Edge (Siemens PLM Software, Германия), T-FLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM (Топ Системы, Россия), КОМПАС-3D (Аскон, Россия) и др. Эти САПР относятся к категории индивидуального пользования.

Программные системы сквозного проектирования и производства коллективного пользования расположены на верхнем уровне (тяжелые САПР). На сегодняшний день к числу тяжелых систем относятся всего три, что явилось результатом слияния и поглощения ведущими корпорациями более мелких фирм:

- CATIA (Dassault Systemes, Франция);
- UNIGRAPHICS NX (Siemens PLM Software, Германия),
- Pro/ENGINEER (PTC, США).

Компании, располагающиеся на верхнем уровне, обладают следующими необходимыми функциями:

- В них нет ограничений на количество входящих компонентов, то есть сборка может быть сколь угодно большой.
- Обладают возможностями коллективной работы над одним проектом.
- В их состав входят многофункциональные и специализированные модули (приложения), решающие узкие задачи конкретных отраслей промышленности более полно, нежели универсальные средства проектирования (как правило, это собственные разработки, тогда как представители "среднего класса" широко используют приложения сторонних разработчиков).
- В них есть большой набор инструментов для интеграции с программными средствами, используемыми на предприятиях.
- Кроме того, в системах высшего класса имеется мощная PDM-система с функциями серьезного технического документооборота (наличия лишь функций электронного архива недостаточно для притязаний на решение класса Hi-end).
- И замыкает список необходимых атрибутов PLM-решения высшего класса система поверхностного моделирования, так как многие задачи не всегда выполнимы с помощью твердотельного моделирования (особенно это актуально для автомобильной, аэрокосмической и судостроительной отраслей промышленности).

В последние годы, особенно с появлением аддитивных технологий изготовления, САПР для машиностроения стала одной из наиболее интенсивно развивающихся отраслей технических знаний. При чем, особенно активно совершенствуются системы среднего уровня, приближаясь по

своим возможностям к САПР верхнего уровня.

Освоение CAD-системы является первым шагом при знакомстве с любой САПР для машиностроения и приборостроения.

Решения комплексной автоматизации фирмы Dassault Systemes (CATIA V5/V6, SolidWorks)

В 2008 году компания Dassault Systemes (DS) (г. Париж, Франция) выпустила новую версию платформы управления жизненным циклом изделия PLM V6, которая реализует концепцию PLM 2.0, объединяя системы автоматизации проектирования **CATIA**, управления инженерными данными ENOVIA, инженерных расчетов SIMULIA, подготовки производства DELMIA и реалистичной трехмерной визуализации 3DVIA. Для небольших предприятий предназначен пакет PLM Express. Такое решение поставляется для платформы CATIA V5 и V6. Оно проще во внедрении, чем полноценная платформа, а его цель — закрыть 80—90% потребностей заказчика с помощью заранее сконфигурированного решения с готовыми настройками. В России большой успех имеет PLM Express V5. За три года с момента выпуска примерно 90% продаж CATIA пришлось именно на эту версию. Портфолио решений Dassault Systemes содержит: CATIA для виртуального проектирования продукции - SolidWorks для 3D проектирования - DELMIA для виртуального производства - SIMULIA для виртуального тестирования - ENOVIA для взаимодействия и совместного управления бизнес-процессами и жизненным циклом изделий, и 3DVIA для создания виртуального опыта.

САПР SolidWorks - мощное средство проектирования, базирующееся на передовых технологиях гибридного параметрического моделирования, интегрированных средствах электронного документооборота SWR-PDM/Workflow и широком спектре специализированных модулей. Разработчиком SolidWorks является SolidWorks Corp. (США), независимое подразделение холдинга Dassault Systemes (Франция). Концептуальные идеи, положенные разработчиками в основу SolidWorks, и такие качества, как высокая производительность и надежность, интуитивно понятный интерфейс, русификация и поддержка ЕСКД, определяют успех внедрения SolidWorks на предприятиях отечественной промышленности.

Решения комплексной автоматизации фирмы Siemens PLM Software (NX (старое название Unigraphics Solutions), Solid Edge)

Siemens PLM Software (г. Плано, штат Техас, США) — ведущий мировой поставщик ПО и услуг для управления жизненным циклом изделия (PLM) разрабатывает комплексные интегрированные CAD/CAM/CAE/CSE и PDM-системы для сопровождения изделия на всех этапах его жизненного цикла, включая концептуальный дизайн, проектирование, подготовку производства и инженерный анализ. Предложено решение для управления проектом изготовления изделия в целом. **NX 7.5** — это лидирующая CAD/CAM/CAE/CSE система, построенная на лучших технологиях, предназначенных для создания изделий любой сложности. В России NX занимает прочные позиции, благодаря широким возможностям использования системы в различных областях промышленности (авиакосмическая промышленность, двигателестроение, автомобилестроение, машиностроение и т.д.) и применению современных технологий, обеспечивающих пользователя передовыми решениями в области MCAD на всех этапах создания изделия.

Solid Edge - среднеуровневая трехмерная твердотельная CAD-система, предназначенная для проектирования моделей деталей, создания сборок с сохранением ассоциативных связей и выпуска чертежной документации на базе созданных моделей. Интегрирована с системой высокого уровня Unigraphics и системой управления проектом iman.

Решения комплексной автоматизации фирмы Parametric Technology Corporation (PTC)

Еще одним лидером на рынке САПР является корпорация Parametric Technology Corporation (г. Уолтхэм, шт. Массачусетс, США), что обусловлено популярностью ее системы Pro/Engineer. Компания PTC поставляет на отечественный рынок полностью русифицированные PLM – решения для совместной разработки, изготовления и сопровождения изделий на всех этапах жизненного цикла. Решения построены на базе CAD/CAM/CAE комплекса Pro/ENGINEER (система для создания инженерных данных) и решений комплекса Windchill (система для управления инженерными данными и проектами). Эти решения реализованы в виде системы поддержки разработок (PDS) компании PTC. Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 – новая версия интегрированного решения от PTC в области 3D CAD/CAE/CAM – предоставляет пользователям новые возможности, которые позволят им в свою очередь преодолевать традиционные препятствия в процессе проектирования, сделав процесс разработки изделия еще более быстрым, более эффективным и инновационным.

Autodesk (Inventor, AutoCAD).

Компания Autodesk (г. Сан-Рафаэль, шт. Калифорния, США) является одним из лидеров рынка САПР. AutoCAD признан в мире в качестве стандарта де-факто для разработки 2D документации. Кроме того, свой вклад здесь вносит и продолжающееся сокращение доли отдельных продаж AutoCAD в общем соотношении, вызванное увеличением количества сделок по приобретению более дорогостоящих продуктов для вертикального рынка, созданных на платформе AutoCAD, в частности Autodesk Mechanical Desktop и Autodesk Inventor. AutoCAD Inventor Professional Suite 2011 — система трехмерного твердотельного проектирования, предназначенная для организаций, разрабатывающих сложные машиностроительные изделия. С помощью AutoCAD Inventor Professional Suite 2011 можно проектировать пресс-формы для изготовления пластмассовых изделий, исследовать на динамику и прочность сложные машиностроительные изделия, содержащие электрические компоненты или трубопроводы. Всё это возможно в единой проектной среде AutoCAD Inventor Professional Suite — данный комплекс включает в себя все компоненты и функциональные возможности следующих программных комплексов:

- AutoCAD Inventor Suite 2011 — для 2D- и 3D-моделирования, а также для подготовки технической документации;
- AutoCAD Inventor Simulation Suite 2011 — для анализа прочности и моделирования динамики;
- AutoCAD Inventor Routed Systems Suite 2011 — для проектирования кабельных систем и трубопроводов;
- AutoCAD Inventor Tooling Suite 2011 — для проектирования и анализа пресс-формы для изготовления пластмассовых изделий.

Комплексы САПР в России

Что касается отечественных разработчиков систем автоматизированного проектирования, то здесь также есть свои лидеры. Остановимся поподробнее на самых крупных из них.

Компания Топ Системы (г.Москва), широко известная своим продуктом T-FLEX CAD не только в России, но и за рубежом, начиная с Версия 7.0 базируется на ядре Parasolid фирмы Unigraphics Solutions. Кроме того, вышли новые продукты— T-FLEX ЧПУ 2D и 3D (система подготовки программ для станков с ЧПУ) и T-FLEX NC Tracer (система имитации процесса обработки детали на станке с ЧПУ по готовой управляющей программе

Компания Consistent Software (г. Москва) выпустила серию специализированных программных продуктов, предназначенных для использования в различных прикладных областях и позволяющих выпускать проектную документацию в соответствии с российскими стандартами. Названия продуктов этой серии объединяет суффикс CS. Такие пакеты, как MechanICS, ElectriCS, HydraulICS, уже завоевали известность. В последнее время к этому семейству добавились TechnologiCS, СПДС GraphiCS и другие продукты.

Минская фирма «Интермех» (Белоруссия) разрабатывает комплекс программ для автоматизированного конструкторско-технологического проектирования.— от разработки непосредственно конструкторской документации (Cadmech), с последующим автоматизированным выпуском текстовых конструкторских документов СП, ВС, ВП, ПЭ (AVS), до ведения сетевого иерархического архива предприятия, с возможностью ведения проектов и документооборота предприятия (Search).

Компания АСКОН (г. Санкт-Петербург), хорошо известная своим пакетом КОМПАС, выпустила в начале 2000 года новый продукт— систему трехмерного моделирования КОМПАС-3D предназначенную для конструкторов. Также компания дополнила свои продукты для отечественного машиностроения; в середине 2000 года был выпущен новый продукт — КОМПАС-SHAFT Plus, в котором объединены КОМПАС-SHAFT (проектирование валов) и GEARS (расчет передач).

Говоря об АСКОН, следует помнить, что компания начала свою работу с выпуска КОМПАС-График— системы, предназначенной для оформления чертежей по ЕСКД, чем и сумела удовлетворить массовый спрос промышленности в подобном решении. Дело в том, что чертежи являются ахиллесовой пятой нашего сегодняшнего прогресса в области автоматизации инженерного труда. Часто, даже внутри предприятий, руководители не могут ввести СТП, которые позволяли бы обмениваться данными между отделами в виде моделей, а не чертежей. Поэтому, чтобы не было споров и во избежание попадания под разбор соответствующей комиссии на предприятиях до сих пор делаются чертежи по ЕСКД. Здесь же сидит нормо-контроль, который требует, чтобы другой отдел не принимал работу, пока она не будет сдана в соответствии с ЕСКД... Сейчас эта практика понемногу уходит из маленьких частных компаний, но если предприятие находится под контролем группы или министерства, то никуда от этого не деться. Происходит своего рода волнообразное повышение производительности на определенном этапе жизненного цикла и в определенной функциональной среде, а затем следует обрыв — создание чертежей по нормам ЕСКД. К слову, ни один другой документ, кроме чертежа по ЕСКД, судебные и сертификационные инстанции принимать к рассмотрению не будут. Это, конечно, является сегодня громадным тормозом. КОМПАС-График решал описанную задачу, и поэтому пользовался колоссальным спросом. С точки зрения повышения производительности, это решение серьезных преимуществ не дает, но позволяет предприятиям работать так же, как они работали 20 - 30 лет назад — зато теперь на компьютерах. Хорошая идея может родиться у одного-двух-трех человек. Но для того чтобы продукт стал технологичным и коммерческим, он должен пройти колоссальный путь, и в этой работе должны быть задействованы сотни людей, труд которых стоит определенных денег. Когда мы хотим оценить качество какого-либо имеющегося на рынке коммерческого продукта, первое, что мы должны спросить: сколько денег вложено в его разработку? Потому что деньги являются мерилем труда, вложенного в продукт. Если говорить о развитии САПР, то известно, что системы, как и люди, имеют возрастные состояния: младенчество, зрелость и старость. Они меняются, проходят поко-

ления – 1-е, 2-е, 3-е, 4-е... Сегодня мы находимся на границе 4-го и 5-го поколения. САПР – это средство генерации данных, но если оно не связано одновременно с хранилищем данных и системой навигации по этим данным, то мы имеем САПР 3-го поколения, или desktop-решение. Сегодняшние САПР 4-го и 5-го поколений способны решать задачу интеграции со средой хранения данных и управления процессами, управления смежными с документацией данными. САПР 5-го поколения считается такая система, в которую добавлена интеллектуальная составляющая, решающая конкретную техническую задачу. Такие приложения уже начали появляться в составе модулей основных разработчиков САПР.

Ведущие мировые и российские разработчики PLM-систем

Компания	Класс решения	Компоненты PLM-системы			
		CAD	CAM	CAE	PDM
Dassault Systemes Франция	Тяжелые	Catia			Enovia, Smarteam
	Средние	Solid Works	CAMWorks	Cosmos	PDM Works
SPLMS (UGS) США	Тяжелые	Unigraphics/NX			Teamcenter
	Средние	Solid Edge	NX CAM Express	Femap	Teamcenter Express
PTC США	Тяжелые	Pro/Engineer Wildfire			Windchill
Autodesk США	Средние	Inventor	-	Simulation Suit	Vault/Productstream/Buzzsaw
Аскон Россия	Средние	Компас 3D	-	-	Лоцман:PLM
Топ Системы Россия	Средние	T-FLEX CAD 3D	T-FLEX ЧПУ	T-FLEX Анализ	T-FLEX DOCs

Источник: CNews Analytics

Понятие интегрированной системы автоматизации

Автоматизация различных областей деятельности производственного предприятия, осуществленная с помощью CAD/CAE/CAPP/CAM систем, а также необходимость организации хранения проектных данных в общей базе (осуществленная с помощью PDM-систем) привели к поглощению мелких специализированных компаний крупными, и созданию ведущими разработчиками САПР единый комплекс программных решений от одного поставщика.

Известно, что частичная автоматизация зачастую не дает ожидаемого повышения эффективности функционирования предприятий. Поэтому предпочтительным является внедрение **интегрированных** САПР, автоматизирующих все основные этапы проектирования изделий. Сущность интеграции заключается в способности создавать данные в одном приложении (CAD) и при малых изменениях использовать их в другом приложении (CAE, CAM). Дальнейшее повышение эффективности производства и повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции возможно за счет интеграции систем проектирования, управления и документооборота.

Основные преимущества интегрированных систем автоматизации (ИСА) можно сгруппировать в следующие категории:

1. Качество ИСА может оказаться мощным средством как для установления требований к продукции, так и для измерения того, на сколько хорошо эти требования удовлетворяются. Например, экспертные системы могут дать уверенность, что требования, установленные для каждой новой продукции, соответствуют общим стандартам и совместимы с другой продукцией фирмы. Система просто не позволит инженеру-проектировщику забыть или нарушить спецификацию. Когда дело касается измерения качества продукции, ИСА может служить для того, чтобы:

- Обеспечить данные для статистики системы контроля производства;
- Обеспечить данные для оборудования лабораторного тестирования;
- Проводить аппаратный контроль измерения с использованием станков с ЧПУ.

2. Потребительская стоимость. Получение максимума за ваши деньги. Чем ближе продукция была спроектирована к требованию клиента, тем охотнее он будет платить деньги.

3. Время разработки. Если проанализировать, где теряют время инженеры, то обнаружится, что много времени уходит на поиск и получение информации, необходимой для проектирования продукции. Очень часто не хватает достаточно точной информации для выполнения инженерной работы. Если недоступна хорошая возможность компьютерного моделирования, то много времени уходит в ожидание проверки прототипов и их передел, и проверки снова и снова.

4. Автоматизация – тип детального проектирования (в части чертежных работ) позволяет избежать многочисленных разнообразных ошибок (размеры, не согласующиеся между собой на проекциях, отсутствуют информации о детали).

5. Поддержка производственной технологии. Многие из современных, производственных технологий не могут быть эффективно реализованы без интегрированных САПР-АСТПП. Это касается роботов, гибких производственных систем.

6. Сокращение ошибок и удобство внесения инженерных изменений.

7. Широкие вычислительные сети, связи предприятия.

Современное предприятие в своей деятельности связано со многими другими предприятиями – смежниками, поставщиками комплектующих изделий, заказчиками и т.д. Время согласования производственных вопросов с ними влияет на общее время выполнения заказа, а его уменьшение требует в первую очередь автоматизации общих информационных потоков. Такая совокупность организационно самостоятельных организаций, но информационно связанных между собой для выполнения определенных заказов представляет собой виртуальное предприятие. Для создания нового особо сложного наукоемкого изделия нужна первоначальная разработка модели реализующего его виртуального предприятия. Она должна включать все необходимые ресурсы для его создания и состав производства и предприятий для их реализации. Программно-технической поддержкой такой организации является локальная сеть предприятия либо сеть Intranet виртуального предприятия с общим доступом к базам данных и знаний.

Компоненты Интегрированной системы автоматизации?

Очевидным развитием объединяющего процесса ИСА является его связывание с другими компонентами системами. К настоящему времени разработано много смежных дисциплин с новой терминологией и уже устоявшейся аббревиатурой.

Все виды инженерной деятельности, управление компаниями, объединены под названием «АС инженерного обеспечения» (АСИО). Эта система включает:

- САПР/АСТПП
- Процедуры АСУ производством (АСУП).
- Процедуры АС производства планирования (АСПП).
- Планирование процесса проектирования с использованием комплексного ПО.
- Система автоматизации проектирования инструмента и процесса обработки.
- Система автоматизации процесса усовершенствования.
- Система автоматизации проектирования расположения оборудования на производстве, включая графическую имитацию робототехники.

Полная интеграция отраслей АСИО вместе с интегрированными экономическими и бухгалтерскими системами, называется компьютерным интегрированным пространством (КИП).

Интеграция геометрических и конечно-элементных моделей

Интеграция CAD и CAE систем заключается в том, что конечно-элементная модель, необходимая для инженерного расчёта в CAE системе, строится по геометрической модели в CAD системе. Для такого построения в CAD системах используется приложение FEM (Finit Element Modeling – конечно-элементное моделирование). При преобразовании геометрической модели в модель конечных элементов пользователь наносит на геометрическую модель сетку, то есть разбивает её на конечное число элементов, каждый из которых идентифицируется координатами своих узлов X, Y, Z и взаимосвязью с соседними элементами.

Процесс анализа часто является итерационным – тем самым оптимизируется проект. В результате анализа, например, может быть выявлена концентрация напряжений, которая выходит за пределы допустимых характеристик материала детали. Эти факты, обнаруживаемые в процессе анализа, обуславливают конструкторские изменения, такие, как размещение добавочных опор, утолщение, переопределение нагрузки, изменение типа материала или другие корректирующие действия. После выполнения этих исправлений геометрия модели может измениться.

Интеграция геометрической модели с технологической подготовкой производства

Интеграция CAD/CAM систем заключается в том, что геометрическая модель объекта используется для разработки технологических процессов изготовления и контроля реальной детали, для проектирования заготовки – путём добавления к ней технологических припусков и расчёта размерных технологических цепей, для проектирования литейной и штамповой технологической оснастки.

При проектировании литейной и штамповой технологической оснастки на первом этапе осуществляется доработка геометрической модели детали с учётом термодинамических свойств материала детали, т.е. конструктор определяет усадку материала, в соответствии с которой вводятся различные коэффициенты масштаба по осям координат.

На втором этапе производится назначение литейных или штамповочных припусков на механическую обработку и вновь корректируется геометрическая модель. Таким образом, производится переход от геометрической модели детали к геометрической модели заготовки – отливки или штамповки.

На третьем этапе в CAD/CAM системах, например, в Power Mill, по полученным геометрическим моделям заготовки конструируется технологическая оснастка:

- строятся поверхности и линии разъемов;
- определяются формирующие элементы - полуформы для отливок, вставки для пресс-форм, комплекты «матрица – пуансон» для штамповок;
- формируются управляющие программы для станков с ЧПУ для изготовления оснастки;
- производится изготовление оснастки, причём формообразующие поверхности изготавливаются либо механической обработкой на станках с ЧПУ, либо электроэрозионной обработкой также на станках с ЧПУ;
- производится получение изделия в соответствии с разработанным технологическим процессом, контроль на контрольно – измерительных машинах и сравнение полученных контуров с геометрической моделью детали. При удовлетворительных результатах следует изготовление опытно – промышленной партии деталей, сборка и испытание изделия.

Одним из современных способов использования геометрических моделей в технологической подготовке производства является стереолитография (прототипирование) (технология Quick Cast).

Этот метод предполагает получение в CAD/CAM системе по геометрической модели стереолитографической модели (файл типа .stl) и выращивание тела детали из жидкого полимера под воздействием луча лазера, движение которого осуществляется на основе .stl - модели. Точность такого макета $\pm 0,05$ мм.

Такие макеты могут использоваться как слепки для последующего литья восковых моделей, применяемых в литейном производстве. Для лопаток, например, полимерные модели, полученные методом стереолитографии, можно использовать для аэродинамических испытаний, предварительных прочностных испытаний и проверки на собираемость лопаточных решёток.

Требования к современным системам, обусловленные интеграцией:

- повсеместный переход к твердотельному моделированию с использованием вариационной геометрии с ассоциативными связями, как развитию параметрического геометрического моделирования;
- распространение ассоциативных связей на все уровни проекта, включая сборочные единицы, расчетные модули системы, технологическую подготовку производства;
- обеспечение горизонтальной и вертикальной интеграции и сбалансированности модулей в рамках единой системы;
- наличие средств поддержки параллельного проектирования и методов коллективной работы;

Важное значение для обеспечения открытости САПР, ее интегрируемости с другими АС имеют интерфейсы, представляемые реализованными в системе форматами межпрограммных обменов. Очевидно, что, в первую очередь, необходимо обеспечить связи между CAE, CAD и CAM-подсистемами.

В качестве языков — форматов межпрограммных обменов — используются IGES, DXF, Express (стандарт ISO 10303-11, входит в совокупность стандартов STEP), SAT (формат ядра ACIS) и

др. Наличие взаимосвязей по стандарту STEP, что открывает возможности импорта/экспорта данных с различными CAD/CAM/CAE системами, поддерживающими этот стандарт.

Системы управления жизненным циклом изделия в современном машиностроении

Цель любого предприятия - прибыль, эффективность бизнеса. Одной из характерных черт современного промышленного производства являются жесткие требования к конкурентоспособности продукции. Что, в свою очередь, требует и быстрых темпов разработки и запуска продукции в производство и налагает высокие требования на качество продукта, его соответствие рынку. Это стало возможным во многом благодаря широкому внедрению сначала САПР, затем организации обмена данными между проектными и производственными системами и на современном этапе созданию систем, полностью описывающих жизненный цикл изделия от концепции до описания технологических процессов его изготовления и эксплуатации.

Жизненный цикл изделия

Жизненный цикл изделия (ЖЦИ), как определяет его стандарт ISO 9004-1, — это совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукта^[6].

Жизненный цикл изделия — все этапы «жизни» продукции. Включает этапы дизайнерской задумки, конструкторской и технологической подготовки производства, изготовления, обслуживания, утилизации и т. п. В основном, применяется по отношению к сложной наукоемкой продукции высокотехнологичных предприятий.

В соответствии с ГОСТом 2.101-68 устанавливаются следующие виды изделий: детали; сборочные единицы (узлы); комплексы; комплекты; агрегаты.

Изделием в машиностроении называется предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Изделием может быть машина, элемент машины и даже отдельная деталь, в зависимости от того, что является продуктом конечной стадии данного производства.

Деталь является изделием или составной частью изделия, изготовленной из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. Например, валик, винт, корпус, зубчатое колесо. Деталь — это первичный сборочный элемент каждой машины.

Сборочной единицей (узлом) — называется изделие, составные части которого подлежат соединению на предприятии-изготовителе сборочными операциями, такими как простое соединение деталей, соединение деталей их запрессовкой, свинчиванием, сваркой, пайкой, клеей, склеиванием и т.д. Например, станок, редуктор, сварной корпус, коробка скоростей, ротор турбины, шпиндельный узел.

Комплексом называется два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, например, автоматическая линия. В комплекс кроме изделий, выполняющих основные функции, могут входить детали, сборочные единицы и комплекты, предназначенные для выполнения вспомогательных функций, например детали и сборочные единицы, предназначенные для монтажа комплекса на месте его эксплуатации.

Комплект представляет собой два и более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, и представляющие собой набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например, комплекты запасных частей, инструментов, измерительной аппаратуры, упаковочной тары.

Агрегат – это сборочная единица, обладающая полной взаимозаменяемостью возможностью сборки отдельно от других составных частей изделия (или изделия в целом) и способностью выполнять определенную функцию в изделии или самостоятельно (например, двигатель).

Этапы жизненного цикла изделия

Жизненный цикл изделия (ЖЦИ) включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового продукта до утилизации по окончании срока его использования.

- 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
- Послепродажная деятельность
- Утилизация и (или) переработка

Основные этапы жизненного цикла промышленной продукции представлены на рис 1.

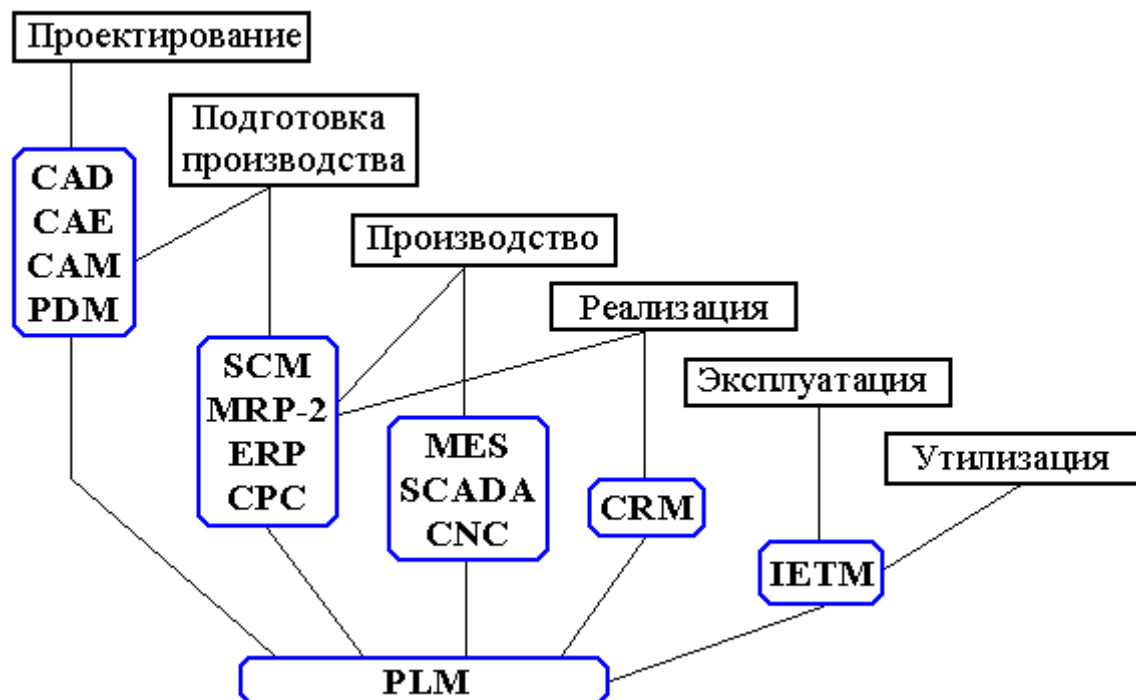


Рис. 1. Этапы жизненного цикла промышленных изделий и применяемые на них автоматизированные системы

PLM-система ([англ. product lifecycle management](#)) — прикладное программное обеспечение для управления жизненным циклом изделия.

Совокупность видов деятельности и функций, необходимых для осуществления проекта и изготовления изделий, называется производственным циклом. Поведение этого цикла определя-

ется заказчиками изделий и потребностями рынков сбыта.

Производственный цикл может активизироваться различными путями в зависимости от особенностей той или иной группы заказчиков-потребителей. В одних случаях функции проектирования выполняет сам заказчик, а изготовление изделия – сторонние фирмы, в других и проектирование и производство выполняет одна и та же фирма. Однако, как бы это не происходило, производственный цикл всегда начинается с выработки концепций нового изделия (т.е. возникновение определенной идеи). Первоначально концепция нового изделия прорабатывается, затем в деталях уточняется, анализируется, совершенствуется и после конструктивной разработки воплощается в план выполнения нового изделия. Этот план подкреплен документацией в виде набора конструктивных чертежей, показывающих, как должно изготавливаться изделие и совокупность технических описаний, спецификаций, отражающих принципы функционирования изделия. Этим завершается деятельность по проектированию, если не считать конструкцию изделия на протяжении всего ЖЦ.

Следующим видом деятельности становится изготовление изделия, которое начинается составлением плана, определяющего последовательность операций, необходимых для выполнения изделия. Иногда могут потребоваться новое оборудование, инструмент и оснастка.

На этапе составления графика производства выбранного плана, в соответствии с которым фирма фактически принимает на себя обязательство выпустить определенное количество изделий в конкретные сроки. После того, как сформированы планы-графики по всем изделиям, они запускаются в производство, и затем проходят через операции контроля качества и отгрузки заказчику.

Достижение поставленных целей на современных предприятиях, выпускающих сложные промышленные изделия, оказывается невозможным без широкого использования автоматизированных систем (АС), основанных на применении компьютеров и предназначенных для создания, переработки и использования всей необходимой информации о свойствах изделий и сопровождающих процессов. Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обуславливает разнообразие применяемых АС.

Информация об изделии

Информация об изделии – это набор данных, которые порождаются и используются на всем протяжении его жизненного цикла (ЖЦ) и включают:

- информацию о конфигурации и структуре изделия;
- характеристики и свойства;
- организационную информацию (описание процессов, связанных с изменением данных об изделии, необходимые ресурсы – люди, материалы, т.д.);
- информацию о проведенных контрольных испытаниях;
- документы, которыми обрастает изделие с момента его проектирования до его продажи и дальнейшего обслуживания, и т.д.

Классификация информации об изделии по этапам ЖЦ:

1. Конструкторские данные об изделии – совокупность информационных объектов, порождаемых в процессе проектирования и разработки изделия, содержащая сведения:
 - о составе изделия;
 - о геометрических моделях изделия;
 - о его компонентах и их технических характеристиках;
 - об отношениях компонентов в структуре изделия;

- о результатах расчетов и моделирования;
 - о допусках на изготовление деталей и т.д.
2. Технологические данные об изделии – совокупность информационных объектов, порождаемых на стадии технологической подготовки производства и ассоциированных с информационными объектами, описывающими изделие и его компоненты. Содержит сведения:
 - о способах изготовления и контроля изделия;
 - описание маршрутных и операционных технологий;
 - нормы времени и расхода материалов;
 - управляющие программы для станков с ЧПУ;
 - данные для проектирования оснащения.
 3. Производственные данные об изделии – содержат сведения о статусе конкретных экземпляров изделия и его компонентов в производственном цикле.
 4. Данные о качестве изделия – совокупность информационных объектов, порождаемых при выполнении всех видов контроля. Содержат сведения о степени соответствия изделия заданным техническим требованиям, ТУ, стандартам и др.
 5. Логистические данные об изделии – порождаются в процессе проектирования и разработки, содержат сведения о пространственно-временной увязки планирования взаимодействий всех субъектов и для поддержки изделия на постпроизводственных стадиях ЖЦ.
 6. Эксплуатационные данные об изделии – порождаются в процессе проектирования и разработки, содержат руководства по эксплуатации, сведения для организации обслуживания, ремонта и других действий, обеспечивающих работоспособность изделия.

Единая интегрированная модель изделия

- Содержит всю информацию об изделии (его свойства, знания о нем и его производстве), требуемую на любом из этапов ЖЦИ;
- сопровождает изделие на всем протяжении его ЖЦ от замысла до утилизации;
- при построении каждого модуля модели должны использоваться единые средства и методы построения моделей и обеспечение целостности всей модели, описывающей изделие.

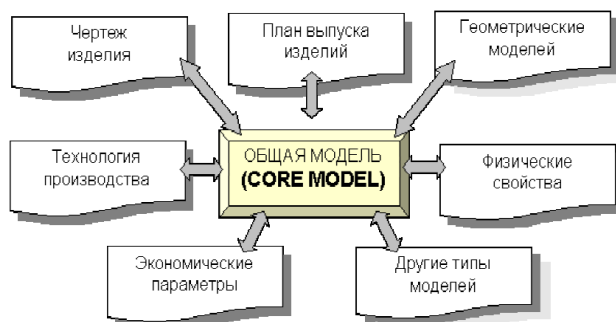


Рис.2 Интегрированная модель изделия

Автоматизированные системы управления ЖЦИ

Маркетинговые исследования

Цель **маркетинговых исследований** - анализ состояния рынка, прогноз спроса на планиру-

емые изделия и развития их технических характеристик, поиск похожего продукта и определение сильных и слабых сторон конкурента. На данном этапе жизненного цикла находит применение система **CRM** (Customer Requirement Management - Управление взаимоотношениями с заказчиками).

Система **CRM** - это система, на вход которой поступают данные, связанные с клиентами компании, а на выходе появляется информация, влияющая на поведение компании в целом или на поведение ее отдельных элементов (вплоть до конкретного работника компании). Другими словами, **CRM**-система - это, прежде всего, база данных с информацией о клиентах, и набор приложений, которые позволяют, во-первых, собирать информацию о клиенте, во-вторых, ее обрабатывать, в третьих, делать определенные выводы на базе этой информации, экспортировать ее в другие приложения или просто при необходимости предоставлять эту информацию в удобном виде. Собственно, эти моменты и являются ключевыми функциями CRM-систем. Результатами работы **CRM**-системы могут пользоваться не только сотрудники компании, но и непосредственно сам клиент.

Примером использования может быть разработка дизайна нового продукта, который подходит по стилю к уже выполненным для данного заказчика работам, доступ к просмотру которых можно легко получить с помощью CRM-системы.

Функции обучения обслуживающего персонала возложены на 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.

Проектирование

Этап проектирования. Является одним из наиболее важных этапов. Автоматизация проектирования осуществляется САПР. В САПР машиностроительных отраслей промышленности принято выделять системы конструкторского (системы CAD), функционального (системы расчетов и инженерного анализа - системы CAE) и технологического проектирования (системы CAM).

На этом этапе формируется объемная геометрическая модель машиностроительного изделия или, так называемая, мастер - модель, которая будет играть определяющую роль на многих последующих этапах. На этом этапе выполняются различные виды инженерного анализа. Для создания объемной модели изделия конструктор может воспользоваться методами трехмерного твердотельного, поверхностного моделирования или сочетанием этих методов.

Большинство систем инженерного анализа (CAE) используют метод конечных элементов. Для проведения какого-либо вида анализа, обычно, в CAD системе, на основе точной геометрической модели создается расчетная (упрощенная) модель путем удаления тех конструктивных элементов, которые не оказывают существенного влияния на результаты анализа. Расчетная модель передается в пакет анализа при помощи стандартных интерфейсов. Отдельные пакеты анализа имеют внутренние средства построения геометрической модели, с помощью которых может быть решена задача моделирования простых форм.

Современные программные средства CAE позволяют решать широкий спектр задач анализа линейной и нелинейной статике и динамики, устойчивости, теплопередачи, акустики, аэроупругости, оптимизации конструкции и многие другие.

Подготовка производства. Назначение этого этапа сводится к решению следующих основных задач:

- разработка технологий изготовления изделия, электродов, пресс-форм и штампов на основе их геометрических моделей, полученных на этапе проектирования;
- подготовка программ для станков с ЧПУ по спроектированным технологиям;
- контроль качества работы управляющих программ для станков с ЧПУ.

Проектирование технологических процессов составляет часть технологической подготовки производства и выполняется в системах **CAM**. В производстве машиностроительных и приборостроительных изделий используются технологии, в основе которых лежат различные физические процессы: механообработка, электроэрозионная обработка, литье металлов и пластмасс и др.

При выполнении различных видов механообработки используется общая база данных для поддержки связи между геометрической моделью обрабатываемой детали и управляющей программой для станка с ЧПУ, где проходы инструмента создаются по геометрии модели. Изменение геометрии отражаются в управляющей программе. Траектория движения инструмента создается интерактивно по поверхности модели изделия, обеспечивая технологов возможностью визуально наблюдать на мониторе имитацию процесса удаления стружки, контролировать зарезы и быстро вносить изменения в циклы обработки.

Подготовка программ для всех видов оборудования с ЧПУ выполняется автоматически, когда выбран станок и указан тип процессора, установленный на данный станок (например, CNC).

Управление производством. Для решения проблем совместного функционирования компонентов САПР различного назначения, координации работы систем CAE/CAD/CAM, управления проектными данными и проектированием разрабатываются системы, получившие название систем управления проектными данными **PDM** (Product Data Management). Системы PDM либо входят в состав модулей конкретной САПР, либо имеют самостоятельное значение и могут работать совместно с разными САПР.

Главная цель **PDM** – поддержка электронного описания продукта (изделия) на всех стадиях его жизненного цикла. Эта поддержка должна обеспечить решение следующих задач:

- Ведение проектов: управление работами, процедурами и документами в составе проекта, контроль над выполнением проекта.
- Планирование и диспетчирование работ.
- Распределение прав доступа к информации между отдельными участниками проекта или их группами.
- Организация и ведение распределенных архивов конструкторской, технологической и управленческой документации (электронные архивы).
- Управление изменениями в документации: контроль версий документов, ведение протокола работы с документами, листов регистрации изменений и извещений.
- Фиксирование стандартных этапов прохождения документов, контроль прохождения документов по этапам.

- Интеграция с CAD/CAM-системами и их приложениями, используемыми при проектировании.
- Контроль целостности проекта.
- Поиск необходимой информации в проекте на основании запросов.

Производство

На большинстве этапов жизненного цикла, начиная с определения предприятий-поставщиков исходных материалов и компонентов и кончая реализацией продукции, требуются услуги системы управления цепочками поставок — **SCM**. Цепь поставок обычно определяют как совокупность стадий увеличения добавленной стоимости продукции при ее движении от компаний-поставщиков к компаниям-потребителям. Управление цепью поставок подразумевает продвижение материального потока с минимальными издержками.

Координация работы многих предприятий-партнеров с использованием технологий Intrenet возлагается на системы E-commerce, называемые системами управления данными в интегрированном информационном пространстве **CPC** (Collaborative Product Commerce).

Организованная удаленная работа различных предприятий над одним продуктом образует виртуальное предприятие.

Управление в промышленности, как и в любых сложных системах, имеет иерархическую структуру. В общей структуре управления выделяют несколько иерархических уровней, показанных на рис.3. Автоматизация управления на различных уровнях реализуется с помощью автоматизированных систем управления (АСУ).



Рис. 3. Общая структура управления

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

К **АСУП** относятся системы планирования и управления предприятием **ERP** (Enterprise Resource Planning), планирования производства и требований к материалам **MRP-2** (Manufacturing

Requirement Planning) и упомянутые выше системы SCM. 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 MRP-2 ориентированы, главным образом, на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством. В некоторых случаях системы SCM и MRP-2 входят как подсистемы в ERP, в последнее время их чаще рассматривают как самостоятельные системы.

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

Для выполнения диспетчерских функций (сбор и обработка данных о состоянии оборудования и технологических процессов) и разработки ПО для встроенного оборудования в состав АСУТП вводят систему **SCADA** (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Непосредственное программное управление технологическим оборудованием осуществляют с помощью системы **CNC** (*Computer Numerical Control*) на базе контроллеров (специализированных компьютеров, называемых промышленными), которые встроены в технологическое оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ).

Эксплуатация, обслуживание, утилизация

Понятие Единого Информационного Пространства (ЕИП) является ключевым понятием CALS-технологий. Потребитель является полноправным участником ЖЦИ на этапе эксплуатации изделия и ему необходимо обеспечить доступ в ЕИП. Однако использование для этих целей PDM-системы нецелесообразно в силу ее большой стоимости и значительного срока внедрения и освоения. Учитывая это, а также то, что потребителю необходимы только эксплуатационные данные об изделии, в качестве средства доступа к ЕИП он будет использовать не PDM-систему, а интерактивные электронные технические руководства (ИЭТР - IETM (*Interactive Electronic Technical Manuals*)).

Интерактивные электронные технические руководства также выполняют функции обучения обслуживающего персонала. С их помощью выполняются диагностические операции, поиск отказавших компонентов, заказ дополнительных запасных деталей и некоторые другие операции на этапе эксплуатации систем.

Конкретизация задач ИЭТР представлена следующим списком:

- обеспечение пользователя справочным материалом об устройстве и принципах работы изделия;
- обучение пользователя правилам эксплуатации, обслуживания и ремонта изделия;
- обеспечение пользователя справочными материалами, необходимыми для эксплуатации изделия, выполнения регламентных работ и ремонта изделия;
- обеспечение пользователя информацией о технологии выполнения операций с изделием, потребности в необходимых инструментах и материалах, о количестве и квалификации персонала;
- диагностика состояния оборудования и поиска неисправностей;
- подготовка и реализация автоматизированного заказа материалов и запасных частей;

- планирование и учет проведения регламентных работ;
- обмен данными между потребителем и поставщиком.

Типичный состав ИЭТР:

- описание устройства и функционирования изделия и его частей;
- правила эксплуатации изделия, включая ограничения, подготовку, собственно использование;
- диагностика оборудования и поиск неисправностей, ТОиР;
- регламент технического обслуживания, планирование и учет регламентных работ;
- каталоги запасных частей, ведомости ЗИПа;
- обмен информацией с заводом-поставщиком, автоматизированный заказ материалов и запасных частей;
- упаковка, транспортирование, консервация, хранение;
- утилизация.

Использование ИЭТР дает следующие преимущества по сравнению с традиционными бумажными техническими руководствами:

- сокращение на 20 - 25 процентов сроков освоения новых изделий потребителем.
- в интегрированном ИЭТР организовать обновление информации гораздо проще, чем в бумажных руководствах.
- в ИЭТР высокого уровня встраивается система диагностики неисправностей.

Понятие PLM-технологии.

Под **PLM** (Product Lifecycle Management) понимают систему управления жизненным циклом продукции реализующую технологии управления данными в информационном пространстве, едином для различных автоматизированных систем. Технологии PLM объединяют методики и средства информационной поддержки изделий на протяжении всех этапов жизненного цикла изделий. Характерная особенность PLM — обеспечение взаимодействия как средств автоматизации разных производителей, так и различных автоматизированных систем многих предприятий, то есть технологии PLM (включая технологии *CPC(Collaborative Product Commerce)*) являются основой, объединяющей информационное пространство, в котором функционируют САПР, ERP, PDM, SCM, CRM и другие автоматизированные системы многих предприятий.

Отличия PDM и PLM

PDM	PLM
Целевой группой пользователей PDM систем являются инженеры, технологи и менеджеры среднего звена, т.е. нет выхода на корпоративный уровень.	Ввиду интеграции с системами SCM, CRM и ERP, являются инструментом менеджеров верхнего уровня, предоставляя информацию всем заинтересованным лицам.

В целом же PLM – это совокупность программных систем CAE/CAD/CAM/PDM и ERP/CRM/SCM, методики их применения, а главное - людей, обладающих должной компетентностью. Можно сказать, это целая философия жизни производства, опирающаяся на те, самые, программные средства. Перевод мыслей, идей, опыта сотрудников предприятия в явные знания

предприятия в виде документов, схем, чертежей и т.д., является важной задачей в управлении ЖЦИ. Процесс наполнения банка знаний предприятия постоянен и непрерывен.

PLM— это стратегический подход к бизнесу, при котором применяется набор интеллектуальных инструментальных средств, поддерживающих совместное создание, управление, изменение и использование данных о продукции в рамках расширенной модели предприятия (то есть модели предприятия, включающей, помимо собственно производства, привлечение к работе с данными о продукции как контрагентов, так и конечных заказчиков продукции), и обмен данными осуществляется в рамках единого информационного пространства (включая единые бизнес-процессы, бизнес-приложения и данные). При этом PLM управляет данными, находящимися преимущественно в цифровом виде. При этом особо подчеркивается, что PLM не является какой-либо конкретной технологией или каким-либо отдельным программным продуктом. Таким образом, речь идет о стратегическом подходе, для реализации которого требуется использовать не одну, а несколько систем в рамках единого интегрированного решения (причем не исключено, что эти системы могут быть от разных производителей).

Концепция PLM возникла в отраслях, связанных с разработкой и производством сложных технических изделий (авиационно-космическая отрасль, оборонно-промышленный комплекс, точное машиностроение и др.). Поэтому довольно долго в нашей стране PLM-решения ассоциировались именно с предприятиями данного профиля, и предполагалось, что они оперируют в основном техническими (в первую очередь конструкторскими) данными. Но в последние годы ситуация качественно изменилась.

Теперь уже не имеет значения, что именно понимается под словом «продукция» — станок, корабль, самолет, нефтепровод или сложная информационная система.

Задачи, решаемые PLM-системой, в управлении ЖЦИ, являются суммой задач, решаемых PDM - системой и задач предприятия:

1. Жизненный цикл операционной составляющей (т.е. взаимодействия и обмена данными между участниками проекта).
2. Жизненный цикл производства (т.е. управление материальными ресурсами предприятия).
3. Жизненный цикл изделий (т.е. интеллектуальные ресурсы предприятия).



Концепция PLM предполагает, что создается единая информационная база, описывающая три краеугольные компоненты: **Продукт - Процессы - Ресурсы** и взаимосвязи между ними. Наличие такой объединенной модели обеспечивает возможность быстро, эффективно увязывать все

эти три компоненты, оптимизируя решение под требования бизнеса. Работа всех проектантов, конструкторов, технологов с единой моделью обеспечивает снижение издержек на многочисленные согласования, неизбежные при традиционной технологии работы, и исключает наличие дублирующих или взаимоисключающих документов. На практике это позволяет значительно сократить материальные и временные затраты на создание продукта и запуск его в производство, минуя многочисленные отладочные варианты, воплощаемые в реальности, то есть получить проект продукта, готового буквально с первых экземпляров к отправке потребителю. Мировая практика уже имеет примеры в даже таких сложных отраслях, как, например, авиастроение, когда самый первый собранный самолет нового проекта после проверочных испытаний был передан в реальную эксплуатацию. Конечно, такие идеальные случаи все-таки редки, но количество испытательно-доводочных вариантов продукции в современной автомобильной, авиационной, станкостроительной промышленности сократилось кардинально, а сроки на создание новых продуктов буквально в разы. Существуют целые классы технических объектов, в которых опытные образцы просто невозможны (например, целый завод) и "натурные эксперименты" на доводку их функционирования до оптимального уровня баснословно дороги.

Понятие CALS-технологии.

CALS-технологии (англ. Continuous Acquisition and Life cycle Support — непрерывная информационная поддержка поставок и ЖЦИ) — современный подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоёмкой продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники и современных информационных технологий на всех стадиях ЖЦИ.

Первоначально CALS создавалась как совокупность методов и средств решения логистических задач и аббревиатура CALS расшифровывалась как Computer Aided Logistics Systems. В дальнейшем сфера применения CALS расширилась и охватила все стороны информационной поддержки промышленных изделий, включая проектирование, управление предприятиями и технологическими процессами. Соответственно CALS получила новую интерпретацию и стала рассматриваться как Continuous Acquisition and Life cycle Support.

Что же такое CALS в современном понимании?

Существует и используется несколько толкований.

В широком смысле слова CALS - это методология создания единого информационного пространства промышленной продукции, обеспечивающего взаимодействие всех промышленных автоматизированных систем. В этом смысле предметом CALS являются методы и средства как взаимодействия разных АС и их подсистем, так и сами АС с учетом всех видов их обеспечения. **Практически синонимом CALS в этом смысле становится термин PLM**, широко используемый в последнее время ведущими производителями автоматизированных систем (АС).

В узком смысле слова CALS - это технология интеграции различных АС со своими лингвистическим, информационным, программным, математическим, методическим, техническим и организационным видами обеспечения.

За счет непрерывной информационной поддержки обеспечиваются единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков продукции, поставщиков/производителей продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала. Информа-

ционная поддержка реализуется в соответствии с требованиями системы международных стандартов, регламентирующих правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными.

ИПИ (информационная поддержка процессов жизненного цикла изделий) — русскоязычный аналог понятия **CALS**.

Стратегия CALS объединяет в себе следующие основные принципы:

- применение современных информационных технологий (электронный обмен данными, многопользовательские базы данных, распределённые системы поддержки принятия решений, виртуальное предприятие);
- единство представления и интерпретации данных в процессах информационного обмена между АС и их подсистемами, что обуславливает разработку онтологий приложений и соответствующих языков представления данных;
- доступность информации для всех участников ЖЦИ в любое время и в любом месте, что обуславливает применение современных телекоммуникационных технологий;
- инжиниринг и реинжиниринг бизнес-процессов;
- поддержка процедур совмещенного (параллельного) проектирования изделий;
- унификация и стандартизация средств совместного использования АС и электронного обмена данными;
- интеграцию образования и производства, подготовки и переподготовки специалистов, связь эффективности производства с качеством подготовки и переподготовки специалистов.

Цель реализации CALS-стратегии – качественное повышение эффективности деятельности за счет ускорения процессов исследования, разработки и модернизации продукции.

Применение CALS-технологий позволяет существенно сократить объёмы проектных работ, так как описания многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в унифицированных форматах данных сетевых серверов, доступных любому пользователю технологий CALS. Существенно облегчается решение проблем ремонтпригодности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации, специализации проектных организаций и т.п. Предполагается, что успех на рынке сложной технической продукции будет немыслим вне технологий CALS.

Суть концепции CALS – в организации единого информационного пространства (Интегрированной информационной среды), объединяющего автоматизированные системы, предназначенные как для эффективного решения задач инженерной деятельности, так и для планирования и управления производством и ресурсами предприятия. В единый процесс вовлекается множество проектирующих и машиностроительных предприятий с удаленным доступом к информации, прямой передачей информации от компьютера к машиностроительному оборудованию и т.д.

Интегрированная информационная среда представляет собой совокупность распределенных баз данных, в которой действуют единые, стандартные правила хранения, обновления, поиска и передачи информации, через которую осуществляется безбумажное информационное взаимодействие между всеми участниками жизненного цикла изделия. При этом однажды созданная информация хранится в интегрированной информационной среде, не дублируется, не требует каких-либо перекодировок в процессе обмена, сохраняет актуальность и целостность.

Целостность данных поддерживается в процессе управления конфигурацией проекта, а

также тем, что нельзя одновременно изменять один и тот же объект разным разработчикам, каждый из них должен работать со своей рабочей версией. Другими словами, необходимо обеспечение синхронизации изменения данных, разделяемых многими пользователями.

Для этого выполняется авторизация пользователей и разрабатываются средства ведения многих версий проекта. Во-первых, пользователи подразделяются на классы (администрация системы, руководство проектом и частями проекта, группы исполнителей-проектировщиков) и для каждого класса вводят определенные ограничения, связанные с доступом к разделяемым данным; во-вторых, доступ регламентируется по типам разделяемых данных. Данным могут присваиваться различные значения статуса, например, "правильно", "необходимо перевычисление", "утверждено в качестве окончательного решения" и т.п.

Концепция CALS реализуется в виде соответствующих *CALS-технологий* и определяет набор правил, регламентов, стандартов, взаимодействия участников процессов проектирования, производства, испытаний и т.д.

Назначение CALS-технологий – обеспечивать предоставление необходимой информации в нужное время, в нужном виде, в конкретном месте любому из участников жизненного цикла промышленных изделий.

Развитие CALS-технологий должно привести к появлению так называемых виртуальных производств, в которых процесс создания спецификаций с информацией для программно управляемого технологического оборудования, достаточной для изготовления изделия, может быть распределён во времени и пространстве между многими организационно-автономными проектными студиями. Среди несомненных достижений CALS-технологий следует отметить лёгкость распространения передовых проектных решений, возможность многократного воспроизведения частей проекта в новых разработках и др.

Для обеспечения информационной интеграции CALS использует стандарты IGES и STEP в качестве форматов данных. В CALS входят также стандарты электронного обмена данными, электронной технической документации и руководства для усовершенствования процессов. В последние годы работа по созданию национальных CALS-стандартов проводится в России под эгидой ФСТЭК РФ. С этой целью создан Технический Комитет ТК431 «CALS-технологии», силами которого разработан ряд стандартов серии ГОСТ Р ИСО 10303, являющихся аутентичными переводами соответствующих международных стандартов (STEP).

Стандарты информационной поддержки ЖЦИ.

Стандарты являются основным компонентом CALS. Стандарты CALS представляют собой набор стандартов, описывающих правила электронного представления данных об изделиях, среде и процессах и правила обмена этими данными.

Условно нормативные документы в области CALS можно разделить на три основные группы:

- стандарты, описывающие общие **принципы электронного обмена данными**, определяющие организационно-технические аспекты электронного взаимодействия;
- стандарты, регламентирующие **технологии обеспечения безопасности данных**, в частности, их шифрование в процессе обмена, применение электронной цифровой подписи для подтверждения их достоверности и т.д.;

- технические стандарты, определяющие форматы и модели данных, технологии представления данных, способы доступа и использования данных, описывающих изделия, процессы и среду, в которой протекает жизненный цикл изделия.

Направления стандартизации в CALS:

- применение для решения задач CALS уже существующих стандартов;
- разработка принципиально новых стандартов;

Классификация стандартов по месту разработки:

- стандарты Международной организации по стандартизации (ISO);
- военные стандарты и спецификации НАТО;
- национальные стандарты, в т.ч.:
- стандарты Министерства обороны США;
- стандарты Министерства обороны Великобритании;
- федеральные стандарты США;
- Международные спецификации Европейского авиационного консорциума (AECMA)

Представление информации о продукте:

ISO/IEC 10303 Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP)

Этот стандарт – один из первых в семействе специализированных CALS стандартов – является примером информационного стандарта нового поколения, по образу и подобию которого строятся последующие CALS-стандарты. STEP определяет “нейтральный” формат представления данных об изделии в виде информационной модели.

Данные об изделии включают в себя:

- состав и конфигурацию изделия;
- геометрические модели разных типов;
- административные данные;
- специальные данные.

Для обеспечения возможности единообразного описания изделий в различных прикладных областях предполагается, что информационные модели (в терминах стандарта “прикладные протоколы” или “протоколы применения”) создаются на базе типовых блоков (“интегрированных ресурсов”), причем для описания схем данных используется специально введенный язык Express.

Стандарт ISO 10303 состоит из 8 разделов, взаимно связанных между собой. Каждый раздел состоит из томов.

ISO 13584 Industrial Automation - Parts Library

Стандарт регламентирует:

- средства описания и технологию представления информации о компонентах и комплектующих;
- технологию обработки данных, в том числе хранения, передачи, доступа, изменения и архивирования;
- в отличие от стандарта ISO 10303 STEP, предназначенного для описания конкретного экземпляра продукции, стандарт ISO 13584 PLIB позволяет описывать классы продукции (компонентов и комплектующих);

- стандартные детали, определенные международными или национальными стандартами, например крепежные детали, уплотнения, подшипники;
- библиотеки (базы) данных о деталях конкретного поставщика.

Представление текстовой и графической информации:

- ISO/IEC 10179 Document Style Semantics and Specification Language (DSSSL);
- ISO/IEC IS 10744 Information Technology - Hypermedia/Time Based Document Structuring Language (HyTime);
- ISO/IEC 8632 Information Processing Systems - Computer Graphics – Metafile;
- ISO/IEC 10918 Coding of Digital Continuous Tone Still Picture Images (JPEG);
- ISO 11172 MPEG2 Motion Picture Experts Group (MPEG) Coding of Motion Pictures and associated Audio for Digital Storage Media;
- ISO/IEC 13522 Information Technology - Coding of Multimedia and Hypermedia Information (MHEG);
- ISO 8879 Information Processing - Text and Office System - Standard Generalised Markup Language (SGML).

С 1 сентября 2006 года в России введены в действие следующие нормативные документы:

- ГОСТ 2.051-2006 Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения;
- ГОСТ 2.052-2006 Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения;
- ГОСТ 2.053-2006 Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. Общие положения;
- ГОСТ 2.104-2006 Единая система конструкторской документации. Основные надписи;
- ГОСТ 2.610-2006 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов;
- ГОСТ 2.601-2006 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.

В настоящее время за рубежом разработано и считается перспективным семейство новых форматов для создания информационной интегральной среды, поддерживающей все этапы ЖЦИ **PLCS** (Product Life Cycle Support).

Технологии информационной поддержки ЖЦИ.

Основное содержание концепции CALS, принципиально отличающее ее от других, составляют инвариантные понятия, которые реализуются (полностью или частично) в течение жизненного цикла изделия (рис.5).

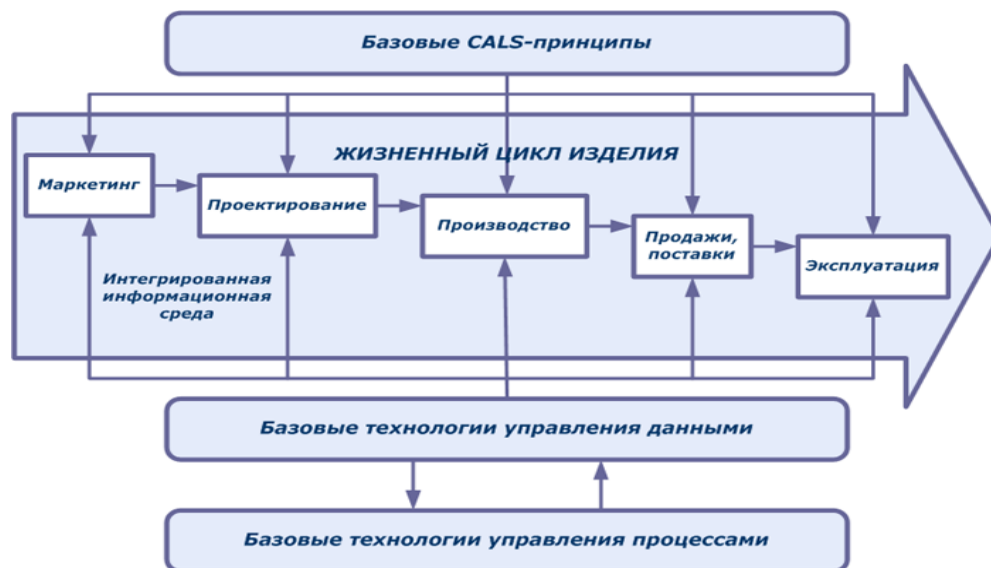


Рис.5. Концептуальная модель CALS

Эти инвариантные понятия условно делятся на три группы:

- базовые принципы CALS;
- базовые управленческие технологии;
- базовые технологии управления данными.

К числу первых относятся:

- системная информационная поддержка ЖЦ изделия на основе использования интегрированной информационной среды (ИИС), обеспечивающая минимизацию затрат в ходе ЖЦ;
- информационная интеграция за счет стандартизации информационного описания объектов управления;
- разделение программ и данных на основе стандартизации структур данных и интерфейсов доступа к ним, ориентация на готовые коммерческие программно-технические решения (Commercial Of The Shelf - COTS), соответствующие требованиям стандартов;
- безбумажное представление информации, использование электронно-цифровой подписи;
- параллельный инжиниринг (Concurrent Engineering);
- непрерывное совершенствование бизнес-процессов (Business Processes Reengineering).

К числу вторых относятся технологии управления процессами, инвариантные по отношению к объекту (продукции):

- управление проектами и заданиями (Project Management/Workflow Management);
- управление ресурсами (Manufacturing Resource Planning);
- управление качеством (Quality Management);
- интегрированная логистическая поддержка (Integrated Logistic Support).

К числу третьих относятся технологии управления данными об изделии, процессах, ресурсах и среде.

Базовые принципы CALS

Интегрированная информационная среда

Системная информационная поддержка и сопровождение ЖЦ изделия осуществляется в **интегрированной информационной среде (ИИС)**, которую можно определить как:

совокупность распределенных баз данных, содержащих сведения об изделиях, производственной среде, ресурсах и процессах предприятия, обеспечивающая корректность, актуальность, сохранность и доступность данных тем субъектам производственно-хозяйственной деятельности, участвующим в осуществлении ЖЦ изделия, кому это необходимо и разрешено. Все сведения (данные) в ИИС хранятся в виде информационных объектов.

ИИС, в соответствии с концепцией CALS, представляет собой модульную систему, в которой реализуются следующие базовые принципы CALS:

- прикладные программные средства отделены от данных;
- структуры данных и интерфейс доступа к ним стандартизованы;
- данные об изделии, процессах и ресурсах не дублируются, число ошибок в них минимизируется, обеспечивается полнота и целостность информации;
- прикладные средства работы с данными представляют собой, как правило, типовые коммерческие решения различных производителей, что обеспечивает возможность дальнейшего развития ИИС.

Безбумажное представление информации, применение электронно-цифровой подписи

Все процессы информационного обмена посредством ИИС имеют своей конечной целью максимально возможное исключение из деловой практики традиционных бумажных документов и переход к прямому безбумажному обмену данными. Преимущества и технико-экономическая эффективность такого перехода очевидны. Тем не менее, на переходном периоде нужно обеспечить сосуществование и совместное использование как *бумажной*, так и *электронной форм представления информации* и гармонизировать применяемые понятия.

Существующие стандарты, регламентирующие конструкторско-технологическую деятельность, такие как ЕСКД, ЕСТД, СРПП и им подобные, касаются только визуальной формы представления информации. Поэтому одной из первоочередных практических задач внедрения CALS является развитие стандартов ЕСКД и выработка новых стандартов и спецификаций, регламентирующих электронную форму представления и обращения данных.

Ключевым вопросом использования и обращения информации в электронной форме является вопрос ее авторизации, решаемый при помощи электронно-цифровой подписи (ЭЦП). Процедура ЭЦП основана на математических принципах так называемых "систем с открытым ключом".

В формировании подписи используется индивидуальное число (закрытый ключ) пользователя, которое порождается при помощи генератора случайных чисел и сохраняется пользователем в секрете все время его действия.

Для проверки подлинности цифровой подписи применяется другое число, так называемый "открытый ключ проверки цифровой подписи" (или кратко - "открытый ключ"), который по из-

вестному алгоритму вычисляется из индивидуального закрытого ключа и предоставляется всем, кому это необходимо для проверки подлинности цифровой подписи.

В соответствии с Законом Российской Федерации об использовании ЭЦП, последняя обеспечивает целостность и юридически доказательное подтверждение подлинности электронных данных. Она позволяет не только убедиться в достоверности данных, но и доказать это любой третьей стороне, в частности, в суде.

Параллельный инжиниринг

Принцип параллельного инжиниринга (concurrent engineering) предполагает выполнение процессов разработки и проектирования одновременно с моделированием процессов изготовления и эксплуатации. Сюда же относится одновременное проектирование различных компонентов сложного изделия. При параллельном инжиниринге многие проблемы, которые могут возникнуть на более поздних стадиях ЖЦ, выявляются и решаются на стадии проектирования. Такой подход позволяет улучшить качество изделия, сократить время его вывода на рынок, сократить затраты.

Отличиями параллельного инжиниринга (ПИ) от традиционного подхода к организации процессов инженерной деятельности являются:

- ликвидация традиционных барьеров между функциями отдельных специалистов и организаций путем создания, а при необходимости - последующего преобразования, многопрофильных рабочих групп, в том числе территориально распределенных;
- итеративность процесса приближения к необходимому результату.

Многопрофильные рабочие группы (МПГ), как следует из их названия, включают специалистов разного профиля и создаются для решения конкретных задач. Например, представители эксплуатанта, генерального разработчика и поставщика комплектующих изделий, т.е. специалисты из разных организаций, могут быть собраны в одну МПГ для решения проблемы, возникающей в ходе эксплуатации.

ПИ предполагает замену традиционного последовательного подхода комплексом перекрывающихся во времени операций, направленных на систематическое улучшение разрабатываемого решения вплоть до достижения необходимого результата.

Исходное понимание задачи ведет к первой версии документированных требований, на основе которых разрабатывается первоначальное проектное решение. Оно порождает новые вопросы и позволяет уточнить постановку задачи. Поскольку жесткое требование завершить текущую фазу работы перед началом следующей отсутствует, последовательное проектирование заменяется "работой по спирали".

Эффективная реализация такого подхода невозможна вне ИИС. Возможность применения принципов параллельного инжиниринга возникает благодаря тому, что в ИИС все результаты работы представлены в электронном виде, являются актуальным, доступны всем участникам и легко могут быть скорректированы.

Реинжиниринг бизнес-процессов

Концепция CALS предполагает последовательное, непрерывное изменение и совершенствование бизнес-процессов разработки, проектирования, производства и эксплуатации изделия. Для этого используется набор разнообразных методов, в т.ч.:

- реинжиниринг бизнес-процессов ((business process reengineering) - фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов предприятий для достижения резких, скачкообразных улучшений в основных актуальных показателях их деятельности: стоимость, качество, услуги и темпы). Реинжиниринг целесообразен, только в тех случаях, когда требуется достичь резкого (скачкообразного) улучшения показателей деятельности компании (500—1000% и более), путем замены старых методов управления новыми;
- бенчмаркинг ((benchmarking) – сопоставительная оценка конкурентоспособности);
- непрерывное улучшение процессов (continuous process improvement) и т.д.

Построению интегрированной системы информационной поддержки ЖЦ изделия должны предшествовать:

- анализ существующей ситуации;
- разработка комплекса функциональных моделей бизнес-процессов, описывающих текущее состояние среды, в которой реализуется ЖЦ изделия;
- выработка и сопоставление возможных альтернатив совершенствования как отдельных бизнес-процессов, так и системы в целом.

Результатами анализа являются:

- функциональные модели бизнес-процессов ЖЦ изделия "как есть сейчас";
- функциональные модели альтернативных вариантов усовершенствованных бизнес-процессов ЖЦ "как должно быть";
- оценка затрат и рисков для каждого варианта; - выбор предпочтительного варианта на основе взвешенного критерия минимума затрат и рисков;
- описание технической архитектуры ИИС для выбранного варианта;
- оценка технических характеристик ИИС для выбранного варианта;
- план действий по реализации выбранного варианта совершенствования бизнес-процессов ЖЦ и ИИС.

Общая методика изменения бизнес-процессов в связи с внедрением CALS-технологий на предприятии включает в себя следующие этапы:

- Мотивация необходимости изменений.
- Разработка плана изменений и его утверждение руководством. Создание организационной структуры (рабочей группы CALS), которая будет реализовывать разработанный план. На первых этапах эту структуру должен возглавлять руководитель организации.
- Обучение членов группы CALS и другого персонала, причастного к проведению изменений.
- Определение промежуточных (тактических) целей и способов оценки результатов (определение метрик).
- Разработка рабочих планов для всех участников группы CALS.
- Создание временных многофункциональных рабочих групп для решения тактических задач.
- Реализация планов.
- Оценка достигнутых результатов.

Базовые технологии управления данными

Управление проектами и заданиями

В современной литературе и практике проектом принято называть совокупность действий, направленных на достижение поставленной производственной или коммерческой цели и связанных с использованием и расходом ресурсов различного типа.

Примером проекта является выполнение контракта на поставку изделия, предполагающего выполнение целого ряда задач.

Другим примером проекта может служить решение отдельной сложной задачи, такой как разработка комплекта документации или ввод изделия в эксплуатацию.

Технология управления проектами не зависит от содержания проектов, что позволяет рассматривать ее как базовую (инвариантную) технологию.

Термин Project Management (PM) обозначает класс управленческих задач, связанных с планированием, организацией и управлением действиями, направленными на достижение поставленных целей при заданных ограничениях на использование ресурсов.

Типовыми задачами PM являются:

- разработка планов выполнения проекта, в том числе разработка структурной декомпозиции работ проекта и сетевых графиков;
- расчет и оптимизация календарных планов с учетом ограничений на ресурсы; - разработка графиков потребности проекта в ресурсах;
- отслеживание хода выполнения работ и сравнение текущего состояния с исходным планом;
- формирование управленческих решений, связанных с воздействием на процесс или с корректировкой планов;
- формирование различных отчетных документов.

Действия, приводящие к выполнению проекта и потребность в которых выявляется в ходе его планирования, могут представлять собой типовые бизнес-процессы (закупка комплектующих, разработка документации, производство и т.д.). Такие бизнес-процессы часто выполняются по заранее определенным формальным схемам (моделям), фактически определяющим технологию их выполнения. В ходе выполнения проекта исполнители (организации или сотрудники), действуя в соответствии с заданной технологией (моделью процесса), получают и выполняют задания, соответствующие структурным элементам бизнес-процесса (операциям).

Автоматизация управления потоком таких заданий есть функция другой базовой технологии управления - технологии "workflow" (поток работ).

Управление ресурсами

Понятия MRP II (Manufacturing Resource Planning) и ERP (Enterprise Resource Planning) в настоящее время являются общепринятыми обозначениями комплекса задач управления финансово-хозяйственной деятельностью предприятия. Автоматизированные системы, построенные на этих принципах, широко применяются не только в производстве, но и для управления проектной деятельностью (конструкторские бюро), коммерцией, эксплуатацией сложной техники (авиакомпаниями). Это позволяет рассматривать принципы и стандарты MRP/ERP как базовую технологию управления ресурсами при решении различных задач.

В соответствии с [ISO /IEC 2382-24:1995] системы класса MRP должны выполнять функции, перечисленные в табл.1.

Управление финансовыми ресурсами (Financial Management)	Расчет потребностей в материалах (Materials Requirement Planning)
Управление персоналом (Human Resources)	Прогнозирование объема реализации и продаж (Forecasting)
Ведения портфеля заказов (Customer Orders)	Оперативно-производственное планирование (Finite Scheduling)
Управление запасами (Inventory Management)	Оперативное управление производством (Production Activity Control)
Управление складами (Warehouse Management)	Управление техническим обслуживанием оборудования (Equipment Maintenance)
Управление закупками (Purchasing)	Расчет себестоимости продукции и затрат (Cost Accounting)
Управление продажами (Sales)	Управление транспортировкой готовой продукции (Transportation)
Объемное планирование (Master Production Scheduling)	Управление сервисным обслуживанием (Service)

Для выполнения перечисленных в таблице функций MRP/ERP-системы используют информацию, содержащуюся в ИИС, и помещают в нее результаты своей работы для использования данных на последующих стадиях ЖЦИ.

Управление качеством

Обеспечение требуемого качества продукции является одной из целей реализации концепции CALS, поэтому управление качеством (в терминах стандартов серии ИСО 9000 система менеджмента качества - СМК) следует отнести к базовым технологиям управления.

Управление качеством в широком смысле необходимо понимать как управление процессами, направленное на обеспечение качества их результатов. Такой подход соответствует идеям всеобщего управления качеством (Total Quality Management), суть которых как раз и заключается в управлении предприятием через управление качеством.

В контексте концепции CALS методы и технологии управления качеством приобретают новое развитие. Применение ИИС обеспечивает информационную поддержку и интеграцию процессов, а соответственно и возможность использования электронных данных, созданных в ходе различных процессов предприятия, для задач управления качеством.

Укрупненная структура СМК показана на рис. 6. В этой структуре показаны связи с объектом управления (процессами предприятия или ЖЦ продукции), а также с внешней по отношению к рассматриваемой системе средой, каковую в данном случае представляет "обобщенный" потребитель, чьи требования и степень удовлетворенности являются внешними данными.

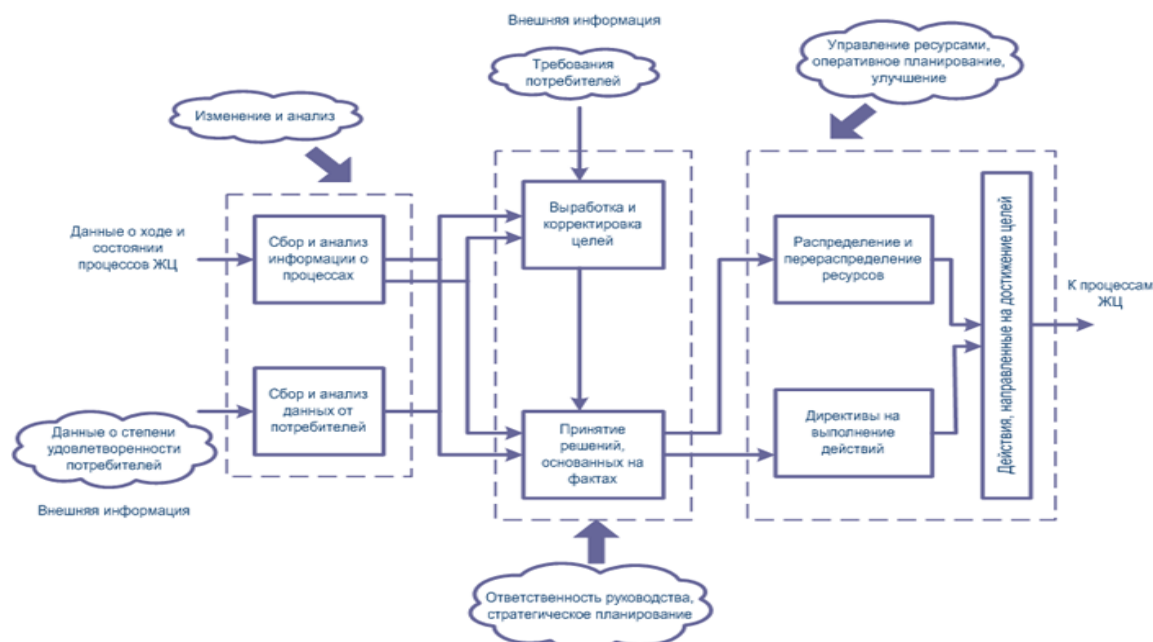


Рис.6. Укрупненная структура СМК

Присутствующие в структуре блоки выработки и корректировки целей и принятия решений вместе эквивалентны тому, что в терминах стандарта ИСО 9000:2000 называется ответственностью руководства и планированием (в данном контексте - стратегическим).

Блоки сбора и анализа данных отражают процессы, именуемые в стандарте как "Измерение и анализ".

Группа блоков, связанных с реализацией решений (распределение и перераспределение ресурсов, директивы на выполнение действий и сами действия, направленные на достижение целей), отражает все то, что в стандарте называют "управлением ресурсами", планированием (в этом контексте - оперативным) и, наконец, "улучшением".

Технологии управления данными об изделии, процессах, ресурсах и среде

Разработка и подготовка производства сложной, высокотехнологичной продукции - групповой процесс, в который вовлечены десятки и сотни специалистов предприятия или даже группы предприятий. В процессе разработки изделия возникает ряд проблем, влияющих на общий успех. Это в первую очередь отсутствие возможности видеть ключевые ресурсы, вовлеченные в процесс разработки, в их фактическом состоянии на данный момент времени, это организация совместной работы коллектива специалистов с привлечением компаний, поставляющих какие-либо компоненты для разрабатываемого изделия.

Существенно сократить сроки подготовки производства можно только одним способом - за счет параллельного выполнения работ и тесного взаимодействия всех участников процесса. Эту задачу можно решить за счет создания единого информационного пространства (ЕИП) предприятия, другими словами, единого пространства цифровых данных о корпоративной продукции.

Преимущества применения CALS-технологий

Анализ информационных материалов, как опубликованных в традиционной печати, так и в сети Интернет, позволил выявить ряд основных аспектов, определяющих эффективность приме-

нения CALS-технологий. К их числу относятся:

1. Централизованное, масштабируемое место хранения информации и передачи данных, изолированное от окружающей IT-среды.
2. Гибкое, масштабируемое цифровое информационное пространство предприятия, не связанное на географическое расположение сотрудников.
3. Возможность объединить данные от разнообразного программного обеспечения, используемого на предприятии, и управления ими.
4. Многократное, повторное использование уже имеющихся наработок при разработке изделия.
5. Управление доступом к данным.
6. Высокоэффективные средства представления информации в визуальном виде.
7. Развитые средства документооборота и протоколирования.
8. В случае использования механизма цифровой подписи или ее аналога возможно безбумажная технология работы.
9. Тесная интеграция с офисными пакетами приложений.
10. Интеграция с научным программным обеспечением (MATLAB, Simulink и т.п.).
11. Интеграция с расчетными системами, возможность управления ходом расчетов непосредственно из среды PDM-системы.
13. Непосредственное участие в обмене актуальной информацией не только технического персонала, но и менеджеров среднего звена и верхнего уровня.
14. Взаимодействие с поставщиками комплектующих в едином информационном пространстве предприятия.

Применение CALS-технологий позволяет предприятию получить следующие выгоды:

- сокращение затрат и трудоемкости процессов технической подготовки и освоения производства новых изделий;
- сокращение календарных сроков вывода новых конкурентоспособных изделий на рынок;
- сокращение доли брака и затрат, связанных с внесением изменений в конструкцию;
- увеличение объемов продаж изделий, снабженных электронной технической документацией (в частности, эксплуатационной), в соответствии с требованиями международных стандартов;
- сокращение затрат на эксплуатацию, обслуживание и ремонты изделий, которые для сложной наукоемкой продукции подчас равны или превышают затраты на ее закупку.

Создание типовых АРМов на предприятии

С точки зрения жизненного цикла изделия научно-техническую деятельность предприятия можно разделить на традиционные этапы или направления: конструкторская и технологическая подготовка производства, нормирование, планирование производства и собственно производство. В соответствии с этими направлениями до сих пор рассматривались и средства автоматиза-

ции: САПР конструктора, САПР технолога, автоматизированное рабочее место (АРМ) расцеховщика, АРМ нормировщика и т.д. Однако современный уровень развития систем автоматизированного проектирования и технической подготовки производства позволяет взглянуть на эту проблему по-новому.

Основная задача любого предприятия — скорейший выпуск качественной и востребованной продукции, поэтому в основу его научно-технической деятельности ложится именно производство.

Исходя из этого принципа, можно выделить всего два этапа научно-технической деятельности предприятия:

- подготовка производства и накопление данных о ней;
- использование накопленной информации для планирования, управления и контроля за ходом производства.

Подразделения, задействованные на этих этапах, должны объединяться единым информационным пространством, которое обеспечит согласованность действий и оперативное внесение изменений как в конструкцию и состав, так и в технологию изготовления изделия или в производственный план.

На *первом этапе* в рамках единого информационного пространства обеспечивается формирование дизайна и состава изделия (разработка трехмерной модели, оформление рабочей документации, конструкторских спецификаций и ведомостей), описываются возможные способы его изготовления (варианты технологических маршрутов, способы формообразования и т.д.) и необходимые для производства ресурсы (трудоемкость изготовления, требуемые инструменты, материалы, комплектующие). Иными словами, создается описание того, что именно будет производить предприятие, как и с помощью чего.

Второй этап — это собственно выполнение программы. К сожалению, в действительности он не всегда строго и полностью ей соответствует: отсутствие необходимых материалов/сортамента, технологические и конструктивные особенности производства и продукции требуют внесения оперативных изменений уже в ходе производства. На этом же этапе формируется статистическая информация, которая в дальнейшем служит исходным материалом для анализа и внесения изменений в производственные планы, технологии и конструкции.

Поэтому после проведения реинжиниринга, т.е. реорганизация всей бизнес-деятельности на предприятии (анализа всех бизнес-процессов на предприятии и создания бизнес-модели "КАК ЕСТЬ", с последующей оптимизацией всех процессов на предприятии и созданием бизнес-модели "КАК БУДЕТ"), принимается решение о начале проведения комплексной автоматизации предприятия.

Первым делом при начале проведения комплексной автоматизации предприятия создаются типовые автоматизированные рабочие места для каждой категории специалистов, работающих на предприятии.

Определение Автоматизированных рабочих мест

Автоматизированное рабочее место (АРМ) — это рабочее место специалиста в предметной области, оборудованное компьютером и специальным программным обеспечением, помогающее решать задачи в рамках деятельности этого специалиста или другими словами это программно-

технический комплекс, предназначенный для автоматизации деятельности определенного вида (например, АРМ бухгалтера, АРМ конструктора, АРМ технолога и т.п.).

Принципы создания любых АРМ должны быть общими:

- **Системность** - согласно принципу системности, АРМ следует рассматривать как системы, структура которых определяется функциональным назначением;

- **Гибкость** - данный принцип означает приспособленность системы к возможным перестройкам, благодаря модульности построения всех подсистем и стандартизации их элементов.

- **Устойчивость** - данный принцип заключается в том, что система АРМ должна выполнять основные функции независимо от воздействия на нее внутренних и внешних возмущающих факторов. Это значит, что неполадки в отдельных ее частях должны быть легко устраняемы, а работоспособность системы быстро восстанавливаема.

- **Эффективность** - согласно данному принципу эффективность использования АРМ следует рассматривать как интегральный показатель всех уровней реализации приведенных выше принципов, по отношению к затратам на создание и эксплуатацию системы.

Функционирование АРМ может дать желаемый эффект при условии правильного распределения функций и нагрузки между человеком и машинными средствами обработки информации, ядром которой является компьютер.

Создание такого "гибридного" интеллекта в настоящее время является проблемой. Однако реализация этого подхода при разработке и функционировании АРМ может принести ощутимые результаты - АРМ станет средством повышения не только производительности труда и эффективности управления, но и социальной комфортности специалистов. При этом человек в системе АРМ должен оставаться ведущим звеном.

АРМ могут быть: индивидуальными, групповыми, коллективными. Применительно к групповым и коллективным АРМ в целях эффективного функционирования системы ЭВМ - специалистам (коллективу) необходимо ужесточить требования к организации работы АРМ и четко определить функции администрирования в такой системе. Система АРМ, являющаяся человеком-машиной, должна быть открытой, гибкой, приспособленной к постоянному развитию и совершенствованию. В такой системе должны быть обеспечены:

- максимальная приближенность специалистов к машинным средствам обработки информации;
- работа в диалоговом режиме;
- оснащение АРМ в соответствии с требованиями эргономики;
- высокая производительность компьютера;
- максимальная автоматизация рутинных процессов;
- моральная удовлетворенность специалистов условиями труда, стимулирующая их творческую активность, в частности, в дальнейшем развитии системы;
- возможность самообучения специалистов.

Задачи, решаемые на АРМ, условно можно разделить:

Информационные - к таким задачам относятся кодирование, классификация, сбор, структурная организация, корректировка, хранение, поиск и выдача информации. Часто информацион-

ные задачи включают несложные вычислительные и логические процедуры арифметического и текстового характера и отношения (связи). Информационные задачи являются, как правило, наиболее трудоемкими и занимают большую часть рабочего времени специалистов.

Вычислительные - эти задачи являются как формализуемыми, так и не полностью формализуемыми. Формализуемые задачи решаются на базе формальных алгоритмов и делятся на две группы: задачи прямого счета и задачи на основе математических моделей. Задачи прямого счета решаются с помощью простейших алгоритмов. Для более сложных задач требуется применять различные математические модели.

В последнее время большое внимание выделяется разработке средств решения не полностью формализуемых задач, называемых семантическими. Такие задачи возникают очень часто в ходе оперативного управления экономическими объектами, особенно при принятии решений в условиях неполной информации.

Структура типового Автоматизированного рабочего места

Автоматизированное рабочее место (АРМ), представляет собой место пользователя-специалиста той или иной профессии, оборудованное средствами, необходимыми для автоматизации выполнения им определенных функций, поэтому структура любого типового АРМ представляет собой программно-аппаратный комплекс.

При этом первостепенную роль в этом комплексе играет программная составляющая, которая будет предъявлять определенные требования по техническим характеристикам (в основном по производительности) к аппаратной составляющей комплекса. Программное обеспечение состоит из системного программного обеспечения и прикладного.

Основой системного обеспечения является операционная система. Системные программы обеспечивают рациональную технологию обработки информации. Так называемые сервисные программы, которыми АРМ комплектуется в зависимости от потребности в них, расширяют возможности операционной системы.

Прикладное программное обеспечение составляют программы пользователей и пакеты прикладных программ разного назначения. Стандартные программы пользователей представляют собой программные решения определенных задач. Почти все прикладное программное обеспечение выполнено по модульному принципу и ориентированы на решение определенного класса задач. Прикладное программное обеспечение является основным видом пользовательского программного обеспечения. Оно в основном и позволяет автоматизировать деятельность определенного специалиста.

Примерами прикладного программного обеспечения являются:

- программы для формирования различных документов с выполнением расчетных операций;
- программы выполнения бухгалтерских задач;
- программы для создания автоматизированных информационных систем, которые могут иметь различное назначение: справочные, для обработки таблиц, ведения массивов информации, создания и ведения баз данных, документальные;
- графические CAD-системы;

- расчетные САЕ-системы;
- и многие другие программы.

При этом прикладное программное обеспечение может быть как покупным, т.е. сторонних производителей программного обеспечения, или может быть собственными разработками. Следует отметить, что разработка программного обеспечения - это процесс очень сложный, дорогостоящий и доступный специалистам высокой квалификации.

Техническое обеспечение представляет собой комплекс технических аппаратных средств, основой которого служит профессиональный персональный компьютер, предусматривающий работу специалиста без посредников (программистов, операторов и др.). У групповых АРМ таким компьютером могут пользоваться несколько человек. В комплект типового персонального компьютера входит системный блок (состоящий из материнской платы, процессора, оперативной памяти, постоянных накопителей информации, видео-контроллера, аудио - контроллера, сетевого - контроллера), монитор, клавиатура, мышка, при необходимости периферийные устройства (сканеры, принтеры).

К комплексу технических средств следует отнести и средства коммуникаций, локальная компьютерная информационная сеть (Intranet) для связи различных АРМ между собой, а также средства телефонной связи.

Так как АРМы предназначены для автоматизации мест пользователей-специалистов всех проектных и офисных профессий, прежде всего, необходимо выбрать базовое прикладное программное обеспечение для каждой наиболее значимой профессии.

С философской точки зрения компьютерная программа – это заложенные в нее знания разработчиков, многократно усиленные скоростью процессоров вычислительной техники. Конечно, многое зависит и от реализации, но все-таки идея – главное в программном продукте. Фактически разработчики продают свои идеи, знания и опыт, призванные помогать пользователям в их повседневной работе.

АРМ-конструктора

Подсчитано, что за предыдущее десятилетие более 200 тыс. конструкторов-машиностроителей коренным образом изменили свои подходы к процессу проектирования, перейдя от двумерных САПР к трехмерным, реализующим идею генерации компьютерных моделей с твердотельными свойствами.

Растущая конкуренция и необходимость сокращения сроков проектирования привели к тому, что это движение, вначале напоминавшее тонкий ручеек, превратилось в мощный поток. Сегодня твердотельные технологии стали, в принципе, доступными практически каждому инженеру. В процессе внедрения и перехода на твердотельное моделирование перед конструкторами и их руководителями возникают вопросы: подходит ли, может ли улучшить технологический процесс в организации и эффективен ли переход на твердотельное моделирование с экономической точки зрения?

Пять главных причин перехода на твердотельное моделирование:

1. Лучшее визуальное представление изделия.
2. Автоматизированное получение рабочих чертежей.

3. Легкость внесения изменений в проект.
4. Интеграция с другими приложениями (расчетными, базами данных и т.п.).
5. Сокращение сроков проектирования.

Программное обеспечение автоматизированного рабочего места конструктора-проектировщика

Базовыми программными продуктами АРМ конструктора-проектировщика являются:

- 1) Операционная система Microsoft (Windows XP, Windows Vista, Windows 7);
- 2) Пакет офисных программ Microsoft Office XP - для ведения электронного-документооборота; переписки по электронной почте; выходу в международную сеть Internet, а так же в локальную сеть Intranet; выполнения табличных расчетов; ведения простых баз данных; планирования процессов; построения диаграмм и схем; подготовки презентаций.
- 3) Связка двух графических систем:
 - 3.1) CAD-система 2D-проектирования.
 - 3.2) CAD-система 3D-проектирования.
- 4) Система нормативно-справочной информации (НСИ) предприятия - содержащая набор взаимосвязанных справочников, классификаторов, словарей и нормативных документов поддерживающих основную деятельность предприятия.
- 5) Система единых справочников стандартных изделий предприятия.
- 6) PDM-система предприятия - информационная система предприятия, в которой работают все основные службы машиностроительного предприятия (конструкторы, технологи, нормировщики, планово-экономические и производственно-диспетчерские службы, службы материально-технического снабжения, цеховых диспетчеров и технологов, мастеров, службы главного механика и т.д.), обеспечивающие выпуск продукции.

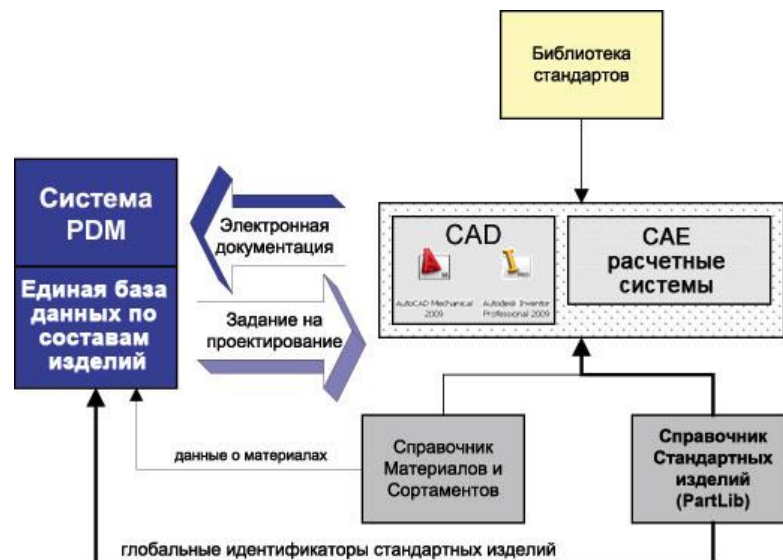


Рис. 4. Схема программного обеспечения АРМ-конструктора

Цель использования вышеуказанного программного обеспечения - заключается в создании программного инструментария на рабочем месте конструктора. Конструктор заинтересован в мак-

симально полной и эффективной автоматизации своей работы, в доступе к подробной и актуальной информации.

Использование этих программных продуктов дает возможность конструктор-проектировщику реализовать следующие функции:

- обеспечить стандартную системную среду для работы в компьютерной информационной сети проектной организации;
- использовать базовый графический файловый формат, а также ссылочную технологию интеграции интеллектуальных объектов — элементов трехмерных моделей, созданных различными программными приложениями в едином комплексном проекте;
- создать основу для коллективной одновременной работы проектировщиков, выполняющих различные разделы проектной документации комплексного проекта в целях сокращения времени проектирования.

Техническое (аппаратное) обеспечение автоматизированного рабочего места конструктора-проектировщика

Минимальные технические параметры компьютеров для автоматизированного рабочего места конструктора-проектировщика:

- Процессор:
 - Intel Pentium 4 с тактовой частотой 2 ГГц и выше либо более старшая модель
 - AMD Athlon 64 с тактовой частотой 2 ГГц и выше либо более старшая модель
 - AMD Opteron с тактовой частотой 2 ГГц и выше либо более старшая модель
- Не менее 2 Гб оперативной памяти
- Графический адаптер со 512 Мб памяти или больше, поддерживающий Direct3D 9, Direct3D 10 или OpenGL
- Не менее 5 Гб свободного места на диске (для установки).
- Устройство чтения DVD.
- MS-совместимое устройство указания.
- TFT-монитор не менее 19" диагональ.
- Разрешение экрана 1280x1024.
- Подключение к компьютерной информационной сети (КИС) предприятия.

АРМ инженера-расчетчика

Мощный программный пакет инженерного анализа должен стать дополнением на рабочем месте конструктора-проектировщика (лидер в этой области - ANSYS Design Simulation). Моделирование с помощью такого программного пакета позволяет понять поведение детали или сборки при эксплуатации, а также получить ответы на вопросы, возникающие при проектировании:

- выдержит ли изделие заданные эксплуатационные нагрузки;
- не превысят ли деформации при нагружении допустимые значения;
- каким будет значение собственных колебаний;

- каким будет распределение температур и термических напряжений;
- какая форма является оптимальной для данной детали.

Программное обеспечение автоматизированного рабочего места инженера-расчетчика

Базовыми программными продуктами АРМ инженера-расчетчика являются:

- 1) Операционная система Microsoft (Windows XP, Windows Vista, Windows 7);
- 2) Пакет офисных программ Microsoft Office XP - для ведения электронного-документооборота; переписки по электронной почте; выходу в международную сеть Internet, а так же в локальную сеть Intranet; выполнения табличных расчетов; ведения простых баз данных; планирования процессов; построения диаграмм и схем; подготовки презентаций.
- 3) Связка графической системы Autodesk Inventor с расчетной системой ANSYS Workbench:
 - 3.1) CAD-система 3D-проектирования.
 - 3.2) CAE-система расчетов (ANSYS Workbench) - система конечно-элементного анализа, решающая задачи в различных областях инженерной деятельности (прочность конструкций, термодинамика, механика жидкостей и газов, электромагнетизм), включая связанные многодисциплинарные задачи (термопрочность, магнитоупругость и т.п).
- 4) Система нормативно-справочной информации (НСИ) предприятия - содержащая набор взаимосвязанных справочников, классификаторов, словарей и нормативных документов поддерживающих основную деятельность предприятия.
- 5) PDM-система предприятия - единая информационная система предприятия, в которой работают все основные службы машиностроительного предприятия (конструкторские, технологи, нормировщики, планово-экономические и производственно-диспетчерские службы, службы материально-технического снабжения, цеховых диспетчеров и технологов, мастеров, службы главного механика и т.д.), обеспечивающие выпуск продукции.

Схема программного обеспечения АРМ инженера-расчетчика приведена на рис.4.

Использование этих программных продуктов дает возможность инженеру-расчетчику реализовать следующие функции:

- обеспечить стандартную системную среду для работы в компьютерной информационной сети проектной организации;
- использовать базовую система конечно-элементного анализа, сертифицированную Госатомнадзором России и международными стандартами ISO 9000,1;
- создать основу для коллективной одновременной работы проектировщиков, выполняющих различные разделы проектной документации комплексного проекта в целях сокращения времени проектирования.

Техническое (аппаратное) обеспечение автоматизированного рабочего места инженера-расчетчика

Минимальные технические параметры компьютеров для автоматизированного рабочего места конструктора-проектировщика:

- Процессор Intel® Pentium® 4 с тактовой частотой 2 ГГц или выше, Intel® Xeon™, Intel® Core™, AMD Athlon™ 64, AMD Opteron™, или более новый.

- Не менее 2 Гб оперативной памяти
- Графический адаптер уровня рабочих станций САПР, поддерживающий OpenGL 1.1.
- Привод DVD-ROM.
- Устройство указания, совместимое с Microsoft Mouse.
- TFT-монитор не менее 19" диагональ с разрешением 1280 x 1024 или выше
- Подключение к компьютерной информационной сети (КИС) предприятия

Электронные структура, модель и макет изделия

(http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=230CALS/cals021.mod/?cou=Default/110_CALS.cou)

К числу CALS-стандартов относятся стандарты, посвященные электронной структуре изделий и описывающие требования к электронной модели и электронному макету изделия.

ГОСТ 2.052-2006 устанавливает общие требования к выполнению электронных моделей изделий (деталей, сборочных единиц) машиностроения и приборостроения.

ГОСТ 2.001-93 устанавливает две равноправные формы представления конструкторской документации — бумажную и электронную.

Электронная структура изделия (ЭСИ) в соответствии с ГОСТ 2.053-2006 — электронный **конструкторский документ**, содержащий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта и иерархические отношения между его составными частями и некоторые другие данные в зависимости от назначения изделия. Содержательную часть ЭСИ обычно представляют в виде текста на языке Express и визуально в форме многоуровневого списка или в виде графа, вершины которого соответствуют составным частям изделия (сборочным единицам, комплексам, комплектам, деталям), а ребра определяют связи между составными частями.

Различают функциональную, конструктивную, производственно-технологическую, физическую, эксплуатационную и совмещенную разновидности ЭСИ.

В функциональной ЭСИ описывают назначение и функции изделия и его частей. Конструктивная ЭСИ предназначена для отображения конкретных технических решений, определяющих конструкцию комплексов, сборочных единиц и комплектов. Производственно-технологическая ЭСИ служит для отображения особенностей технологии изготовления и сборки изделия. Физическая ЭСИ соответствует одному конкретному экземпляру изделия и сопровождает изделие в процессе его эксплуатации. В эксплуатационной ЭСИ отображают информацию о тех частях изделия, которые подлежат обслуживанию и/или замене в ходе эксплуатации. Совмещенная ЭСИ включает в себя отдельные разновидности ЭСИ.

Под **электронной моделью изделия (ЭМИ)** в стандарте ГОСТ 2.052-2006 понимается набор данных, которые определяют свойства, необходимые для изготовления, контроля, приемки, сборки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия.

Стандарт ГОСТ 2.052 устанавливает общие требования к выполнению ЭМИ в машиностроении и приборостроении. Электронные модели используются для интерпретации данных в автоматизированных системах; для визуального отображения конструкций изделий в процессе выполнения проектных работ, производственных и иных операций; для изготовления чертежной конструкторской документации в электронной и/или бумажной форме.

Составная часть большинства ЭМИ — электронная геометрическая модель, описывающая форму, размеры и иные свойства изделия, зависящие от его формы и размеров. При разработке ЭМИ рекомендуется использовать твердотельные, поверхностные или каркасные геометрические модели. При этом под твердотельной моделью понимается трехмерная геометрическая модель, представляющая форму изделия как результат композиции заданного множества геометрических элементов с помощью операций булевой алгебры. Поверхностная модель представляет форму изделия в виде множества поверхностей, ограничивающих в пространстве тело изделия. Каркасная модель представляет форму изделия в виде композиции точек, отрезков и кривых, задающих в пространстве ограничивающие поверхности.

(Материал из Википедии — свободной энциклопедии)

Цифровой макет — совокупность электронных документов, описывающих изделие, его создание и обслуживание. Содержит электронные чертежи и/или трёхмерные модели изделия и его компонент, чертежи и/или модели необходимой оснастки для изготовления компонент изделия, различную атрибутивную информацию по компонентам (номенклатура, веса, длины, особые параметры), технические требования, директивные документы, техническую, эксплуатационную и иную документацию.

Состав цифрового макета

- Система управления документами — один или несколько программных комплексов, организующих документы цифрового макета в единое целое и управляющая их жизненным циклом. В настоящее время в качестве системы управления используются системы [PDM](#) или [PLM](#).
- Система управления составом изделия — даёт возможность создавать абстрактную структуру изделия, не имеющую жёсткой связи с файлами [САПР](#)-систем, что позволяет легко изменять состав изделия в зависимости от конфигурационных вариантов или целевого исполнения. При наличии системы управления составом изделия возможно применять один и тот же цифровой макет для выпуска и обслуживания всех модификаций и исполнений изделия.
- Система управления жизненным циклом документов — включает в себя средства коллективной работы по просмотру, верификации и утверждению новых документов и по внесению изменений в ранее утверждённые документы. При использовании [электронной подписи](#) или принятого на предприятии её аналога возможна разработка и эксплуатация изделия по полностью безбумажной технологии.
- Система управления жизненным циклом изделия — является набором средств и настроек для представления цифрового макета на различных этапах создания и существования изделия: конструировании, производстве, обслуживании и утилизации.
- Трёхмерная модель — совокупность файлов одной или нескольких [САПР](#)-систем, представляющих объёмные модели частей и компонент изделия. Взаимное и абсолютное позиционирование в небольших изделиях может управляться [САПР](#)-системой, для больших проектов управление позиционированием осуществляется [PDM](#)-системой.

- Облегчённая трёхмерная модель — модель, полученная при помощи [фасеточной аппроксимации](#) модели из исходной [САПР](#). Применяется для просмотра и анализа модели изделия средствами системы управления документами без использования [САПР](#). Также, из-за меньшего объёма и простоты требует гораздо меньше машинных ресурсов для своего отображения. Наиболее употребимыми форматами облегчённого представления являются [JT](#) и [CGR](#).
- Атрибутивные данные — данные, характеризующие и описывающие элементы цифрового макета. Например, для разработанной на данном предприятии детали атрибутивными данными будут: имя и отдел разработчика, материал, вес, набор и значения контролируемых параметров. Для стандартных изделий: обозначение [ГОСТа](#), типоразмер. Для покупных изделий: наименование поставщика, номенклатура поставщика, список альтернатив.
- Технологические данные — данные, содержащие необходимые указания для производства: используемые инструменты, материалы, технологии, средства контроля и так далее. Результаты расчётов различных средств [CAE](#).
- Производственные данные — данные по организации производства: проектирование и изготовление оснастки, технологические процессы, библиотеки операций и переходов. Программы для станков [ЧПУ](#). Результаты моделирования средствами [CAM](#).
- Документация — всевозможные документы, так или иначе связанные с изделием. Например, директивные документы, изменяющие этапы жизненного цикла элементов цифрового макета. Эксплуатационная и ремонтная документация, связанная как с изделием в целом, так и с отдельными деталями и узлами изделия.

Электронный макет (ЭМК) является разновидностью ЭМИ, предназначен для описания внешней формы и размеров макетируемого изделия, позволяет полностью или частично оценить его взаимодействие с элементами внешнего окружения. Особенностью электронного макета является его использование на проектных стадиях жизненного цикла изделия, он не предназначен для изготовления по нему изделия, т.е. обычно макет не содержит данных для изготовления и сборки. Поэтому электронный макет имеет упрощения, соответствующие его назначению. Благодаря электронному макету вместо большого числа громоздких "бумажных" книг применяют интерактивные электронные технические руководства — компактный справочный материал, снабженный к тому же удобным и оперативным поисковым аппаратом.

Конструкторский документ (КД) — документ, который в отдельности или в совокупности с другими документами определяет конструкцию изделия и имеет содержательную и реквизитную части, в том числе установленные подписи.

К КД отнесены графические, текстовые, аудиовизуальные (мультимедийные) и иные документы, содержащие информацию об изделии, необходимую для его разработки, изготовления, контроля, приемки, эксплуатации, ремонта (модернизации) и утилизации.

Реквизит документа — элемент оформления документа, содержащий сведения о нем. Подпись — реквизит документа, представляющий собой собственноручную роспись полномочного должностного лица, а для электронных документов — аналог собственноручной росписи — электронная цифровая подпись по ГОСТ 34.310. Перечень реквизитов устанавливается ГОСТ 2.104.

В 2006 г. введен ГОСТ 2.052-200* "ЕСКД. Электронные модели изделия. Общие положения", в соответствии с которым электронная модель изделия — набор данных, которые вместе определяют свойства, необходимые для изготовления, контроля, приемки, сборки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия. Электронная геометрическая модель — математическая модель, описывающая форму, размеры и иные свойства изделия, зависящие от его формы и размеров.

Различают электронные модели детали, сборочной единицы и электронную структуру изделия. Понятие электронной модели изделия используется как обобщающее понятие для электронной модели детали и электронной модели сборочной единицы. Электронная структура изделия (ЭСИ) — конструкторский документ, содержащий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта, иерархические отношения (связи) между составными частями и другие данные в зависимости от его назначения. ЭСИ выполняется только в электронной форме. Для сборочных единиц, комплексов и комплектов ЭСИ является основным конструкторским документом.

Одной из форм выполнения эксплуатационных документов (преимущественно различных руководств и каталогов) является интерактивный электронный документ.

Виды, комплектность и форму выполнения КД устанавливает разработчик, если иное не оговорено в техническом задании.

Виртуальная модель – новый взгляд на процесс проектирования

Совместное использование всех цифровых данных, в среде CAD/CAE/CAM по создаваемому изделию, при проектировании в рамках единого информационного пространства позволяет говорить об использовании нового объекта – виртуального прототипа. Оптимизация виртуального прототипа с точки зрения предъявляемых технических требований обуславливает получение оптимальной для реальных условий эксплуатации конструкции изделия. Использование виртуальной модели меняет саму идеологию проектирования, заменив движение реальной конструкции по этапам процесса проектирования на движение цифрового виртуального прототипа.

Виртуальная модель изделия позволяет:

- Оработать правильную концепцию.
- Всем службам, участвующим в процессе конструирования, одновременно, повышая достоверность виртуальной цифровой модели изделия, контролировать характеристики системы и проверять работоспособность своих подсистем.
- Оценивать функциональность проектируемого изделия.
- Анализировать эксплуатационные и экстремальные режимы работы системы задолго до появления натурного прототипа.
- Вести поиск оптимума через многокритериальность.

Виртуальный прототип это:

- 80% решенных проблем проектирования к первому натурному прототипу и 95% ко второму.
- Получение информации об объекте, начиная с первых проектных шагов задолго до изготовления прототипа.
- Комплексное моделирование и оптимизация характеристик конструкции на всех этапах жизненного цикла изделия.

- Новый взгляд на технологические задачи производства.
- Движение вперед на пути к сокращению сроков проектирования, минимизации затрат и получению новых функциональных возможностей создаваемых конструкций.

Связь с клиентами и поставщиками, по поддержке ЖЦИ, может осуществляться в трех основных вариантах. Первый, основан на средствах электронной почты. Тогда технические задания, чертежи и проекты, последовательно передаются в среде Internet. В этом случае программа автоматически собирает весь проект в один самораспаковывающийся архив, включая все чертежи внешних ссылок и далее до используемых шрифтов. Этот компактный архив после пересылки разворачивает на другом компьютере аналогичную структуру папок и раскладывает в них все чертежи проекта. Для соблюдения конфиденциальности информации используется встроенная в процедуру защита паролем.

Для согласования проектных данных по второму варианту, заказчик и клиент в режиме реального времени могут вдвоем одновременно редактировать один проект. При этом достаточно иметь лицензионный программный продукт только у одного пользователя. Второй, удаленный экран, является реальной копией экрана первого пользователя. В процессе согласования проекта возможен обмен речевой информацией между пользователями по мультимедийным каналам, включая видеоинформацию.

Третий вариант, предусматривает работу с сайтом. В этом варианте пользователи обмениваются графической информацией через указанный сайт. На сайте есть специализированные средства поддержки параллельного проекта, включая резервирование для каждого зарегистрированного пользователя 20 Мб дискового пространства.

Другой особенностью является то, что все программы создаются в соответствии с принципами CALS- технологии. Тогда для поддержки всего жизненного цикла таких программ создаются сайты по всему миру, которые объединяются в единую структуру - универсальный горизонтальный портал. На этом портале ведется непрерывная поддержка программ от времени создания (опрос пользователей и маркетинг), тестирования бета версий, выпуск и распространение «сервисных пакетов» - программ исправления графических систем по найденным в процессе эксплуатации ошибкам, до цикла своеобразной их утилизации – Upgrade. На последнем цикле у пользователя изымается старая программа и поставляется новая версия продукта.

Цифровая модель изделия (на примере CATIA)

Процесс совершенствования конструкторского автоматизированного проектирования сложных изделий привел к возникновению прогрессивного метода информационной поддержки создания изделия, идеи полного цифрового описания изделия, включая цифровой макет и цифровую модель изделия (например, ведущий, мировой вендор промышленности САПР компания Dassault Systemes реализует данную идеологию в собственной системе CATIA, начиная с версии V4).

Основной сложностью на пути создания полной цифровой модели изделия является необходимость выполнения, как минимум, двух противоречащих друг другу требований:

1. Насыщение моделей все большим количеством составляющих, таких как расчетные схемы, правила, проверки, конфигурационные, межмодельные, внутримодельные и остальные свя-

зи, виртуальные объекты (горючее, воздух и пр.), познания и пр. В результате модели, и без того “тяжелые” по собственному составу, станут еще “тяжелее”.

2. Поддержание полной информационной целостности и ассоциативности цифровой модели изделия.

Одновременное выполнение только этих двух требований потребовало бы от автоматизированных систем проектирования предыдущего поколения таковых вычислительных мощностей, которые не представляется возможным обеспечить ни на данный момент, ни в обозримом будущем.

На сегодняшний день появилась новая парадигма проектирования, имеющая принципиальные отличия от традиционного подхода.

Обычный подход: работа с отдельными файлами, содержащими всю геометрическую информацию, определяющую модель (3D, 2D и др.); отсутствие структурных компонентов для определения сборки; для системы управления данными достаточно распознавать связи между CAD-моделями.

Новейший подход (CATIA V5): работа в контексте всей сборки, но без необходимости полной загрузки сборки; ассоциативность и знания распространяются по всем стадиям проектирования, но на каждой стадии модель содержит лишь информацию, нужную на данной стадии. Полная ассоциативность всей модели реализуется при помощи особых ссылок; для управления данными нужны связи, как между геометрическими опциями, так и между данными приложений, а именно, требуется поддержка всего многообразия связей системы.

Помимо этого от современной системы автоматизированного проектирования требуется возможность реализации, по крайней мере, последующих двух основополагающих принципов.

1. Проект всего изделия либо его части нужен не только на шагах проектирования, конструирования и технологической подготовки производства, но и на всех других этапах жизненного цикла изделия. Помимо результирующей геометрии, с историей создания и управляющими параметрами, в состав электронного проекта включены последующие категории информационных ресурсов, относящихся к изделию: теоретические базы изделия (расчетные схемы с формулами, уравнениями, законами, сценариями инженерных действий и др.); инженерные и административные правила и автоматические процедуры контроля их выполнения; автоматически выполняемые задания на выполнение замеров, анализов, отчетов и остальных задач, необходимых для принятия решений, как со стороны программы, так и со стороны пользователя; специальные формы представления проекта, адаптированные для определенных потребителей (производственного исполнителя, проверяющей организации и т. д.); развитая атрибутивная информация об изделии и каждом его компоненте (физические, технологические, многофункциональные и остальные характеристики, ассоциативно связанные с геометрической и структурной информацией); оптимизационные исследования обеспечивающие требуемую глубину проработки проекта по данному набору критериев; системные описания, анализы и анимации процессов жизненного цикла; представления всех вероятных состояний изделия на протяжении жизненного цикла (заготовка – серия механических операций – состояние поступления на сборку – состояние в момент выполнения функций – ...) без дублирования данных.

2. Проект изделия должен быть пригоден для накопления интеллектуального капитала на базе результатов выполненных работ. Должен быть реализован механизм “извлечения” знания, с помощью которого был получен определенный итог, и оформление этого знания в качестве быстро воспроизводимого корпоративного эталона. В состав полученного знания могут входить любые виды информации об изделии, его связях и критериях его использования, а также любые ссылки на нормы, правила и ранее зафиксированные знания. Благодаря этому преимуществу обеспечиваются такие экономические характеристики деятельности предприятия, как, “Удельная себестоимость проектно-конструкторских работ” и динамика ее понижения (от проекта к проекту либо из года в год). Кроме этого, улучшается внедрение интеллектуальных ресурсов компании и существенно снижаются требования к квалификации персонала в случае внедрения уже существующего способа.

Для реализации преимуществ новой парадигмы, требуется соответствующая информационная поддержка со стороны систем управления данными о продукции (PDM) и называемых также в зависимости от производителя и заявленных функций VPDM, CPD, CPC, cPDm и др.

Например, не считая CAD/CAM/CAE в систему CATIA V5 (V6) входят, PDM-системы ENOVIA VPLM и ENOVIA SMARTEAM, система моделирования технологических действий DELMIA и целый ряд решений партнеров по разработке. Основополагающие механизмы ядра системы: связанное проектирование (Relational Design); проектирование в контексте (Design in Context); параллельное проектирование (Concurrent Engineering); управление знаниями (Knowledge Management).

Связанное проектирование

Одним из решений, составляющих основу современного автоматизированного проектирования, является связанное проектирование Relational Design (RD). RD обеспечивает параллельное, разделенное по стадиям проектирование с сохранением полной ассоциативности всей модели на всех стадиях с внедрением и накоплением познаний. RD является одним из главных устройств, позволяющих работать с большими многокомпонентными сборками и создавать полные цифровые модели таких сложных изделий, как, например, судно, самолет, кар и др.

Проектирование в контексте

Проектирование в контексте позволяет конструктору найти контекст (свита), нужное для проектирования нужной на этот момент части изделия, независимо от того, как сложна и велика структура всего изделия. При этом, контекст содержит лишь те элементы, которые влияют на проектируемую часть, к примеру: контактирующие части или сборки; результаты анализа взаимовлияний; скелетоны изделия; варианты конфигураций.

Параллельное проектирование

Параллельное проектирование – это способ, при котором разные участники процесса проектирования могут как раз параллельно выполнять работы с одним и тем же сектором изделия, что существенно ускоряет весь процесс. Необходимо подчеркнуть то, что в традиционном проектировании подобные работы выполняются последовательно. Реализуются следующие важные технологии проектирования сложных изделий:

1. проектирование “сверху вниз”, создание конфигурируемой структуры изделия до выполнения конструирования компонентов изделия в CAD-системе;
2. конструирование на основе “скелетонов”;

3. параллельное опережающее проектирование, другими словами создание моделей компонентов изделия до завершения первичного определения структуры изделия;
4. проектирование в контексте сборки;
5. управление конфигурациями и вариантами;
6. проектирование в конфигурированном контексте сборки;
7. построение разных представлений структуры изделия и его составляющих и управление ими;
8. формирование пакетов работ “на лету” при разработке модели изделия (другой способ создания структуры модели изделия, позволяющий распараллеливать выполнение работ);
9. совместная работа разных групп пользователей: определение ролей и возможностей, создание специализированной среды и дифференцированное оснащение рабочих мест для разных категорий пользователей, определение порядка взаимодействия пользователей;
10. создание и работа с “виртуальными сборками”, сборками, не имеющими настоящего эквивалента в составе изделия. Эта возможность обеспечивается при помощи механизма определения и использования фильтрации по разным аспектам, к примеру, по занимаемому размеру. Механизм “виртуальных сборок” позволяет конструктору работать в любом нужном ему контексте, извлекая контекст из сборок любого уровня трудности, включая полную цифровую модель изделия. После сохранения результатов работы с виртуальной сборкой настоящая модель остается в целостном и непротиворечивом (консистентном) состоянии;
11. проведение конфигураций как в рамках традиционного описания бизнес-процессов (**workflow**), так и методом проектирования “на лету” пакетов связанных работ по выполнению конфигураций при помощи механизма **Action Flow**;
12. анализ влияния конфигураций на другие компоненты изделия;
13. проведение анализа столкновений, зазоров и т. д.;
14. внедрение шаблонов;
15. управление познаниями;
16. построение и сопровождение цифровой модели изделия, ведение состава изделия;
17. совместная работа в коллективной среде компании.

Для обеспечения взаимодействия и совместной работы на предприятии, начиная с самых ранних шагов проектирования, PDM-система предоставляет место для совместной работы – взаимосвязанную среду, в которой все участники жизненного цикла изделия (конструкторы, рекламщики, сотрудники отдела продаж, производственники, поставщики, заказчики и др.) имеют строго авторизованный доступ к данным других участников проекта. Используя специальные инструменты, PDM-система позволяет хранить познания и информацию о изделиях и их компонентах и управлять ими, проводить надлежащие инженерные расчеты, моделирование и планирование на всем протяжении процесса разработки изделия. PDM-система позволяет управлять сборками, включая все реляционные связи, находящиеся в хранилище. Когда какая-либо деталь или сборка меняется, PDM-система описывает и визуально представляет взаимосвязанные составляющие и процессы в дереве либо графе структуры. PDM-система обеспечивает отслеживание этих конфигураций и указывает конструкторам составляющие, связанные с изменяемым объектом, а также

автоматически инициирует особые рабочие потоки, отслеживающие конфигурации. Большинство PLM-систем, включая PDM, поддерживают работу с предварительно запланированными потоками бизнес-процессов (workflow), к примеру для выполнения инженерных изменений либо выпуска информации об изделии. В отличие от других систем, благодаря применению технологии Relational Design в PDM-системе можно автоматически либо вручную инициировать особые рабочие потоки, которые обеспечивают определение и анализ каскадных взаимодействий конфигураций. Эта функциональная возможность (Action Flow) помогает проектировщикам оптимизировать проект как можно ранее, когда издержки на конфигурации еще невелики. При этом не возникает задержек, к которым нередко приводит использование средств workflow, в особенности на ранних стадиях разработки, когда число конфигураций велико.

PDM-система может управлять структурой изделия, а также всеми межмодельными и внутримодельными связями. Система позволяет как раз осуществлять редактирование любой композиции моделей без необходимости загрузки полной сборки, что также является более эффективным способом работы в системе. Надо сказать то, что при этом обеспечивается упругость и масштабируемость при работе на любом уровне сборки либо изделия в целом. Имеется возможность загружать лишь те модели, которые относятся к необходимому контексту, конфигурации либо варианту изделия. Благодаря этому резко увеличивается продуктивность работы конструктора, минимизируется время загрузки деталей в CAD, облегчается работа при проведении конфигураций. Механизм “виртуальных сборок” позволяет конструктору работать в любом нужном ему контексте, извлекая контекст из сборок любого уровня трудности, включая полную цифровую модель изделия. После сохранения результатов работы с виртуальной сборкой, реальная модель остается в целостном и непротиворечивом состоянии.

Аддитивные технологии. Аддитивное производство

«Аддитивные технологии» (Additive manufacturing), или AF-технологии (AF - от Additive Fabrication) - термин, которым в мировой практике обозначается применение 3D-печати в промышленности, что означает изготовление изделия путем добавления. Суть аддитивного производства — в сложении, а не вычитании, в таком способе создания детали сложной формы, когда материал наносится последовательно, как правило, слой за слоем, поэтому расходуется его столько, сколько необходимо, не больше и не меньше. Программное обеспечение 3D-принтера делит трехмерную компьютерную модель на слои одинаковой толщины, после чего принтер создаёт прототип, путём последовательного нанесения одного слоя модельного материала за другим.

Аддитивные технологии отличаются друг от друга выбором материалов и способа их нанесения, однако во всех случаях создание модели основывается на послойном наращивании. Предполагается, что готовая деталь не нуждается в традиционной механической обработке. Так что аддитивное производство — это еще один способ изготовления деталей и предметов из разных материалов наряду с литьем, прокатом, штамповкой и резкой.

Расходными материалами может послужить пластик, бетон, гипс, деревянное волокно, поликарбонат, металл и даже живые клетки и шоколад. Способов нанесения существует два: струйный и лазерный. К струйному способу относятся такие технологии, как моделирование методом наплавления (Fused deposition modeling) и Polyjet, а к лазерному – послойное ламинирование (Laminated object manufacturing), селективное лазерное плавление (Selective laser melting), селективное лазерное спекание (Selective laser sintering), лазерная наплавка металла (Laser metal deposition) и лазерная стереолитография (Laser stereolithography).

Считается, что аддитивные технологии впервые были разработаны и применены более 20 лет назад компанией Stratasys (США), которая и по сей день продолжает оставаться лидером в области 3D-печати и АФ.

Мировыми лидерами в области аддитивных технологий являются Соединенные Штаты Америки, Германия, Китай, Япония. Кроме того, в 22 странах уже созданы национальные ассоциации по аддитивным технологиям, объединенные в альянс GARPA. Например, корпорация "Боинг" благодаря 3D-печати изготавливает более 22 тысяч деталей 300 наименований для 10 марок коммерческих и военных самолетов. Американское космическое ведомство NASA объявило об успешном испытании на огнеупорность инжектора ракетного двигателя, изготовленного с помощью селективного лазерного плавления. Немецкий концерн Siemens заявил о переходе с традиционных методов производства деталей для горелок газовых турбин на технологию селективного лазерного плавления. В Китае прошли первые испытания истребителя с несущей конструкцией, напечатанной из порошка титана. А компания Southern Fan представила крупнейший в мире 3D-принтер (28 метров в длину, 23 метра в ширину и 9,5 метра в высоту), способный производить металлические компоненты с максимальным диаметром до 6 метров и весом до 300 тонн. Изделия планируется применять в ядерной, нефтехимической, металлургической отрасли. Компания Local Motors с помощью 3D-печати изготовила первый пригодный для поездок автомобиль под названием Strati. Этот двухместный электрокар официально представили публике в сентябре 2014 года в Чикаго. Strati состоит всего из 49 деталей, включая напечатанный на 3D-принтере корпус, в то время как типичный промышленный автомобиль имеет в своем составе несколько тысяч деталей. Печать автомобиля из термопластика, усиленного углеродными волокнами, с помощью лазерной системы заняла примерно 44 часа. Автомобиль способен разогнаться до скорости 40 миль в час и проезжать на одной зарядке до 120 миль.

В России используют и внедряют аддитивные технологии считанное количество промышленных компаний и исследовательских центров. За последние 15 лет в России был выдан 131 патент по различным аспектам аддитивного производства (0,14% от мирового количества), причем 14 из них получили российские заявители, а 117 — иностранные. Для сравнения: Южная Корея, США, Япония и Китай совместно владеют 90% патентов в этой сфере. В институте ВИАМ впервые в России изготовили по аддитивной технологии с применением отечественной металлопорошковой композиции так называемый завихритель - деталь перспективного авиационного двигателя. Цикл изготовления 60 изделий методом селективного лазерного сплавления составляет 5-6 дней, что в 10 раз меньше, чем при традиционной технологии литья, которая требует 59 дней! Аддитивным путем выращенный завихритель уже внесен в конструкторскую документацию и пошел в производство.

АФ-технологии имеют много преимуществ по сравнению с традиционными технологиями. Инновационные АФ позволяют вырастить "деталь в детали", деталь - с переменными по толщине свойствами материала; сетчатые конструкции, которые не получить литьем или механообработкой. Используя бионические принципы, можно спроектировать и изготовить, например, эндопротез пустотелой кости. Один из существенных плюсов АФ - возможность моментальной передачи цифровых моделей в любую точку мира и организации в кратчайшие сроки локального производства в любых масштабах. При использовании АФ экономия сырья может достигать 75 процентов! Ведь технологический процесс выстроен не по принципу "беру камень и отсекаю от него лишнее" (Микеланджело), а наоборот: "не беру ничего лишнего" и выращиваю так, как творит природа тот или иной живой объект.

Далеко не все экономически целесообразно делать с помощью аддитивного производства, но есть очевидная ниша — это штучное и мелкосерийное производство уникальных деталей из дорогих материалов и в тех случаях, когда стоимость станочной обработки высока. На самом деле это очень большая ниша, начиная от ремонта и восстановления деталей сложных агрегатов и ин-

дивидуальных протезов до создания уникальных деталей сложной конфигурации.

Сегодня в России сформировалась задача по созданию новой отрасли промышленности – отрасли аддитивных технологий и определения направления ее развития. Во всех развитых странах происходит бум аддитивных технологий. Мировой рынок данных технологий с 2010 по 2014 год достиг более 3 млрд долларов, прирастая ежегодно более чем на 27%. В ближайшие 20 лет цифровое производство сменит некоторые виды массового, особенно с высокой конечной стоимостью продукции. Необходимо “оседлать эту тенденцию”, объединить усилия специалистов по созданию национальной концепции цифрового производства, в том числе программных кодов, технологического оборудования, а также единых подходов и стандартов, позволяющих обеспечить сквозной цикл проектирования и производства перспективной наукоемкой продукции [9]. Один из важнейших вопросов, который необходимо решать оперативно, - обеспечение новой отрасли кадрами.

На сегодняшний день рынок установок для аддитивного производства делится на три сегмента. Первый сегмент состоит из дешевых 3D-принтеров для офисов, ориентированных на изготовление концептуальных макетов. Второй сегмент - оборудование средней стоимости для создания прототипов деталей с различной степенью точности и/или функциональности. Дешевые и средние по стоимости установки обычно работают с полимерным материалом. Третий сегмент — установки высокого класса, которые стоят от двухсот тысяч до двух миллионов долларов. Они работают с полимерами, металлическими и керамическими порошками, с их помощью можно делать вполне крупно- габаритные детали. Ведущие изготовители установок — американские компании 3D Systems и ExOne, израильская Stratasys, шведская Arcam, а также немецкие EOS и Voxxjet.

Аддитивное производство полного цикла, включает в себя разработку порошковых композиций, 3D-моделей, конструирование поддержек технологий синтеза (мощность лазера, стратегию лазерного сканирования, скорость и шаг сканирования). Сегодня в России закупают и используют порошки сплавов зарубежного производства, поставляемые фирмами – производителями установок. При этом имеется острая потребность в металлических порошках отечественных сплавов. Серийного производства порошковых материалов для данных технологий в России нет. Потребность существующего парка установок для аддитивного производства в РФ в порошковых материалах составляет примерно 20 тонн в год.

Изначально термина «3D-печать» не существовало, и инновационные технологии назывались «быстрое прототипирование». Создание прототипов изделия является наиболее распространенным применением 3D-печати. Модели реальных размеров помогают оценить функциональность и исключить возможность различных ошибок перед серийным производством изделия.

Применение аддитивных технологий в различных отраслях машиностроения обеспечивает:

- изготовление сложнопрофильных и уникальных деталей без использования механических обрабатывающих станков и дорогостоящей оснастки;
- повышение рентабельности производства малой серии и эксклюзивных вариантов;
- устранение влияния "человеческого" фактора при изготовлении деталей: построение детали проводится в полностью автоматическом режиме;
- снижение веса деталей за счет уменьшения толщины стенок, элементов, создания сотовых и иных структур (т.н. бионического дизайна);
- возможность создания комплексных, интегрированных деталей за один технологический цикл;
- отсутствие в деталях литейных дефектов и напряжений;

- управление физико-механическими свойствами создаваемого изделия.

Быстрое прототипирование и 3D печать

Быстрое прототипирование (RP - Rapid Prototyping), сокр. БП — технология быстрого «макетирования», быстрого создания опытных образцов или работающей модели системы для демонстрации заказчику или проверки возможности реализации.

3D печать - это создание физических объектов на 3D принтере. Печать производится на основе цифровой 3D модели, по принципу послойного выращивания. Существуют различные технологии и материалы печати, но все они работают по общей схеме – слой за слоем создают объект

3d прототипирование широко используется в таких областях как:

- машиностроение
- электронная промышленность
- электротехническая промышленность
- медицина
- ювелирное дело
- архитектурное моделирование

С помощью технологий быстрого прототипирования изделий можно провести моделирование деталей любой сложности, прямо по данным из CAD программ. Сама 3D-печать занимает считанные часы. Это позволяет сократить время в проектировании готовых изделий.

Преимущества быстрого прототипирования

- Значительное повышение гибкости производства
- Быстрое и эффективное распространение дизайнерских идей
- Эффективную проверку соответствия, формы и функциональности конструкции
- Повышение конкурентоспособности производства
- Снижение себестоимости продукции, особенно для мелкосерийного производства
- Сокращение сроков выхода на рынок новой продукции
- Возможность проведения оперативных испытаний свойств изделий для разработки новых материалов и получения новых свойств продукции
- Интеграция компьютерных технологий и систем САПР

Технологии 3D печати

Основное различие технологий заключается в методах построения слоев. Лазерная стереолитография (Laser Stereolithography, SLA), Селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering, SLS) и Моделирование методом наплавления (Fused Deposition Modeling, FDM) самые распространенные технологии 3D печати. SLS и FDM используют плавление или размягчение материала для производства слоев.

Лазерная стереолитография (SLA) - объект формируется из специального жидкого фотополимера, затвердевающего под действием лазерного излучения (или излучения ртутных ламп).

Селективное лазерное спекание (SLS) - технология заключается в послойном спекании лазерным излучением порошкового материала.

Моделирование методом наплавления (FDM) - объект формируется путем послойной укладки расплавленной нити из плавкого рабочего материала (пластик, металл, воск). Рабочий

материал слоями попадает на платформу, которая после завершения одного слоя, опускается для нанесения следующего.

Используемые материалы

Различные технологии прототипирования выбираются в зависимости от поставленной задачи и ее сложности, а, следовательно, и различные материалы для будущих моделей. Так как все проекты уникальны, то перед 3D-печатью необходимо проводить подробный анализ, и определить оптимальный по времени и стоимости способ выращивания модели.

- **ABS (пластик)** - подходит для большинства проектов. Самый распространённый материал, чтобы проверить будущий дизайн, оценить размеры, создать образец для презентации или для фокус группы. Можно печатать различными цветами - слоновая кость, белый, черный, красный, синий, зеленый, желтый, оранжевый, серый
- **Гипс (керамика)** - больше всего подходит для архитектурных проектов, дизайна интерьеров, макетов зданий, проектирования районов. Так же используется для создания моделей для выставок и презентаций. Цветная 3D-печать позволяет делать наглядные модели, не требующие дальнейшей окраски.
- **Фотополимеры** - используется для точных размеров, проверки функционала, оценки механических свойств. Физические свойства фотополимеров известны заранее, поэтому можно подобрать свойства будущего изделия, и проводить испытания до начала производства.



Пример использования стереолитографических моделей

Назначение БП

- Для оценки эргономики, визуализации, дизайна изделия
- Для функциональной оценки изделия (проверка качества сборочных изделий, аэродинамических характеристик, практичности)
- Использование в качестве модели для дальнейшего применения в производстве (в качестве литейной формы, электроэрозионного инструмента и др.)

Недостатки технологий БП

- Относительно высокая цена установок и расходных материалов.
- Невысокая точность
- Относительно низкая прочность моделей

С течением времени недостатки постепенно устраняются — снижаются цены, увеличивается выбор технологий и материалов.

Специальные области применения БП

- инженерный анализ

- визуализация потоков
- медицина

Лазерная стереолитография (SLA)

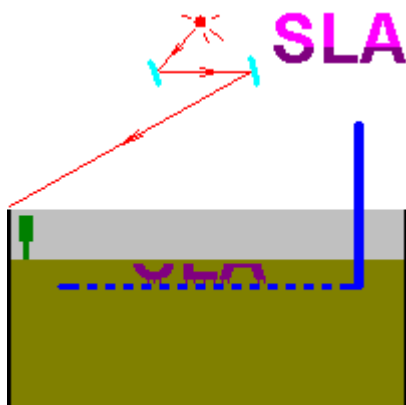
Наиболее точной аддитивной технологией считается стереолитография – метод поэтапного послойного отверждения жидкого фотополимера лазером. SLA принтеры используются преимущественно для изготовления прототипов, макетов и дизайнерских компонентов повышенной точности с высоким уровнем детализации.



В английской литературе обычно именуется кратко — SLA (сокращенно от Stereolithography). Этот метод стоит немного особняком от других, так как использует в качестве «строительного материала» не порошки, а фотополимеры в жидком состоянии.

Фотополимер — это вещество, изменяющее свои свойства под воздействием света, обычно ультрафиолетового. Т.е. в обычном состоянии (кстати говоря, не обязательно жидком) они хрупкие и податливые, а при попадании под УФ-излучение электромагнитного диапазона приобретают прочность. Продолжительность облучения и длина волны не может быть произвольной. Она рассчитывается в зависимости от конкретного материала, размеров объекта и условий окружающей среды. Под конкретные нужды подбирают различные источники излучения — лампы — дневного света, ртутные, аргонные, импульсные, ксеноновые, светодиодные и т.д.

В емкость с жидким фотополимером помещается сетчатая платформа, на ней будет происходить выращивание прототипа. Изначально платформа находится на такой глубине, чтобы ее покрывал тончайший слой полимера толщиной от 0.05 до 0.15мм — это и есть приблизительная толщина слоя в стереолитографии. Далее включается лазер, который воздействует на те участки полимера, которые соответствуют стенкам целевого объекта, вызывая их затвердевание. После этого вся платформа погружается чуть глубже, на величину, равную толщине слоя. Также в этот момент специальная щетка орошает участки, которые могли остаться сухими вследствие некоторого поверхностного натяжения жидкости.



По завершению построения объект погружают в ванну со специальными составами для удаления излишков и очистки. И, наконец, финальное облучение светом для окончательного отвердевания. Как и многие другие методы 3D-прототипирования, SLA требует возведения поддерживающих структур, которые вручную удаляются по завершении строительства.

Необходимо понимать, что из-за выборочного отвердевания накладываются жесткие двусторонние ограничения на компоненты и технологию процесса. Например, чем гуще смола изначально, тем легче её перевести в полимерное состояние, но и тем хуже её гидромеханические качества. Чем мощнее введенный в смолу фотоинициатор, тем меньше время нужно слабому лазеру для засветки, но и тем меньше время жизни у всего объема смолы, так как он подвержен фоновой засветке. Именно золотая середина в технологии и компонентах является «ноу-хау» каждого производителя лазерных стереолитографов. Устройство и принцип действия таких машин у всех производителей идентичны, поэтому в любой SLA-машине возможно применение любого расходного материала после соответствующей настройки.

Моделирование методом наплавления (FDM)

Принцип построения

3D модель в формате STL передаётся в программное обеспечение 3d-принтера. Программа автоматически (или оператор вручную) располагает модель в виртуальном пространстве рабочей камеры. Затем, программа автоматически генерирует элементы поддерживающих конструкций и проводит расчет расходных материалов, а так же времени выращивания прототипа. Перед запуском процесса трехмерной печати трехмерная модель автоматически разделяется на горизонтальные слои и производится расчёт путей перемещения печатающей головки. Затем запускается непосредственно сам процесс печати: нагревающая головка с фильерами расплавляет тонкую пластиковую нить (леску), и послойно укладывает ее согласно данным математической 3D-модели.

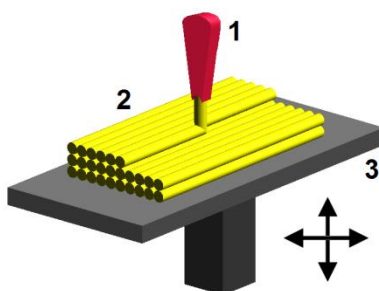
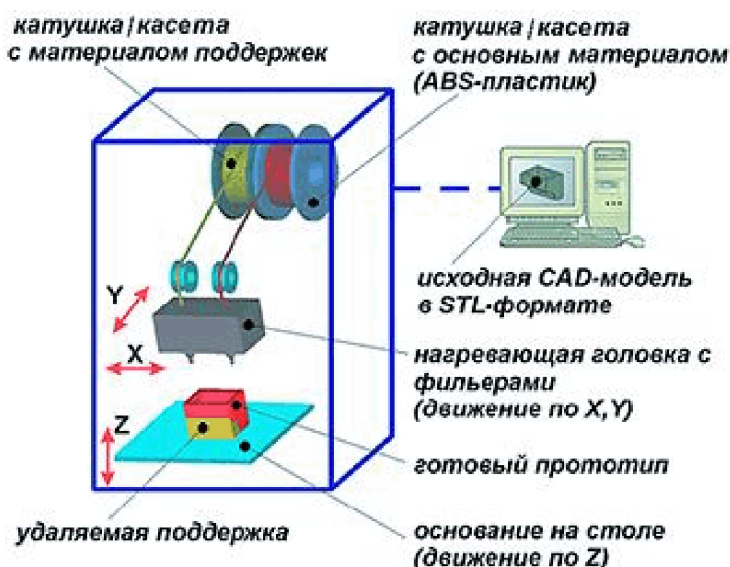


Схема работы FDM-принтера



Материалы

ABSPlus - высокопрочный промышленный термопластик

ABS-M30 - высокопрочный промышленный пластик

ABS-M30i - биосовместимый высокопрочный промышленный пластик

ABSi - биосовместимый, прозрачный пластик

ABS-ESD7 - антистатический пластик

PC - высокопрочный поликарбонат

PC-ABS - высокопрочный поликарбонат

PC-ISO - биосовместимый высокопрочный поликарбонат

ULTEM 9085 - огнестойкий высокотехнологичный термопластик

PPSF/PPSU - химико- и теплостойкий высокотехнологичный термопластик

Свойства прототипа

Детали, получаемые по технологии FDM – одноцветные, прочные и упругие.

Цвет

Стандартный цвет пластика ABSPlus - белый. Однако, этот вид пластика так же доступен еще в 8 цветах: слоновая кость, черный, красный, оливковый зеленый, нектарин, флуоресцентный желтый, синий, серый.

Точность

Точность построения моделей составляет от 0,127 мм до 0,254 мм. Поверхность слегка ребристая (ступенчатая) (в пределах 0,5 мм). Ребристость обусловлена тем, что расплавленная нить ABSPlus имеет округлую форму.

Последующая обработка

- Удаление материала поддержки
 - BST - материал поддержки выполнен из красноватого пластика и отделяется методом "отламывания". Процедура требует аккуратности и существенных усилий.
 - SST - детали отделяются от поддержки в подогреваемой щелочной ванне (поставляется в комплекте с машиной).
- Обработка прототипа после печати
 - Выращенная поверхность будет немного ребристой в силу большой толщины нити.
 - Обрабатывать изделия потребуется только в тех случаях, когда требуется идеально гладкая поверхность.
- Дополнительные возможности
 - Прототипы легко красятся обычной краской или автоэмалью.
 - Прототипы можно сверлить, полировать или шлифовать.
 - Части моделей легко склеиваются между собой любым клеем для пластика.

Лучшее использование

Технология FDM – готовое решение для печати прототипов или готовых деталей средних и больших размеров, с простой или средней сложностью поверхности (не подойдет для маленьких моделей со сложной поверхностью, ювелирных изделий). Основным достоинством метода является достаточная дешевизна модели, хорошие механические свойства (если необходимы работа-

ющие прототипы сложных механизмов), стабильность геометрических размеров, возможность последующей доработки (склейка, покраска). Из недостатков можно выделить только невысокое качество построений мелких элементов, зависимость прочности от направления слоев, также метод не совсем подходит для мастер-модели при изготовлении силиконовых форм.

Несмотря на то, что первой технологией аддитивного производства, примененной для создания металлических трехмерных прототипов, стал метод экструзионного послойного наплавления (FDM), наибольшую популярность при производстве металлических деталей завоевали технологии лазерного и электронно-лучевого спекания и плавки.

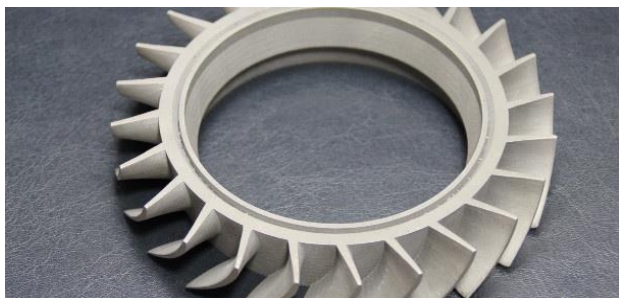
Технологии лазерного спекания и лазерной плавки (SLS, DMLS и SLM)

В основе метода «выборочного лазерного спекания» (SLS или Selective Laser Sintering) лежит использование лазерных излучателей высокой мощности (как правило, углекислотных) для частичного сплавления, или «спекания», расходного материала в единое целое. Перед использованием расходный материал измельчается до консистенции пудры с помощью шаровых мельниц. Минимальный размер частиц может достигать двух микрон.

Уже доказано, что металлические изделия, напечатанные на 3D-принтерах, по своим свойствам – плотности, остаточному напряжению, механическому поведению, неравновесной микроструктуре, кристаллографической текстуре – в лучшую сторону отличаются от изделий, созданных литейным и другими деформируемыми методами.

Схема устройства для селективного лазерного спекания

В качестве материала могут использоваться различные полимеры и, что особенно интересно, металлы и металлические сплавы с высокой температурой плавления. В отличие от стандартной экструзионной печати (FDM), технология позволяет спекать однородный материал без связующих добавок. Таким образом, нет необходимости в термической обработке, фактически спеканию, готовых моделей после печати, а сами модели обладают высокой прочностью, приближающейся к показателям литых образцов. Данный метод постройки металлических моделей без применения связующих материалов получил название «прямого лазерного спекания металлов» ([DMLS или Direct Metal Laser Sintering](#)).



Образец металлической детали турбины, созданной с помощью устройства 3D System ProX 200 методом прямого лазерного спекания

Как и другие технологии 3D-печати, лазерное спекание создает модели послойно. Процесс в чем-то схож с лазерной стереолитографией: в случае со стереолитографическими принтерами модели погружаются в жидкую фотополимерную смолу на глубину, соответствующую толщине одного слоя, с последующим «вычерчиванием» нового слоя лазерным лучом. При лазерном спекании на модель наносится слой порошка толщиной в один слой (толщина слоя может регулироваться), в котором вычерчивается новый контур, а высокая температура позволяет частично расплавлять порошок в местах касания луча, спекая частицы между собой и с предыдущим слоем. И в том и в другом случае модель окружена неизрасходованным материалом до окончания печати.

Этот момент немаловажен для «порошковой» печати: при спекании неизрасходованный материал служит в качестве поддерживающей поверхности для последующих слоев моделей сложной формы. Отсутствие необходимости печатать «опоры» облегчает обработку готовых моделей и способствует экономии материала, который в случае с титаном или специальными сплавами может быть весьма дорог. Весь неиспользованный материал может быть собран и использован для печати последующих моделей.

Исходным материалом для промышленной 3D-печати служат композиции различных мелкодисперсных металлических порошков на основе титана, алюминия, никеля, кобальта и других металлов. Как правило, они должны обладать сферичностью, определенным гранулометрическим составом с высоким выходом годного, высокой химической однородностью, пониженным содержанием газовых примесей – кислорода и азота. Единственным существенным недостатком лазерного спекания металлических материалов считается пористость готовых моделей. Однако плотность можно повысить за счет повышения энергии лазера и замедления скорости печати. В результате, рабочий материал можно не просто «спекать» в местах касания гранул, а фактически расплавлять, создавая однородное вещество. Именно этот подход и получил название «выборочной лазерной плавки» (SLM – Selective Laser Melting).

Ведущей компанией в сфере печати лазерным спеканием и плавкой можно считать 3D Systems – промышленного гиганта, в 2013 году прибравшего к рукам компанию-разработчика SLS-технологий Phenix Systems.

Список сокращений

CALS (Continious Acquisition and Life-Cycle Support) - 1) Информационная поддержка изделия на всех этапах жизненного цикла, 2) Непрерывные поставки и поддержка жизненного цикла изделия.

PLM (Product Lifecycle Management) - управление жизненным циклом изделия.

CRM (Customer Relationships Management) - управление взаимоотношениями с заказчиками.

CAD (Computer Aided Design) - система автоматизированного проектирования.

CAM (Computer Aided Manufacturing) - система автоматизированного производства.

CAE (Computer Aided Engineering) - автоматизированное конструирование.

CAPP – (Computer Aided Production Planning) - разработка техпроцессов.

PDM (Product Data Management) - система управления проектными данными.

SCM (Supply Chain Management) - система управления цепочками поставок.

CPC (Collaborative Product Commerce) - система управления данными в интегрированном информационном пространстве.

ERP (Enterprise Resource Planning) - система планирования и управления ресурсами предприятия.

MRP (Manufacturing Requirement Planning) - система планирования производства и требований к материалам.

MES (Manufacturing Execution Systems) - производственная исполнительная система.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) - диспетчерское управление и сбор данных.

CNC (Computer Numerical Control) - компьютерное числовое программное управление.

IETM (Interactive Electronic Technical Manuals) - интерактивные электронные технические руководства.

MPM – (Manufacturing Process Management) - моделирование и анализ производства изделия.

Workflow - предварительно запланированные потоки бизнес-процессов (потоки работ).

АС – автоматизированная система.

БД - база данных.

БП — технология быстрого «макетирования», быстрого создания опытных образцов.

ЕИП - единое информационное пространство.

ЖЦИ - жизненный цикл изделия.

ЗИП - запчасти и принадлежности.

ИПИ - Информационная Поддержка жизненного цикла Изделий.

ИСА - Интегрированная система автоматизации.

СМК - система менеджмента качества.

САПР - система автоматизированного проектирования.

ТОиР - техническое обслуживание и ремонт.

Литература

1. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 336 с.
2. Малюх В. Н. Введение в современные САПР: Курс лекций. — М.: ДМК Пресс, 2010. — 192 с. — ISBN 978-5-94074-551-8
3. Ушаков Д.М. Введение в математические основы САПР: курс лекций. — М.: ДМК Пресс, 2011. — 208с.
4. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп.. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. — 430 с. — ISBN 978-5-7038-3275-2
5. Большаков В.П., Бочков А.Л., Лячек Ю.Т., Твердотельное моделирование деталей в CAD-системах: AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, Creo. —СПб,: Питер, 2015. — 480 с.
6. Муромцев Ю. Л., Муромцев Д. Ю., Тюрин И. В. и др. Информационные технологии в проектировании радиоэлектронных средств: учеб. пособие для студ. высш. учебн. заведений. — М.: Издательский центр "Академия", 2010. — 384 с. — ISBN 978-5-7695-6256-3
7. Гончаров П.С., Ельцов М.Ю., Коршиков С.Б., Лаптев И.В., Осюк В.А. NX для конструктора машиностроителя.— Москва: ИД ДМК Пресс, 2009. — 376 с. — ISBN 978-5-94074-590-7 УДК 681.3.068.5015 ББК 34.42 К63
8. Гончаров П.С., Ельцов М.Ю., Коршиков С.Б., Лаптев И.В., Осюк В.А. NX для конструктора машиностроителя.. — Москва: ИД ДМК Пресс, 2010. — 504 с. — ISBN 978-5-94074-590-7
9. Научно-практическая конференция «Аддитивные технологии в российской промышленности». Москва, 2015.

Периодические издания посвященные САПР

- CADmaster — бесплатный журнал, посвященный проблематике систем автоматизированного проектирования. Издаётся с 2000 года. Все статьи доступны в интернет-версии издания [18]. Проверено 4 x12 2010.
- САПР и графика — ежемесячный журнал, посвящённый вопросам автоматизации проектирования, компьютерного анализа, технологической подготовки производства и технического документооборота. Выпускается с 1996 года. Большая часть публикаций доступна на Web-сервере журнала [19]. Проверено 4 x12 2010.
- CAD/CAM/CAE Observer — международный информационно-аналитический PLM журнал, выходит с 2000 года. Часть опубликованных статей в открытом доступе на сайте журнала [20]. Проверено 4 x12 2010.
- Каталог САПР — первое русскоязычное периодическое издание в виде каталога по программам и производителям САПР. Выходит раз в 1,5 года. Информация о каталоге размещена на сайте проекта "CAD по-русски" [21]. Проверено 4 x12 2010.
- EDA Express — бесплатный журнал о технологиях проектирования и производства электронных устройств. Первое издание — 2000 год. Публикации доступны на сайте журнала [22]. Проверено 4 x12 2010.
- isicad.ru — электронный журнал о САПР, PLM и ERP, выходящий с 2004 года. Публикации доступны на сайте портала isicad [23]. Проверено 4 x12 2010.

Примечания

- [1] ГОСТ 34.003-90 (<http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=137473>) «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения».

- [2] ГОСТ 23501.101-87 (<http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=140533>) «Системы автоматизированного проектирования. Основные положения».
- [3] РД 250-680-88 (<http://www.docload.ru/Basesdoc/10/10101/index.htm>) «Методические указания. Автоматизированные системы. Основные положения».
- [4] ГОСТ 15971-90 (<http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=137975>) «Системы обработки информации. Термины и определения».
- [5] ГОСТ 23501.108-85 (<http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=142365>) «Системы автоматизированного проектирования».
- [6] Стандарт ИСО 9004-1-94. Управление качеством и элементы системы качества (п.5.1.1).

CAE

- [1] CAElinux (<http://www.caelinux.com/CMS/>)
- [2] Adams for Multibody Dynamics (<http://www.mscsoftware.com/Contents/Products/CAE-Tools/Adams.aspx>)
- [3] Универсальный механизм: динамика машин и механизмов, динамика автомобилей и железнодорожных экипажей, прикладная механика, кинематика, обратная кинематика (http://www.umlub.ru/index_rus.htm)
- [4] EULER — автоматизированный динамический анализ многокомпонентных механических систем (<http://www.euler.ru/>)
- [5] frund — Комплекс моделирования динамики систем твердых и упругих тел (<http://frund.vstu.ru>)
- [6] MBDyn — MultiBody Dynamics (<http://www.aero.polimi.it/~mbdyn/>)
- [7] ITI — Supporting your visions!: SimulationX (<http://www.simulationx.com/>)

Ссылки

- [1] http://shatura.laser.ru/Rapid/rptree/rptree_ru.html
- [2] http://www.espotec.ru/art_prot.htm
- [3] <http://home.att.net/~castleisland/home.htm>
- [4] <http://www.cadmaster.ru/>
- [5] <http://www.sapr.ru>
- [6] <http://www.cadcamcae.lv>
- [7] http://www.cadcatalog.ru/sapr_about_book.html
- [8] <http://www.rodnik.ru/product/sapr/edaexpress/>
- [9] <http://isicad.ru>
(<http://www.solidworld.ru/>) — SolidWorld
(<http://fsapr2000.ru/>) — Конференция САПР2000 (бывший САПР2К), посвящённая использованию CAD/CAE/CAM-технологий
(<http://www.procae.ru/proCAE>) — статьи по программам ANSYS, STAR-CD, QForm, Nastran, Fluent и др.
(<http://www.ansys.spb.ru/>) — Новости CAE-системы ANSYS на русском языке
(http://www.FEA.ru/ANSYS_LSDYNA_AviGallery.html) — AVI-Галерея (более 150 анимационных фильмов), иллюстрирующая результаты исследований, выполненных сотрудниками CompMechLab® СПбГПУ с помощью CAE-систем ANSYS, LS-DYNA, SIMULIA/Abaqus
(<http://www.ansys.spb.ru/ansys-wall-planner/>) — Результаты ежегодных Всемирных конкурсов CAE-системы ANSYS Multiphysics Image Gallery Competition
(http://www.FEA.ru/FEA_news_1760.html) — CompMechLab® СПбГПУ представляет 4 ВИДЕО УРОКА по применению CAE-системы ANSYS / Mechanical
(http://www.fea.ru/FEA_news_1779.html) — CompMechLab-REVIEW. Лидеру CAE-рынка ANSYS, Inc. – 40 лет