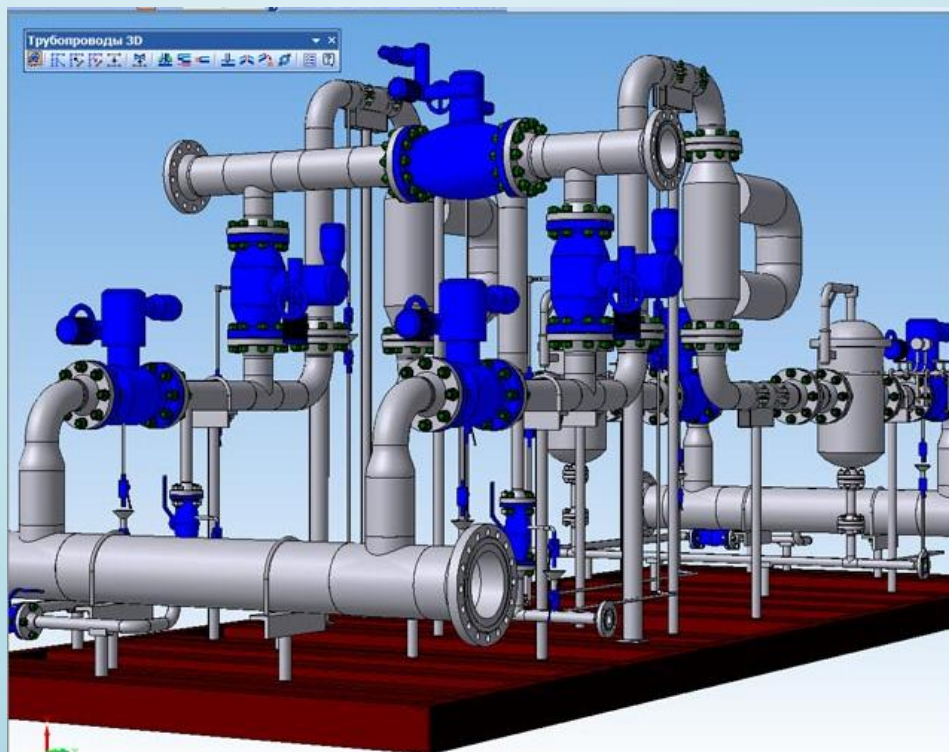


А.А. Липин

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Учебное пособие



Иваново 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации
Ивановский государственный химико-технологический университет

А.А. Липин

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Учебное пособие

Иваново 2018

УДК 519.6:004.3:004.92

Липин, А.А.

Системы автоматизированного проектирования: учеб. пособие / А.А. Липин; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2018. – 108 с.

В учебном пособии рассмотрены теоретические основы систем автоматизированного проектирования (САПР), приведены классификация и виды обеспечения САПР, подробно рассмотрены специальные виды технического обеспечения. Приведены виды геометрического и параметрического моделирования, сделан обзор современных и наиболее распространенных систем автоматизированного проектирования.

Предназначено студентам направлений подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», «Технологические машины и оборудование», изучающим дисциплины «Системы автоматизированного проектирования», «Автоматизированные компьютерные системы в химической технологии».

Табл. 5. Ил. 45. Библиогр.: 31 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты:

кафедра гидравлики, теплотехники и инженерных сетей Ивановского государственного политехнического университета; доктор технических наук С.П. Бобков (Ивановский государственный химико-технологический университет)

© Липин А.А., 2018

© ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 2018

Оглавление

Введение	5
1. Жизненный цикл изделия.....	8
1.1. Научные исследования.....	9
1.2. Маркетинг.....	10
1.3. Проектирование	11
1.4. Основные типы автоматизированных систем, применяемых на этапах жизненного цикла изделия	16
1.5. Понятие о CALS-технологии.....	21
2. Цели и задачи САПР	24
3. Классификация САПР	28
4. Виды обеспечения САПР	31
4.1. Техническое обеспечение САПР	31
4.2. Математическое обеспечение САПР.....	34
4.3. Программное обеспечение САПР.....	34
4.4. Информационное обеспечение САПР.....	36
4.5. Лингвистическое обеспечение САПР.....	36
4.6. Организационно-методическое обеспечение САПР.....	37
5. Специальное оборудование САПР.....	39
5.1. Плоттеры.....	39
5.2. 3D-принтеры.....	44
5.3. Дигитайзеры	49
5.4. 3D-манипуляторы	51
5.5. 3D-сканеры	53
6. Геометрическое моделирование в САПР	56
6.1. Каркасное моделирование	56
6.2. Поверхностное моделирование.....	57
6.3. Твердотельное моделирование.....	60
6.4. Принципы твердотельного моделирования деталей и сборок.....	64
7. Параметрическое моделирование	69
7.1. Табличная параметризация.....	69

7.2. Иерархическая параметризация	70
7.3. Вариационная (размерная) параметризация	71
7.4. Геометрическая параметризация	73
8. Обзор современных САПР	75
8.1. САД системы.....	75
8.2. САЕ системы.....	82
8.3. САМ системы.....	89
8.4. Комплексные САПР	92
Список литературы.....	105

Введение

Мы живём в век цифровых технологий. Сегодня информатизация коснулась практически всех сфер человеческой деятельности, не стала исключением и проектная.

В широком смысле **проектирование** – это процесс создания проекта, комплекса информации, описывающей прообраз предполагаемого или возможного объекта либо процесса. В технике под **проектированием** понимают комплекс мероприятий, обеспечивающих поиск технических решений, удовлетворяющих заданным требованиям, их оптимизацию и реализацию в виде комплекта конструкторских документов и опытного образца, подвергаемого циклу испытаний на соответствие требованиям технического задания.

Проектирование может быть ручным, автоматизированным и автоматическим.

Ручное проектирование осуществляется без использования ЭВМ. Ещё буквально 25-30 лет назад все конструкторские документы изготавливались проектировщиками вручную с помощью карандаша или туши. Любое изменение требовало подчистки либо даже перечерчивания. Сейчас ручное проектирование не используется. Цифровые технологии не только изменили методы подготовки чертежей, но и внесли фундаментальные изменения в процесс проектирования.

Автоматическое проектирование осуществляется без участия человека на промежуточных этапах. Автоматическое проектирование возможно лишь в отдельных частных случаях для сравнительно несложных объектов. Превалирующим в настоящее время является автоматизированное проектирование.

Автоматизированное проектирование – это вид проектирования, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека и компьютера. При автоматизированном проектировании

эвристические действия проектировщика дополняются вычислительными возможностями компьютера, реализованными посредством определенных алгоритмов.

Системы, реализующие автоматизированное проектирование, называются системами автоматизированного проектирования (САПР). Существует и другая, менее употребительная расшифровка аббревиатуры САПР – системы автоматизации проектных работ.

Система автоматизированного проектирования – это организационно-техническая система, предназначенная для автоматизации процесса проектирования, состоящая из персонала и комплекса технических и программных средств автоматизации проектирования.

Для перевода термина САПР на английский язык зачастую используется аббревиатура CAD (computer-aided design), однако понятие CAD не является полным эквивалентом САПР как организационно-технической системы. Более правильный перевод термина САПР на английский язык – CAD system или automated design system.

Термин CAD более расплывчат, широк, нежели термин САПР, так как относится не только к системам проектирования, но и иных областей, например, математических вычислений (пакет MathCAD, пакет MatLab), финансово-экономического анализа (система SAP), медицинской диагностики.

Системы автоматизированного проектирования нашли применение в таких отраслях, как авиастроение, автомобилестроение, тяжелое машиностроение, в архитектуре, строительстве, нефтегазовой промышленности, в области картографии, геоинформационных систем, при производстве товаров народного потребления, в частности, бытовой электротехники, мебели. САПР в машиностроении используется для проведения конструкторских, технологических работ и работ по технологической подготовке производства. С помощью САПР выполняется разработка чертежей, проводится трехмерное моделирование изделия и процесса сборки, проектируется вспомогательная оснастка, например, штампы

и пресс-формы, составляется технологическая документация и управляющие программы (УП) для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), ведутся архивы. Современные САПР применяются для сквозного автоматизированного проектирования, технологической подготовки, анализа и изготовления изделий в машиностроении, для электронного управления технической документацией.

Учебная дисциплина «Системы автоматизированного проектирования» направлена на формирование у обучающегося способностей к решению задач проектирования технологических процессов и аппаратов при помощи систем автоматизации проектно-конструкторской деятельности. В данном учебном пособии рассматриваются теоретические основы САПР, специальные виды технического обеспечения САПР, представлен обзор наиболее распространенных САПР.

1. Жизненный цикл изделия

Жизненный цикл изделия – совокупность взаимосвязанных процессов последовательного изменения состояния продукции от формирования исходных требований к ней до окончания ее эксплуатации или применения.

Основные этапы жизненного цикла промышленной продукции представлены на рис. 1.1. К ним относятся этапы проектирования, технологической подготовки производства (ТПП), собственно производства, реализации продукции, эксплуатации и, наконец, утилизации. В число этапов жизненного цикла могут также входить маркетинг, закупки материалов и комплектующих, предоставление услуг, упаковка и хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию.

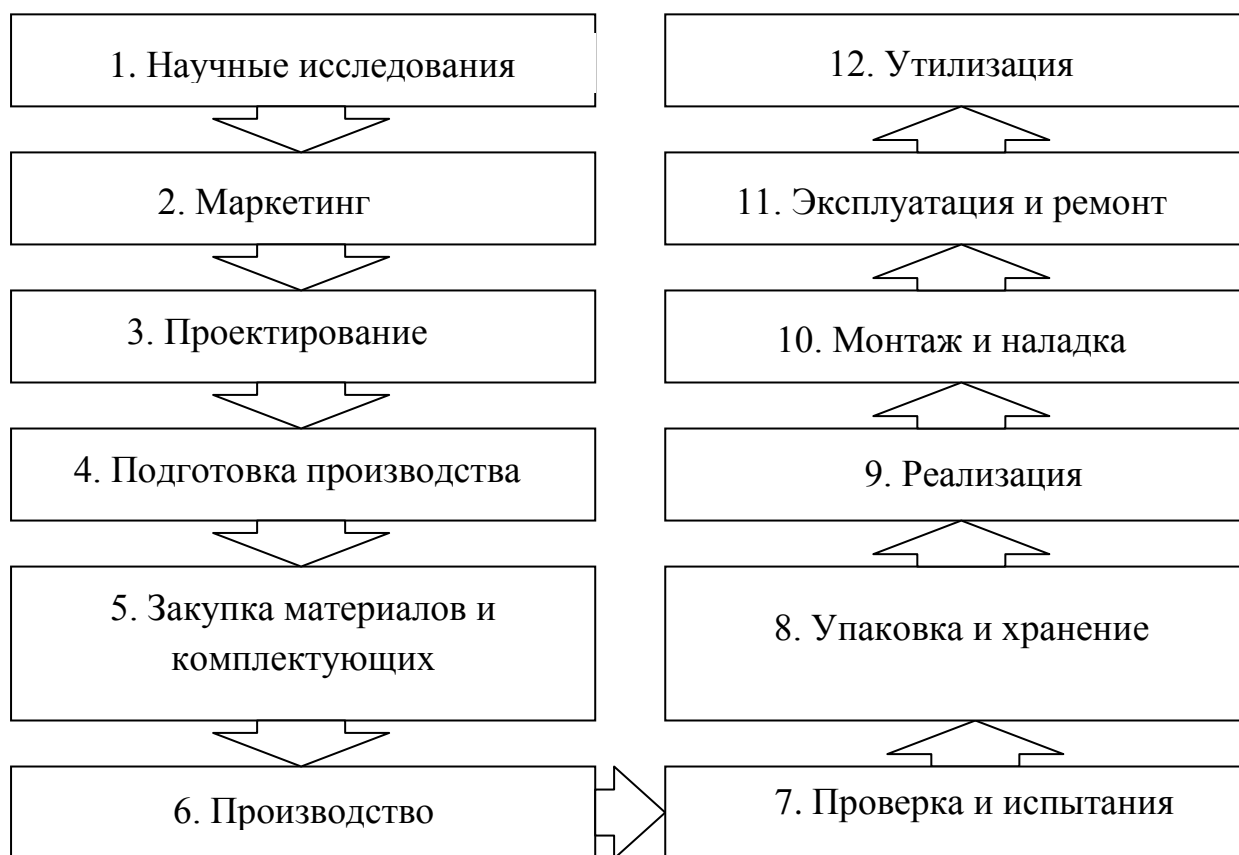


Рис. 1.1. Жизненный цикл изделия

Остановимся подробнее на этапе проектирования и предшествующих ему этапам научных и маркетинговых исследований.

1.1. Научные исследования

Научные исследования или научно-исследовательские работы (НИР) проводятся для решения следующих задач: разрешение конкретных научных проблем для создания новых изделий; получение рекомендаций, инструкций, расчетно-технических материалов, методик; определение возможности проведения опытно-конструкторских работ (ОКР) по тематике НИР.

Этап НИР начинается с разработки технического задания (ТЗ) на НИР. При этом используются и обрабатываются следующие виды информации:

- объект исследования;
- описание требований к объекту исследования;
- перечень функций объекта исследования общетехнического характера;
- перечень физических и других эффектов, закономерностей и теорий, которые могут быть основой принципа действия изделия;
- технические решения (в прогнозных исследованиях);
- сведения о научно-техническом потенциале исполнителя НИР;
- сведения о производственных ресурсах (применительно к объекту исследований);
- сведения о материальных ресурсах;
- маркетинговые сведения;
- данные об ожидаемом экономическом эффекте.

На последующих этапах НИР в качестве базы в основном используется уже перечисленная выше информация. Дополнительно используются:

- сведения о новых принципах действия, новых гипотезах, теориях, результатах НИР;
- данные экономической оценки, моделирования основных процессов, оптимизации многокритериальных задач, макетирования, типовых расчетов, ограничений;
- требования к информации, вводимой в информационные системы, и т. д.

По итогам выполнения НИР производятся:

- обобщение результатов предыдущих этапов работ;

- оценка полноты решения задач;
- разработка рекомендаций по дальнейшим исследованиям и проведению ОКР;
- разработка проекта ТЗ на ОКР;
- составление итогового отчета;
- приемка НИР комиссией.

Результатом НИР является достижение научного, научно-технического, экономического и социального эффектов. Научный эффект характеризуется получением новых научных знаний и отражает прирост информации, предназначенной для «внутринаучного» потребления. Научно-технический эффект характеризует возможность использования результатов выполняемых исследований в других НИР и ОКР и обеспечивает получение информации, необходимой для создания новой продукции. Экономический эффект характеризует коммерческий эффект, полученный при использовании результатов прикладных НИР. Социальный эффект проявляется в улучшении условий труда, повышении экономических характеристик, развитии культуры, здравоохранения, науки, образования.

1.2. Маркетинг

На этапе маркетинга анализируют состояние рынка соответствующей машиностроительной продукции, устанавливают наличие текущей или перспективной потребности в изделиях данного функционального назначения, определяют основные требования потребителей к этим изделиям, устанавливают состав и значения основных показателей эксплуатационного качества (мощность, производительность, КПД, показатели надежности и т.д.), разрабатывают общее описание конкурентоспособного изделия. В нем указывают условия эксплуатации и показатели эксплуатационного качества изделия, потребительские предпочтения в отношении эргономических, эстетических и других характеристик продукции, требования к условиям поставки. Ориентировочно определяют предполагаемый объем выпуска

изделия (емкость рынка). Этап маркетинга можно рассматривать как экономическую часть НИР.

1.3. Проектирование

Зачастую полный цикл проектирования называют НИОКР (научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, в английском языке передается как *Research & Development, R&D*) – комплекс мероприятий, включающий в себя как научные (дизайнерские, концептуальные и т. д.) исследования, так и производство опытных и мелкосерийных образцов продукции, предшествующий запуску нового продукта или системы в промышленное производство. Стадию НИР иногда называют предпроектными исследованиями или стадией технического предложения. Предметом приложения САПР являются опытно конструкторские работы (ОКР).

Опытно конструкторские работы – важнейшее звено материализации результатов предыдущих НИР. Их основная задача – создание комплекта конструкторской документации для серийного производства. ОКР, собственно, и является этапом проектирования изделия.

Основные этапы ОКР достаточно четко регламентируются, в частности, на территории Российской Федерации – стандартом ГОСТ 15.001–88 «Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения». Этапы ОКР представлены на рис. 1.2, рассмотрим их подробнее.

Разработка ТЗ на ОКР. Иногда разработку технического задания на ОКР называют внешним проектированием, а реализацию технического задания – внутренним проектированием.

Техническое задание (ТЗ) на проектирование объекта должно содержать, по крайней мере, следующие данные:

1. Назначение объекта.
2. Условия эксплуатации. Наряду с качественными характеристиками (представленными в вербальной форме) имеются числовые параметры,

называемые внешними параметрами, для которых указаны области допустимых значений. Примеры внешних параметров: температура окружающей среды, внешние силы, электрические напряжения, нагрузки и т. п.

3. Требования к *выходным* параметрам, т.е. к величинам, характеризующим свойства объекта, интересующие потребителя. Эти требования выражены в виде условий работоспособности. Примерами условий работоспособности могут быть: расход топлива на 100 км пробега автомобиля < 8 л; диапазон рабочего напряжения в сети питания 220-240 В; допустимая температура окружающей среды от $+16$ °С до $+43$ °С.



Рис. 1.2. Этапы опытно-конструкторских работ

Техническое предложение (ТП) является основанием для корректировки ТЗ и выполнения эскизного проекта. В ходе разработки ТП осуществляется выявление дополнительных или уточненных требований к изделию, его техническим характеристикам и показателям качества, которые не могут быть указаны в ТЗ:

- проработка результатов НИР;
- проработка результатов прогнозирования;
- изучение научно-технической информации;
- предварительные расчеты и уточнение требований ТЗ.

Эскизное проектирование служит основанием для технического проектирования, и в его ходе производится определение и разработка принципиальных технических решений:

- выполнение работ по этапу технического предложения, если этот этап не проводится;
- выбор элементной базы разработки;
- выбор основных технических решений;
- разработка структурных и функциональных схем изделия;
- выбор основных конструктивных элементов;
- метрологическая экспертиза проекта;
- разработка и испытание макетов.

Этап эскизного проектирования и является собственно *проектированием*, в отличие от следующего за ним этапа *технического проектирования*, который часто называют *конструированием*.

Результатом этапа является эскизный проект, который разрабатывают с целью установления принципиальных (конструктивных, схемных и др.) решений изделия, дающих общее представление о принципе работы и (или) устройстве изделия, когда это целесообразно сделать до разработки технического проекта или рабочей документации.

На стадии разработки эскизного проекта рассматривают варианты изделия и (или) его составных частей. При разработке эскизного проекта

выполняют работы, необходимые для обеспечения предъявляемых к изделию требований и позволяющие установить принципиальные решения.

Техническое проектирование. На стадии технического проектирования разрабатывают технический проект изделия с целью выявления окончательных технических решений, дающих полное представление о конструкции изделия, когда это целесообразно сделать до разработки рабочей документации. Задачей технического проектирования является окончательный выбор технических решений по изделию в целом и его составным частям:

- разработка принципиальных электрических, кинематических, гидравлических и других схем;
- уточнение основных параметров изделия;
- проведение конструктивной компоновки изделия и выдача данных для его размещения на объекте;
- разработка проектов технических условий на поставку и изготовление изделия;
- испытание макетов основных приборов изделия в натуральных условиях.

При необходимости технический проект может предусматривать разработку вариантов отдельных составных частей изделия. В этих случаях выбор оптимального варианта осуществляется на основании результатов испытаний опытных образцов изделия.

Существуют два принципиально различающихся метода проектирования – «снизу вверх» и «сверху вниз». При проектировании «снизу вверх» конструкция создается аналогично процессу сборки из отдельных деталей и комплектующих, то есть предварительно созданные проекты деталей объединяются в единую конструкцию. При работе в стиле «сверху вниз» сначала создается проект общего вида изделия, затем он последовательно наполняется детализированными проектами его элементов.

При разработке технического проекта выполняют работы, необходимые для обеспечения предъявляемых к изделию требований и позволяющие получить полное представление о конструкции разрабатываемого изделия,

оценить его соответствие требованиям технического задания, технологичность, степень сложности изготовления, способы упаковки, возможности транспортирования и монтажа на месте применения, удобство эксплуатации, целесообразность и возможность ремонта и т. п.

Завершается техническое проектирование **этапом выпуска рабочей документации**. Рабочая конструкторская документация на изделие включает в себя сборочные чертежи изделия и его сборочных единиц, спецификации, ведомость спецификаций, ведомость покупных изделий, чертежи деталей изделия, программы и методики испытаний, техническое описание и инструкции по эксплуатации изделия.

Изначально производится разработка рабочей документации для изготовления и испытания опытного образца. Формирование комплекта конструкторских документов осуществляется в следующей последовательности:

- разработка полного комплекта рабочей документации;
- согласование ее с заказчиком и заводом-изготовителем серийной продукции;
- проверка конструкторской документации на унификацию и стандартизацию;
- изготовление в опытном производстве опытного образца;
- настройка и комплексная регулировка опытного образца.

После изготовления опытного образца проводятся его **испытания и доводка**. Испытания делятся на предварительные и окончательные. Предварительные испытания проводятся с целью проверки соответствия опытного образца требованиям технического задания и определения возможности его предъявления на окончательные испытания. Предварительные испытания включают в себя: стендовые испытания; предварительные испытания на объекте; испытания на надежность.

Окончательные испытания бывают трех типов: государственные, ведомственные или внутрикорпоративные. Они проводятся с целью оценки

соответствия требованиям технического задания и возможности организации серийного производства.

После отработки документации по результатам серийных испытаний и внесения необходимых уточнений и изменений в рабочую документацию она передается на производство заводу изготовителю. На этом проектный цикл завершается, и начинается производственный.

1.4. Основные типы автоматизированных систем, применяемых на этапах жизненного цикла изделия

На всех этапах жизненного цикла имеются свои цели, которые нужно достичь с максимальной эффективностью. На этапах проектирования, подготовки производства и производства нужно обеспечить выполнение требований, предъявляемых к производимому продукту, при заданной степени надежности изделия и минимизации материальных и временных затрат, что необходимо для достижения успеха в конкурентной борьбе в условиях рыночной экономики. Понятие эффективности охватывает не только снижение себестоимости продукции и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижения затрат на будущую эксплуатацию изделий.

Достижение поставленных целей на современных предприятиях, выпускающих сложные технические изделия, оказывается невозможным без широкого использования автоматизированных систем, 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 автоматизированных систем. На рис. 1.3 указаны основные типы автоматизированных систем с их привязкой к тем или иным этапам жизненного цикла изделий. Расшифровка аббревиатур названий автоматизированных систем, представленных на рис. 1.3, приведена в таблице 1.1.

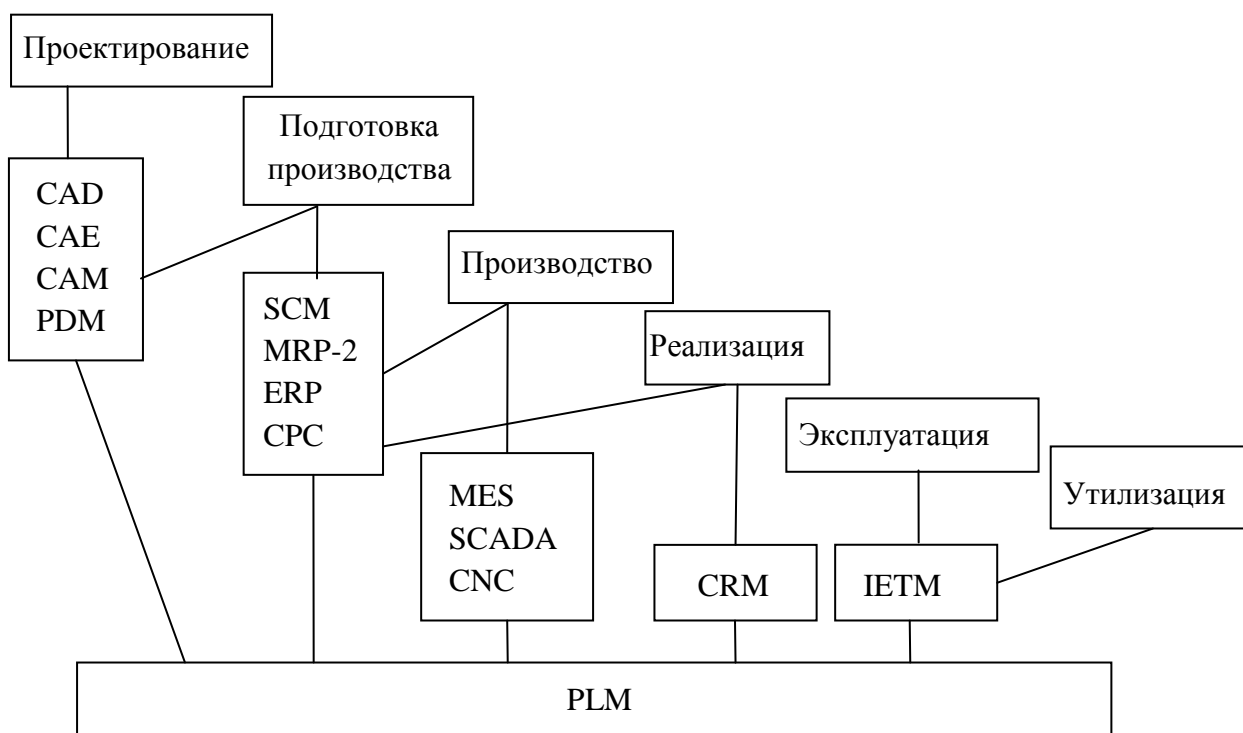


Рис. 1.3. Основные типы автоматизированных систем

Автоматизация проектирования осуществляется с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР). В САПР машиностроительных отраслей промышленности принято выделять системы функционального, конструкторского и технологического проектирования. Первые из них называют системами расчетов и инженерного анализа или системами CAE (Computer Aided Engineering). Системы конструкторского проектирования называют системами CAD (Computer Aided Design). Проектирование технологических процессов выполняется в автоматизированных системах технологической подготовки производства (АСТПП), входящих как составная часть в системы CAM (Computer Aided Manufacturing). Существует ряд САПР, объединяющих в себе функции систем CAD/CAE/CAM. Такие САПР называют комплексными или интегрированными. Более подробную информацию о системах автоматизации проектирования можно найти в главе 8.

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.

Таблица 1.1

Виды автоматизированных систем

Аббревиатура	Полное название	Русский аналог
CAD	Computer Aided Design	Автоматизированное проектирование изделий
CAE	Computer Aided Engineering	Автоматизированные расчеты и анализ
CAM	Computer Aided Manufacturing	Автоматизированная технологическая подготовка производства
PDM	Product Data Management	Управление проектными данными о продукте (изделии)
PLM	Product Life Cycle Management	Управление жизненным циклом изделия
ERP	Enterprise Resource Planning	Планирование и управление предприятием
MRP-2	Manufacturing (Material) Requirement Planning	Планирование производства
SCM	Supply Chain Management	Управление цепочками поставок
CPC	Collaborative Product Commerce	Системы управления данными в интегрированном информационном пространстве
MES	Manufacturing Execution System	Производственная исполнительная система
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	Диспетчерское управление производственными процессами
CNC	Computer Numerical Control	Компьютерное числовое управление
CRM	Customer Relationship Management	Управление взаимоотношениями с заказчиками
IETM	Interactive Electronic Technical Manuals	Интерактивные электронные технические руководства

На большинстве этапов жизненного цикла, начиная с определения предприятий-поставщиков исходных материалов и компонентов и кончая реализацией продукции, требуются услуги системы управления цепочками поставок – Supply Chain Management (SCM). 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. При планировании производства система SCM управляет стратегией позиционирования продукции. Если время производственного цикла меньше времени ожидания заказчика на получение готовой продукции, то можно применять стратегию "изготовление на заказ". Иначе приходится использовать стратегию "изготовление на склад". При этом во время производственного цикла должно входить время на размещение и исполнение заказов на необходимые материалы и комплектующие на предприятиях-поставщиках.

В последнее время усилия многих компаний, производящих программно-аппаратные средства автоматизированных систем, направлены на создание систем электронного бизнеса (E-commerce). Задачи, решаемые системами E-commerce, сводятся не только к организации на сайтах Internet витрин товаров и услуг. Они объединяют в едином информационном пространстве запросы заказчиков и данные о возможностях множества организаций, специализирующихся на предоставлении различных услуг и выполнении тех или иных процедур и операций по проектированию, изготовлению, поставкам заказанных изделий. Проектирование непосредственно под заказ позволяет добиться наилучших параметров создаваемой продукции, а оптимальный выбор исполнителей и цепочек поставок ведет к минимизации времени и стоимости выполнения заказа. Координация работы многих предприятий-партнеров с использованием технологий Internet возлагается на системы E-commerce, называемые системами управления данными в интегрированном информационном пространстве CPC (Collaborative Product Commerce).

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.

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

На этапе реализации продукции выполняются функции управления отношениями с заказчиками и покупателями, проводится анализ рыночной

ситуации, определяются перспективы спроса на планируемые изделия. Эти функции возложены на систему CRM.

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

Управление данными в едином информационном пространстве на протяжении всех этапов жизненного цикла изделий возлагается на систему управления жизненным циклом продукции PLM (Product Lifecycle Management). Характерная особенность PLM – обеспечение взаимодействия различных автоматизированных систем многих предприятий, т.е. технологии PLM (включая технологии CPC) являются основой, интегрирующей информационное пространство, в котором функционируют САПР, ERP, PDM, SCM, CRM и другие автоматизированные системы многих предприятий.

1.5. Понятие о CALS-технологии

CALS-технология (англ. Continuous Acquisition and Lifecycle Support — непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделий) – это технология комплексной компьютеризации сфер промышленного производства, цель которой – унификация и стандартизация спецификаций промышленной продукции на всех этапах ее жизненного цикла. Основные виды спецификаций представлены проектной, технологической, производственной, маркетинговой, эксплуатационной документацией. В CALS-системах предусмотрены хранение, обработка и передача информации в компьютерных средах, оперативный доступ к данным в нужное время и в нужном месте. Концептуальная модель CALS представлена на рис. 1.4.

Главная задача создания и внедрения CALS-технологий – обеспечение единообразного описания и интерпретации данных, независимо от места и времени их получения в общей системе, имеющей масштабы вплоть до

глобальных. Структура проектной, технологической и эксплуатационной документации, языки ее представления должны быть стандартизованными. Тогда становится реальной успешная работа над общим проектом разных коллективов, разделенных во времени и пространстве и использующих разные CAE/CAD/CAM-системы. Одна и та же конструкторская документация может быть использована многократно в разных проектах, а одна и та же технологическая документация адаптирована к разным производственным условиям, что позволяет существенно сократить и удешевить общий цикл проектирования и производства. Кроме того, упрощается эксплуатация систем.

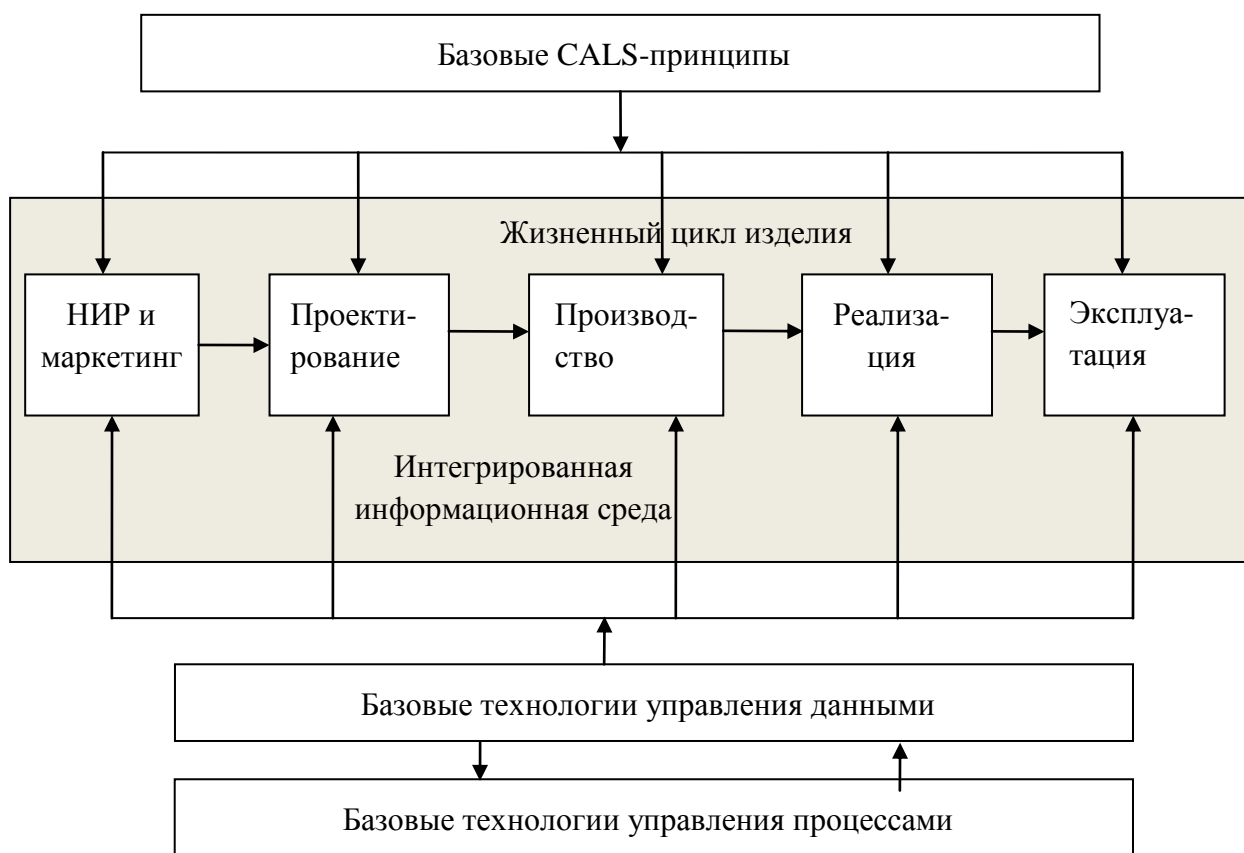


Рис. 1.4. Концептуальная модель CALS

Применение CALS-технологий позволяет существенно сократить объемы проектных работ, так как описания многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в базах данных сетевых серверов, доступных любому пользователю технологии 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. Ожидается, что успех на рынке сложной технической продукции будет немислим вне технологии CALS.

Развитие CALS-технологии в перспективе должно привести к появлению так называемых виртуальных производств, при которых процесс создания спецификаций с информацией для программно управляемого технологического оборудования, достаточной для изготовления изделия, может быть распределен во времени и пространстве между многими организационно автономными проектными студиями. Среди несомненных достижений CALS-технологии следует отметить легкость 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.

2. Цели и задачи САПР

Средства автоматизации проектирования имеют своей задачей повышение эффективности труда инженеров. В области автоматизации инженерного труда имеется основное производство, связанное с разработкой конструкторских и технологических проектов, а также планов управления, и вспомогательное производство, связанное с созданием и сопровождением собственно программных средств. В этой связи цели компьютеризации инженерной деятельности следует разбить на две группы: основные и вспомогательные.

Основные цели автоматизации проектирования представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Основные цели автоматизации проектирования	Методы достижения целей
Сокращение трудоемкости проектирования	Автоматизация оформления документации
	Информационная поддержка принятия решений
	Автоматизация принятия решений
Сокращение длительности цикла «проектирование – изготовление»	Параллельное проектирования
	Виртуальное проектное бюро
Сокращение себестоимости проектирования	Повторное использование решений, данных и работок
	Унификация проектных решений
Улучшение качества проектирования	Стратегическое проектирование
	Вариативное проектирование и оптимизация
Сокращение затрат на натурное моделирование проектируемых объектов	Математическое моделирование

Трудоемкость измеряется чистым временем, традиционно в человекочасах, затрачиваемым на разработку и корректировку технической

документации, без учета ожиданий по организационно-техническим причинам. Как следует из диаграммы, для сокращения трудоемкости необходимо располагать средствами автоматизации оформления графической и текстовой документации, средствами информационной поддержки и автоматизации принятия решений.

Длительность цикла измеряется календарным временем от получения задания до его завершения с учетом всех ожиданий по организационно-техническим причинам. Сокращение длительности цикла «проектирование – изготовление» обеспечивается с помощью средств совмещенного проектирования и виртуальных бюро.

Концепция виртуального бюро появилась относительно недавно. Виртуальное бюро представляет собой организационно-техническую структуру, способную обеспечивать совместную работу бригады специалистов, разнесенных географически и во времени, чье объединение может носить временный характер. Виртуальное бюро может быть распределено в нескольких местах, которые могут находиться в различных странах и даже континентах и включать участников из разных временных поясов. Бригады специалистов объединяются в виртуальное бюро с целью создания новых изделий. Концепция виртуального бюро возникла в ответ на потребности развития современной глобальной рыночной экономики и новых возможностей высокоэффективных информационных технологий.

Сокращение себестоимости проектирования достигается за счет использования ранее созданных и унифицированных проектных и конструкторских решений, которые могут быть собраны в библиотеки и базы знаний. Таким же образом обеспечивается создание вариантов и модификаций изделий.

Улучшение качества результатов проектирования относится к основным целям компьютеризации инженерной деятельности и связано с необходимостью достижения уровня лучших образцов в классе проектируемых объектов. Улучшение качества проектов достигается использованием

автоматизированного поискового и многовариантного проектирования, применением математических методов оптимизации параметров и структуры объектов и процессов.

Унификация проектных решений выполняется за счет адаптированных к условиям каждого предприятия баз данных и знаний.

Стратегическое проектирование – это метод создания и ведения долгосрочных проектных программ, начинающихся с разработки базового изделия, которое затем подвергается постепенным модификациям и усовершенствованиям с целью удовлетворения текущих и учета будущих требований пользователей в течение длительного периода времени. Сущность стратегического проектирования заключается в постоянном отборе и оценке концепций (прежде всего определяющих архитектуру и технологии изготовления) с целью поиска решений, обеспечивающих наилучшее удовлетворение краткосрочных и долгосрочных требований потребителей. Основная цель – обойти коммерческие и (или) технологические тупики в процессе быстрых изменений условий и технологий на рынке.

К затратам на натурное моделирование относят затраты на проектирование и изготовление макетных образцов изделий и их узлов, их испытания на стендах, в аэродинамических трубах и т. д. Сокращение этих затрат может быть достигнуто за счет его полной или частичной замены математическим моделированием.

К **вспомогательным целям** автоматизации проектирования относятся сокращение трудоемкости разработки программных средств, трудозатрат на их адаптацию к условиям эксплуатации при внедрении, а также их сопровождения, то есть ее модификации, обусловленной необходимостью устранения выявленных ошибок и (или) изменения функциональных возможностей (табл. 2.2).

Средством сокращения трудоемкости адаптации систем к условиям эксплуатации на конкретном предприятии с учетом стандартов этого предприятия, а так же традиций и принципов принятия проектных решений

являются системы управления базами данных и знаний, ориентированные на конечного пользователя. Это означает, что упомянутые системы должны быть оснащены средствами описания и манипулирования данными, доступными пользователю без навыков программирования.

Таблица 2.2

Вспомогательные цели автоматизации проектирования	Методы достижения целей
Сокращение трудоемкости разработки	Использование инструментальной среды
	Мобильность инструментальной среды
Сокращение трудоемкости адаптации к условиям эксплуатации	Использование баз данных и знаний, ориентированных на пользователя
Сокращение трудоемкости сопровождения	Модульность баз данных и знаний
	Открытость и модернизируемость баз данных и знаний

3. Классификация САПР

Принципы классификации и основные классификационные признаки САПР регламентированы ГОСТ 23501.108-85 «Системы автоматизированного проектирования. Классификация и обозначение». В соответствии со стандартом САПР характеризуют по следующим признакам: тип объекта проектирования; разновидность объекта проектирования; сложность объекта проектирования; уровень автоматизации проектирования; комплексность автоматизации проектирования; характер выпускаемых проектных документов; количество выпускаемых проектных документов; число уровней в структуре технического обеспечения САПР.

По **типу объекта проектирования САПР** делятся на:

- 1) САПР изделий машиностроения;
- 2) САПР изделий приборостроения;
- 3) САПР технологических процессов в машиностроении и приборостроении;
- 4) САПР объектов строительства;
- 5) САПР технологических процессов в строительстве;
- 6) САПР программных изделий;
- 7) САПР организационных систем.

Для **разновидностей объектов проектирования** стандарт не устанавливает специальных обозначений, их следует определять по действующим отраслевым классификаторам.

По **сложности объектов проектирования** выделяют САПР следующих типов:

- 1) САПР простых объектов (число составных частей до 100, например, технологическая оснастка, редуктор и т.п.);
- 2) САПР объектов средней сложности (число составных частей от 100 до 1000, например металлорежущие станки, приборы и т.п.);
- 3) САПР сложных объектов (число составных частей от 10^3 до 10^4 , например тракторы, автомашины и т.п.);

4) САПР очень сложных объектов (число составных частей от 10^4 до 10^6 , например самолет, ЭВМ и т.п.);

5) САПР объектов очень высокой сложности (число составных частей свыше 10^6).

По уровню автоматизации проектирования САПР классифицируются:

1) системы низкоавтоматизированного проектирования (до 25% проектных процедур автоматизировано);

2) системы среднеавтоматизированного проектирования (уровень автоматизации проектирования составляет от 25 до 50%);

3) системы высокоавтоматизированного проектирования (уровень автоматизации проектирования составляет от 50 до 75%).

По уровню комплексности автоматизации проектирования различают САПР:

1) одноэтапные (выполняют один этап проектирования из всех установленных для объекта, проектируемого системой);

2) многоэтапные (выполняют несколько этапов);

3) комплексные (выполняют весь процесс создания изделия).

По числу выпускаемых проектом документов различают:

1) САПР низкой производительности (100–10 000 проектных документов в пересчете на формат А4 за год);

2) САПР средней производительности (10 000–100 000);

3) САПР высокой производительности (100 000 и выше).

По количеству уровней в структуре технического обеспечения:

1) одноуровневая САПР (система, построенная на основе средней или большой ЭВМ со штатным набором периферийных устройств, включая средства обработки графической информации);

2) двухуровневая САПР (система, построенная на основе средней или большой ЭВМ и взаимосвязанных с ней одного или нескольких автоматизированных рабочих мест (АРМ), имеющих собственную ЭВМ);

3) трехуровневая САПР (система, построенная на основе большой ЭВМ, нескольких АРМ и периферийного программно-управляемого оборудования для централизованного обслуживания этих АРМ, или на основе большой ЭВМ и группы АРМ, объединенных в вычислительную сеть).

4. Виды обеспечения САПР

В составе любой САПР выделяют 6 основных видов обеспечения. Структуру видов обеспечения САПР можно изобразить в виде схемы, представленной на рис. 4.1. Рассмотрим виды обеспечения САПР подробнее.



Рис. 4.1. Структура основных видов обеспечения САПР

4.1. Техническое обеспечение САПР

Совокупность всех технических средств, используемых при эксплуатации САПР, образует техническое обеспечение системы. Компонентами технического обеспечения являются устройства вычислительной и

организационной техники, средства передачи данных, измерительные и другие устройства или их сочетания, обеспечивающие функционирование САПР.

Общая структура технического обеспечения САПР представляет собой сеть узлов, связанных между собой средой передачи данных (рис. 4.2). Узлами (станциями данных) являются рабочие места проектировщиков, часто называемые автоматизированными рабочими местами (АРМ) или рабочими станциями (WS — Workstation), ими могут быть также большие ЭВМ (мейнфреймы), отдельные периферийные и измерительные устройства. Именно в АРМ должны быть средства для интерфейса проектировщика с ЭВМ. Что касается вычислительной мощности, то она может быть распределена между различными узлами вычислительной сети.

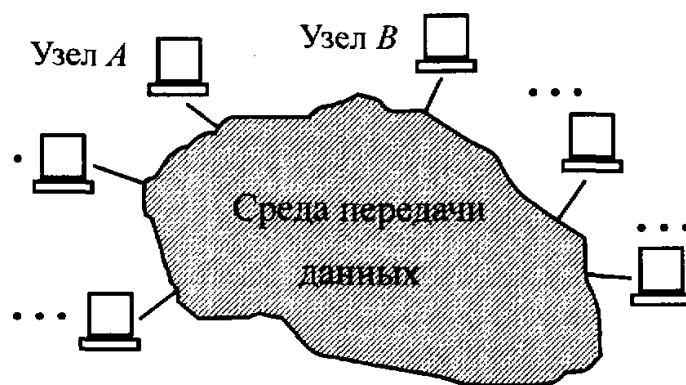


Рис. 4.2. Структура технического обеспечения САПР

Среда передачи данных представлена каналами передачи данных, состоящими из линий связи и коммутационного оборудования.

В каждом узле можно выделить оконечное оборудование данных (ООД), выполняющее определенную работу по проектированию, и аппаратуру окончания канала данных (АКД), предназначенную для связи ООД со средой передачи данных, например, в качестве ООД можно рассматривать персональный компьютер, а в качестве АКД — вставляемую в компьютер сетевую плату.

Канал передачи данных — средство двустороннего обмена данными, включающее в себя АКД и линию связи. Линией связи называют часть физической среды, используемую для распространения сигналов в

определенном положении. Примерами линий связи могут служить коаксиальный кабель, витая пара проводов, волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС). Близким является понятие канала (канала связи), под которым понимают средство односторонней передачи данных. Примером канала связи может быть полоса частот, выделенная одному передатчику при радиосвязи.

В качестве средств обработки данных в современных САПР широко используют рабочие станции, серверы, персональные компьютеры. На базе рабочих станций или персональных компьютеров создают АРМ. Типичный состав устройств АРМ: ЭВМ с одним или несколькими микропроцессорами, внешней, оперативной и кэш-памятью и шинами, служащими для взаимной связи устройств; устройства ввода-вывода, включающие в себя, как минимум, клавиатуру, мышь, дисплей; дополнительно в состав АРМ могут входить принтер, сканер, плоттер, дигитайзер, и некоторые другие периферийные устройства.

Рабочие станции (workstation) по сравнению с персональными компьютерами представляют собой вычислительную систему, ориентированную на выполнение определенных функций. Специализация обеспечивается как набором программ, так и аппаратно за счет использования дополнительных специализированных процессоров. Так, в САПР для машиностроения преимущественно применяют графические рабочие станции для выполнения процедур геометрического моделирования и машинной графики. Эта направленность требует мощного процессора, высокоскоростной шины, памяти достаточно большой емкости.

В зависимости от назначения существуют АРМ конструктора, АРМ технолога, АРМ руководителя проекта и т. п. Они могут различаться составом периферийных устройств, характеристиками ЭВМ.

Специфика САПР накладывает свои особенности даже на выбор стандартных компонент оборудования, например видеокарт. В силу особенностей задач, решаемых САПР, для их эффективного использования применяется достаточно широкий спектр специфического оборудования, как

правило, не имеющего хождения в других отраслях использования компьютеров. Подробно это оборудование рассмотрено в главе 5.

4.2. Математическое обеспечение САПР

Совокупность математических методов, моделей и алгоритмов, примененных в САПР, называют математическим обеспечением системы. Основу математического обеспечения САПР составляют алгоритмы и методики решения задач технологического проектирования. Алгоритмом называют конечный набор предписаний для получения решения задачи посредством конечного числа операций (действий). В соответствии с алгоритмами разрабатывают впоследствии программное обеспечение и выполняют автоматизированное проектирование. Разработка математического обеспечения является самым сложным этапом создания САПР, от которого в наибольшей степени зависит эффективность ее работы.

Математическое обеспечение САПР включает в себя: математические модели объекта проектирования (технологического процесса или его фрагментов), а также предмета производства (детали, сборочной единицы) в состояниях, соответствующих различным этапам проектируемого технологического процесса; формализованное описание принятой технологии автоматизированного проектирования. В любой САПР эти части математического обеспечения должны взаимодействовать. Эффективность взаимодействия определяет эффективность работы системы.

Практическое использование математического обеспечения происходит после его реализации в программном обеспечении.

4.3. Программное обеспечение САПР

Программное обеспечение САПР – совокупность программ на носителях данных и программных документов, предназначенных для ее отладки, эксплуатации и проверки работоспособности.

Программой называют данные, предназначенные для управления конкретными компонентами САПР, реализующие определенный алгоритм.

Физически в состав программного обеспечения входят документы с текстами программ; программы, записанные на машинных носителях информации; эксплуатационные документы. Программы и документы предназначены для всех средств вычислительной техники, эксплуатирующейся в составе САПР.

Различают системное и прикладное (специализированное) программное обеспечение. Системное программное обеспечение содержит набор программных средств, способствующих повышению эффективности использования вычислительных комплексов САПР и производительности труда персонала, обслуживающего эти комплексы.

К основным функциям системного программного обеспечения относят:

- управление процессом вычислений;
- ввод, вывод и частичная обработка информации;
- диалоговая взаимосвязь с пользователем в процессе проектирования;
- решение общематематических задач;
- хранение, поиск, сортировка и модификация данных, необходимых при проектировании, защита их целостности и защита от несанкционированного доступа;
- контроль и диагностика вычислительного комплекса.

Три первых и последнюю из указанных функций реализуют в современных вычислительных комплексах операционные системы.

Прикладное (специализированное) программное обеспечение включает прикладные программы и пакеты прикладных программ, основной функцией которых является формирование проектных решений. Прикладной называют программу, предназначенную для решения задачи или класса задач, в определенной области применения системы обработки информации. Систему прикладных программ, предназначенную для решения задач определенного класса, называют пакетом прикладных программ.

В САПР пакеты прикладных программ, как правило, применяют для выполнения конкретных проектных процедур, например, выбора оборудования, инструмента, определения режимов обработки и т.д. Прикладное программное обеспечение создают с учетом возможностей системного.

В целом состав и структура программного обеспечения определяются составом и структурой САПР и ее подсистем. Программное обеспечение — столь же важное и необходимое средство автоматизации проектирования как и технические средства. Однако в отличие от технических средств, являющихся универсальным инструментарием, используемым в одинаковом или почти одинаковом составе в различных видах САПР, прикладное программное обеспечение является оригинальным инструментом автоматизации и отражает всю специфику конкретной системы.

4.4. Информационное обеспечение САПР

Основу информационного обеспечения САПР составляет информация, используемая системой непосредственно для выработки проектных решений. Это информация об аналогах проектируемых процессов, о технологических свойствах материалов деталей, технологическом оборудовании, инструменте, которые могут быть применены в объекте проектирования. Сюда же относятся правила и нормы проектирования, а также правила и формы документирования его результатов.

Информацию, представленную в виде, пригодном для обработки автоматизированной системой, называют данными. Основная часть информационного обеспечения САПР представлена базой данных (БД) и системой управления базой данных (СУБД).

4.5. Лингвистическое обеспечение САПР

Лингвистическим обеспечением САПР называют совокупность средств и правил для формализации естественного языка, используемых пользователями и эксплуатационным персоналом САПР при общении с комплексом средств

автоматизации при эксплуатации системы. Лингвистическое обеспечение используют для представления и реализации информационного и программного обеспечения.

Основу лингвистического обеспечения САПР составляют специальные языковые средства (языки проектирования и программирования), предназначенные для общения человека с техническими и программными средствами автоматизации в процессе проектирования.

Язык проектирования – язык представления описаний объекта проектирования и их преобразований. Язык проектирования, применяемый для представления задания на проектирование, называют входным языком проектирования. Выходной язык проектирования предназначен для представления проектного решения, включая результат проектирования, в форме, удовлетворяющей требованиям его дальнейшего применения.

Языки программирования используют для представления описания способа решения задачи в форме конечной последовательности действий для исполнения компьютером. Машинным называют язык программирования, предназначенный для представления программ в форме, позволяющей выполнять их техническими средствами.

4.6. Организационно-методическое обеспечение САПР

Организационным обеспечением САПР называют совокупность документов, устанавливающих организационную структуру, права и обязанности пользователей и эксплуатационного персонала системы в условиях ее функционирования, проверки и обеспечения работоспособности. Методическое обеспечение образует совокупность документов, описывающих технологию функционирования САПР, методы выбора и применения пользователем технологических приемов для получения конкретных результатов при использовании системы. Проектные решения по организационному и методическому обеспечению входят в состав САПР в форме организационно-методических и эксплуатационных документов.

Компонентами организационного обеспечения САПР являются правила и приказы, регламентирующие права, обязанности и функции каждого участника разработки и эксплуатации САПР: эксплуатационного персонала, инженеров-программистов, системных администраторов, администраторов банка данных, технологов-проектировщиков. Организационное обеспечение САПР включает в себя комплект документов (приказов, положений, штатных расписаний, инструкций, графиков работ и др.), устанавливающих правила выполнения автоматизированного проектирования. Примерами таких документов являются: инструкция пользователя САПР, инструкция по эксплуатации технических средств АРМ, должностная инструкция системного администратора и т.д.

Организационное обеспечение регламентирует: взаимодействие технологических (проектирующих) и обслуживающих САПР подразделений; ответственность специалистов различного профиля и уровня за определенные виды работ; правила выпуска, использования и корректировки выходных документов САПР; правила доступа к базам данных и знаний; приоритеты пользования средствами САПР.

Документы, входящие в состав методического обеспечения САПР, регламентируют порядок (технология) ее эксплуатации. В них изложены теория, методы, способы, математические модели, алгоритмы, алгоритмические специальные языки для описания объектов, терминология, нормативы и другие данные, раскрывающие методологию (идеологию) функционирования системы. Документы методического обеспечения носят в основном инструкционный характер и ориентированы на неавтоматизированное использование человеком. В них в первую очередь раскрывается специфичная терминология, используемая при изложении основных принципов построения, структуры и действий, выполняемых пользователями и обслуживающим персоналом при эксплуатации САПР.

5. Специальное оборудование САПР

5.1. Плоттеры

Плоттер или графопостроитель – устройство для автоматического вычерчивания с большой точностью рисунков, схем, сложных чертежей, карт и другой графической информации на бумаге размером до А0. Плоттеры появились как необходимое дополнение к 2D САД-системам, так как традиционно чертежи исполняются на листах крупного размера, которые невозможно отпечатать на традиционном принтере. Часто вместо термина «плоттер» применяют «широкоформатный принтер».

Существуют так же режущие плоттеры, второе их название – каттеры. Они предназначены для резки бумаги, незаменимы в изготовлении различной рекламной продукции (листовки, визитки, календари). Рассмотрим подробнее печатающие плоттеры (графопостроители).

По принципу действия плоттеры делятся на перьевые, струйные, лазерные, электростатические и термографические.

Перьевые плоттеры создают изображение с помощью пишущих элементов, обобщенно называемых перьями, конструктивно напоминающих фломастеры или чернильные ручки. Имеется несколько видов таких элементов, отличающихся друг от друга используемым видом жидкого красителя.

Перьевые плоттеры в свою очередь делятся на планшетные (устройства с неподвижным носителем информации) и рулонные (устройства с перемещаемым носителем информации).

В планшетных плоттерах носитель информации укрепляется на плоской рабочей поверхности планшета (рис. 5.1). Закрепление либо электростатическое, либо вакуумное, либо механическое за счёт притягивания прижимающих бумагу пластинок к электромагнитам, вмонтированным в поверхность стола. Перемещение пишущего элемента осуществляется электромеханической координатной системой по двум осям. Недостатком плоттеров такого типа является громоздкость конструкции, т.к. требуется пространство, соответствующее расчерчиваемой области. Но достоинством

этого решения, вытекающим из его недостатка, является высокая точность позиционирования пишущего элемента и соответственно точность самого рисунка, наносимого на бумагу.



Рис. 5.1. Планшетный плоттер

Для рулонных плоттеров (рис. 5.2.) характерно наличие механизма перемещения пишущего элемента только по одной координате, запись информации по другой оси осуществляется путем перемещения самого носителя. По сравнению с планшетными плоттерами масса рулонных меньше в 3-5 раз, однако точность у таких графопостроителей, как правило, ниже, чем у планшетных. В настоящее время плоттеры с перьями практически не используются. На замену им пришли струйные и лазерные плоттеры.



Рис. 5.2. Рулонный плоттер

Струйный плоттер – это печатающее устройство, которое создает элементы изображения каплями чернил, вылетающими из сопла со скоростью, достаточной, чтобы преодолеть зазор между соплом и поверхностью, на которой формируется изображение (рис. 5.3). Хотя струйный принцип печати известен уже давно, эти устройства так и оставались бы экзотикой, если бы не изобретение, ставшее основой для "взрывного" распространения струйной технологии – это технология "пузырьковой" струйной печати (bubble-jet). Первый и основной патент на нее принадлежит Canon.



Рис. 5.3. Струйный плоттер

Технология "пузырьковой" струйной печати использует направленное распыление капелек чернил на бумагу при помощи мельчайших сопел печатающей головки. В стенку сопла встроен нагревательный элемент. При подаче электрического импульса температура его резко возрастает за 7-10 мкс. Практически все чернила, находящиеся в контакте с нагревательным элементом мгновенно испаряются. Расширение пара вызывает ударную волну. Под действием избыточного давления капля чернил "выстреливается" из сопла. После "выстрела" чернильный пар конденсируется, пузырек схлопывается и в сопле образуется зона пониженного давления, под действием которой новая порция чернил всасывается в сопло.

Лазерные плоттеры базируются на электрографической технологии. Они используют в качестве промежуточного носителя вращающийся барабан, покрытый слоем полупроводника. Заряженные лучом лазера области полупроводника притягивают сухой тонер, который потом переносится на проходящую под барабаном бумагу. После этого бумага с нанесенным тонером проходит через нагреватель, под действием тепла тонер запекается и закрепляется на бумаге, создавая изображение (рис. 5.4).

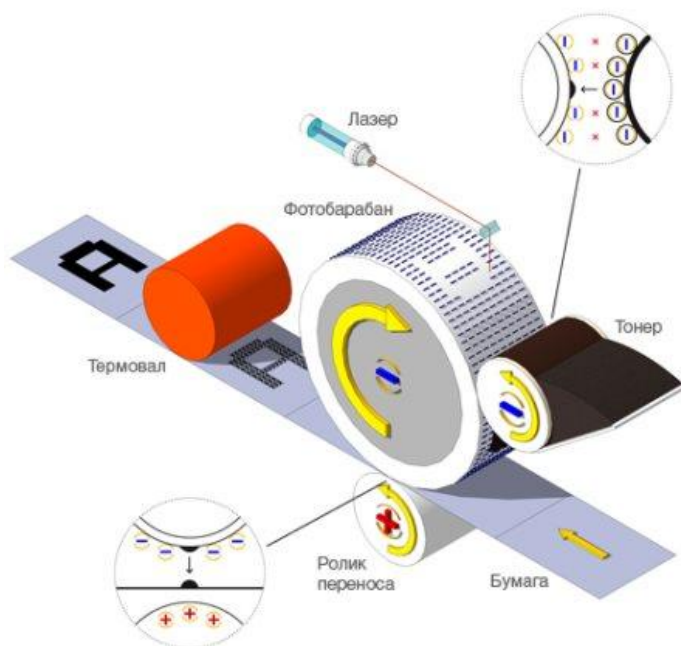


Рис. 5.4. Принцип работы лазерного плоттера

Электростатические плоттеры. Электростатическая технология основывается на создании скрытого электрического изображения (потенциального рельефа) на поверхности носителя – специальной электростатической бумаги, рабочая поверхность которой покрыта тонким слоем диэлектрика, а основа пропитана гидрофильными солями для обеспечения требуемых влажности и электропроводности. Потенциальный рельеф формируется при осаждении на поверхность диэлектрика свободных зарядов, образующихся при возбуждении тончайших электродов записывающей головки высоковольтными импульсами напряжения.

Когда бумага проходит через проявляющий узел с жидким намагниченным тонером, частицы тонера оседают на заряженных участках бумаги. Полная цветовая гамма получается за четыре цикла создания скрытого изображения и прохода носителя через четыре проявляющих узла с соответствующими тонерами.

Термографические плоттеры делятся на устройства прямого вывода изображения и устройства на основе термопередачи. В первых изображение создается на специальной термобумаге (бумаге, пропитанной теплочувствительным веществом) длиной (на всю ширину плоттера) «гребенкой» миниатюрных нагревателей. Термобумага, которая обычно подается с рулона, движется вдоль «гребенки» и меняет цвет в местах нагрева. Изображение получается высококачественным (разрешение до 800 тнд), однако только монохромным.

В плоттерах на основе термопередачи между термонагревателями и бумагой размещается «донорный цветоноситель» – тонкая, толщиной 5-20 мкм, лента, обращенная к бумаге красящим слоем, выполненным на восковой основе с низкой (менее 200 °С) температурой плавления. На донорной ленте последовательно нанесены области каждого из основных цветов размером, соответствующим листу используемого формата. В процессе вывода информации бумажный лист с наложенной на него донорной лентой проходит под печатающей головкой, которая состоит из тысяч мельчайших нагревательных элементов. Воск в местах нагрева расплавляется, и пигмент остается на листе. За проход наносится один цвет, и изображение получается за четыре прохода.

По производительности плоттеры делятся на графопостроители с высокой, средней, малой производительностью. Производительность электромеханических графопостроителей определяется динамическими параметрами устройства: максимальной скоростью и ускорением пишущего элемента.

По точности устройства плоттеры делятся на прецизионные – предназначенные для изготовления подлинников конструкторской документации, шаблонов, карт и т.д., средней точности – для контрольных прорисовок чертежей и схем и малой точности – для эскизной прорисовки в основном с экранов графических дисплеев.

Графопостроители могут работать автономно, воспринимая исходные данные с промежуточного носителя – диска, непосредственно с ЭВМ, используя интерфейсы различных типов.

Графопостроители состоят из трех основных частей: блока механизма, блока управления исполнительными каналами устройства и системы управления.

Блок механизма представляет собой планшетный или барабанный механизм, предназначенный для организации перемещения в плоскости чертежа пишущих элементов, а также их подъема и опускания.

Блок управления исполнительными каналами по координатам x и y строится как по замкнутому принципу (с использованием обратной связи), так и по разомкнутому принципу. В первом случае для привода применяются малоинерционные двигатели постоянного тока с датчиком обратной связи по положению и скорости, во втором случае – шаговые двигатели.

В современных плоттерах часто комбинируют печатающую и сканирующую головки, установленные на одной каретке. Такое многофункциональное устройство позволяет не только выводить на печать электронные чертежи и схемы, но и сканировать ранее созданные документы (например, выполненные вручную чертежи), а также создавать копии документов без их ввода в CAD-системы.

5.2. 3D-принтеры

3D-принтер – это периферийное устройство, использующее метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели. 3D-печать

может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов. Она широко используется для быстрого прототипирования.

Быстрое прототипирование (rapid prototyping) – технология быстрого создания физических геометрических макетов деталей и сборок, позволяющих оценить внешний вид детали, проверить элементы конструкции, провести необходимые испытания, изготовить мастер-модель для последующего литья.

Уже на этапе проектирования можно кардинальным образом изменить конструкцию узла или объекта в целом. В инженерии такой подход способен существенно снизить затраты в производстве и освоении новой продукции.

Технологии быстрого прототипирования начали развиваться в 80-х годах XX века и преимущественно основаны на принципе постепенного наращивания (добавления) материала или изменения фазового состояния вещества в заданной области пространства. На данный момент значительного прогресса достигли технологии послойного формирования трехмерных объектов по их компьютерным моделям. Построение прототипа происходит на основе твердотельной модели из CAD-систем или модели с замкнутыми поверхностными контурами. Большинство известных САПР обеспечивают экспорт моделей в формате STL, являющемся стандартом де-факто для быстрого прототипирования. Модель, записанная в этом формате, разбивается на тонкие слои в поперечном сечении с помощью специальной программы, причем толщина каждого слоя равна разрешающей способности оборудования по Z-координате. Построение детали происходит послойно до тех пор, пока не будет получен физический прототип.

Принципиальная схема всех устройств прототипирования одинакова: на рабочий стол наносится тонкий слой материала, воспроизводящего первое сечение изделия, затем стол смещается на шаг вниз, и наносится следующий слой. Таким образом, слой за слоем воспроизводится полный набор сечений модели, реализуя требуемую форму. Основным различием между технологиями являются используемый материал и способ его нанесения. Остановимся на самых основных технологиях.

Стереолитография (Stereolithography, SLA) является первым появившимся и наиболее распространенным методом прототипирования. Принцип метода состоит в послойном отверждении жидкого фотополимера лазерным лучом, направляемым сканирующей системой. Стол-элеватор находится в емкости с жидким фотополимером, шаг вертикального перемещения варьируется в диапазоне 0,025–0,3 мм, что позволяет получать достаточно хорошее качество поверхности.

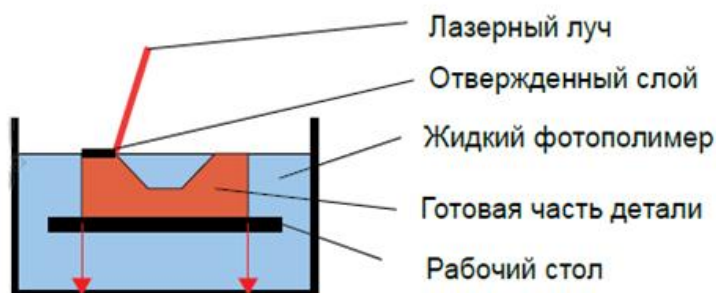


Рис. 5.5. Схема стереолитографического процесса

После полимеризации получается достаточно твердый, но хрупкий полупрозрачный материал, подверженный короблению под влиянием атмосферной влаги. Материал легко обрабатывается, склеивается и окрашивается. Главным преимуществом стереолитографии можно считать высокую точность печати. Среди недостатков SLA обычно называют высокую стоимость оборудования и расходного материала.

Селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering, SLS) – это метод аддитивного производства, который заключается в спекании мелкодисперсного порошкового материала с помощью лазера. В качестве рабочего материала используются порошковый пластик, металл или керамика, близкие по свойствам к конструкционным маркам. На поверхность наносится тонкий слой порошка, который затем спекается лазерным лучом, формируя твердую массу, соответствующую сечению 3D-модели и определяющую геометрию детали.

SLS – это единственная технология, которая может быть применена для изготовления металлических деталей и формообразующих для пластмассового и металлического литья. Прототипы из пластмасс обладают хорошими механическими свойствами, могут быть использованы для создания полнофункциональных штучных изделий.

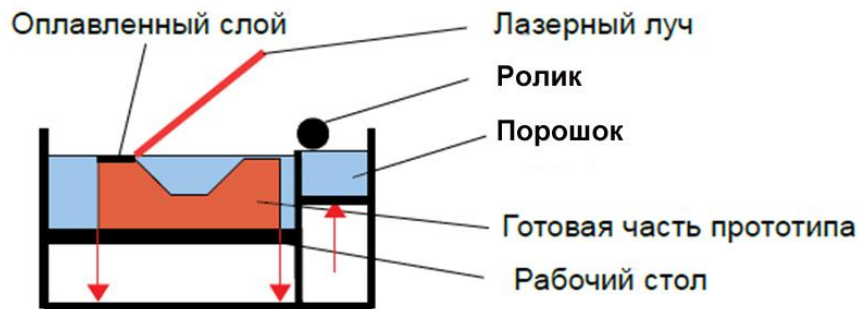


Рис. 5.6. Схема SLS процесса

Ламинирование листовых материалов (Laminated Object Manufacturing, LOM). Технология подразумевает последовательное склеивание листового материала (бумаги, пластика, металлической фольги) с формированием контура каждого слоя с помощью лазерной резки. Контур слоя вырезается лазером, а поверхность, которую нужно затем удалить, режется лазером на мелкие квадратики. После извлечения созданной детали мелко порезанные излишки материала легко удаляются.



Рис. 5.7. Схема LOM процесса

Структура полученного прототипа похожа на древесную, боится влаги. Особенностью технологии LOM является низкая себестоимость благодаря общедоступности расходных материалов. Однако разрешение печати несколько уступает таким высокоточным методам, как стереолитография (SLA) или выборочное лазерное спекание (SLS).

Многоструйное моделирование (Multi Jet Modelling, MJM). В этой технологии головка, содержащая от двух до десятков сопел, наносит модельный и поддерживающий материал на плоскость слоя. После нанесения слоя могут проводиться его фотополимеризация и механическое выравнивание.

В качестве поддерживающего материала обычно используется воск, а в качестве модельного – широкий спектр материалов, очень близких по свойствам к конструкционным термопластам. Данный метод позволяет получать прозрачные и окрашенные прототипы с различными механическими свойствами – от эластичных, похожих на резину, до твердых, похожих на пластики. Эта технология, помимо высокого качества получаемых моделей, достаточно просто реализуется в небольших габаритах, буквально в виде 3D-принтеров, доступных многим.

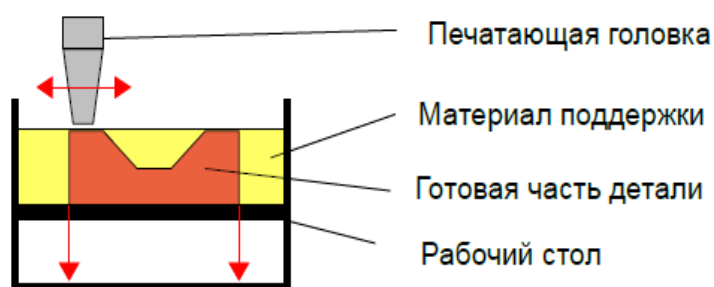


Рис. 5.8. Схема процесса струйной 3D печати

Простейший из процессов "струйной" объемной печати – **моделирование методом послойного наплавления** (Fused deposition modeling, FDM). Изделие производится выдавливанием («экструзией») и нанесением микрокапель расплавленного термопластика с формированием последовательных слоев, застывающих сразу после экструдирования.

Пластиковая нить разматывается с катушки и поступает в экструдер – устройство, оснащенное механическим приводом для подачи нити, нагревательным элементом для плавки материала и соплом, через которое осуществляется непосредственно экструзия. Нагревательный элемент служит для нагревания сопла, которое в свою очередь плавит пластиковую нить и подает расплавленный материал на строящуюся модель.

Технология FDM отличается высокой гибкостью, но имеет определенные ограничения. Хотя создание нависающих структур возможно при небольших углах наклона, в случае с большими углами необходимо использование искусственных опор, как правило, создающихся в процессе печати и отделяемых от модели по завершении процесса.

В качестве расходных материалов доступны всевозможные термопластики и композиты, включая ABS, PLA, поликарбонаты, полиамиды, полистирол, лигнин и многие другие.

5.3. Дигитайзеры

Дигитайзер – графический планшет, преобразующий готовое, бумажное или векторное изображение в цифровой формат. Свое название дигитайзеры получили от английского digit – цифра. То есть по-русски их можно назвать просто "оцифровыватели". Дигитайзер предназначен для профессиональных графических работ. С помощью специального программного обеспечения он позволяет преобразовывать движение руки оператора в формат векторной графики. Первоначально дигитайзер был разработан для приложений систем автоматизированного проектирования, так как в этом случае необходимо определять и задавать точное значение координат большого количества точек. В отличие от мыши дигитайзер способен точно определять и обрабатывать абсолютные координаты.

В состав дигитайзера, помимо самого планшета, на котором располагают чертеж или карту, предназначенную для оцифровки, входит специальный указатель (курсор, стилус или перо). Зачастую на рабочем поле дигитайзера

располагали и элементы интерфейса САD-программ, тем самым освобождая дополнительное рабочее пространство графического дисплея для изображения чертежа.

Графический планшет может иметь различные форматы: от А2 - для профессиональной деятельности и меньше – для более простых работ.

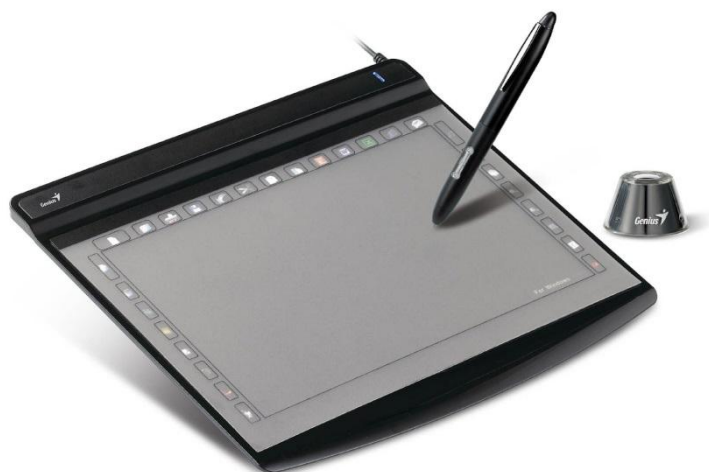


Рис. 5.9. Дигитайзер

По принципу действия различают пять видов дигитайзеров.

1. Акустические. Это одни из первых графических планшетов. Рисующее перо генерировало так называемые звуковые искры, которые улавливали микрофоны экрана. Таким образом, устройство определяло координаты информации. Существенным недостатком работы с планшетом было то, что ввод информации необходимо было делать в абсолютной тишине, так как акустические помехи могли испортить картинку.

2. Электромагнитные. Под поверхностью экрана проходила проволочная сетка, излучающая слабые электромагнитные сигналы. Перо улавливало их, и так происходила фиксация его местоположения.

3. Дигитайзеры с пассивным курсором. В них использовался все тот же принцип электромагнитной индукции, только в этих устройствах проволочная сетка и передавала сигналы, и принимала их. Ввод информации происходил при нажатии пера и бесконтактным путем. Рисующий прибор не требовал питания.

4. Дигитайзеры с активным курсором. В этих устройствах генератор сигналов перемещен в перо. Курсор излучает электромагнитные волны, а планшет служит приемником. Соответственно, ему необходимо питание. Электрические сигналы дают более четкое изображение, чем электромагнитные.

5. Сенсорные. Новый этап в использовании дигитайзеров в САПР наступил с появлением крупноформатных тонких ЖКИ дисплеев – их совмещение с чувствительной поверхностью планшета принципиально изменило стиль работы. Теперь точное указание позиции курсора можно осуществлять прямо на изображении, то есть наиболее естественным способом, аналогичным рисованию на бумаге, но с использованием всех возможностей компьютерных графических редакторов: привязки к сетке и объектам, автоматического выравнивания, построения перпендикуляров и касательных и т. д.

Под поверхностью экрана в сенсорных дигитайзерах находятся координатные провода. Они разделены тонким изолятором. Под давлением на стилус меняется проводимость. Чувствительный экран восприимчив и к координатам, и к силе нажима рисующего прибора.

5.4. 3D-манипуляторы

3D-манипуляторы – устройства, которые обеспечивают интуитивную навигацию в трехмерном пространстве, возможность работать обеими руками: панорамирование, изменение масштаба изображения и поворот выполняются одним плавным движением джойстика, в отличие от работы с обычной мышью, которая позволяет одновременно выполнять лишь одно действие, что влечет за собой многочисленные остановки для позиционирования модели. 3D манипулятор призван избавить от утомительных переключений между мышью и клавиатурой для позиционирования моделей или объектов на экране в трехмерных приложениях. При работе обеими руками управление видом

осуществляется 3D-манипулятором, а указание координат рабочего курсора – мышью, что сокращает количество переключений и ускоряет работу (рис. 5.10).

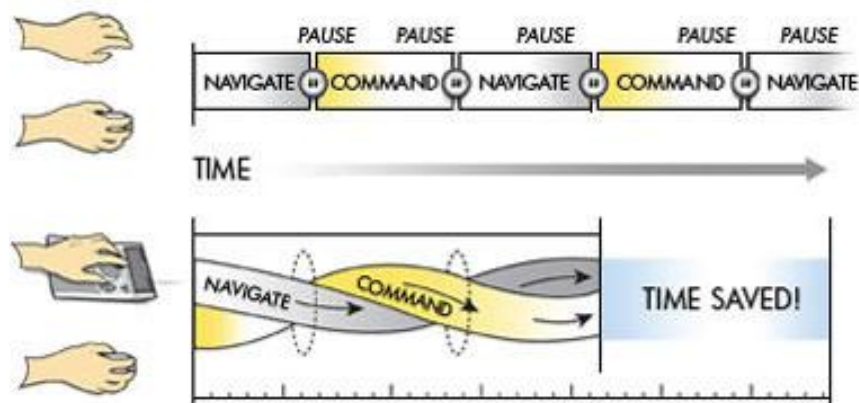


Рис. 5.10. Сравнение времени работы только с мышью и совместно с мышью и манипулятором

Манипуляторы могут оснащаться набором перепрограммируемых кнопок, позволяющих мгновенно вызывать основные команды для тех или иных приложений, в некоторых моделях имеются ЖК-дисплеи (рис. 5.11). Продвинутое модели 3D-манипуляторов могут соединяться с Интернетом и получать уведомления о почте, принимать и отправлять файлы. Также с их помощью можно, не отрывая руки от 3D-мыши, загружать в компьютер нужную модель, сохранять ее и т.д. Словом, все для повышения удобства конечного пользователя.



Рис. 5.11. 3D манипуляторы разных конструкций

Пример АРМ конструктора, которое оснащено помимо стандартных дисплея, клавиатуры и мыши специальными устройствами – дигитайзером и 3D манипулятором, представлен на рис 5.12.



Рис 5.12. Комбинация оборудования АРМ конструктора

5.5. 3D-сканеры

3D-сканер – периферийное устройство, анализирующее физический объект и на основе полученных данных создающее его 3D-модель.

Несмотря на наличие мощных редакторов, для создания 3D-моделей «с нуля» существует ряд задач, в которых требуется получение полной электронной модели либо информации о ее геометрии по существующему физическому объекту. Это могут быть: контроль качества, реконструкция (воссоздание продукции компании-конкурента), оцифровка макета, созданного дизайнером вручную, использование геометрии образца для последующего быстрого изготовления упаковки и т. д. Для выполнения таких работ применяются 3D-сканеры, которые существуют двух основных типов: контактные и бесконтактные.

Контактные сканеры построены по принципу обвода модели специальным высокочувствительным щупом, посредством которого в

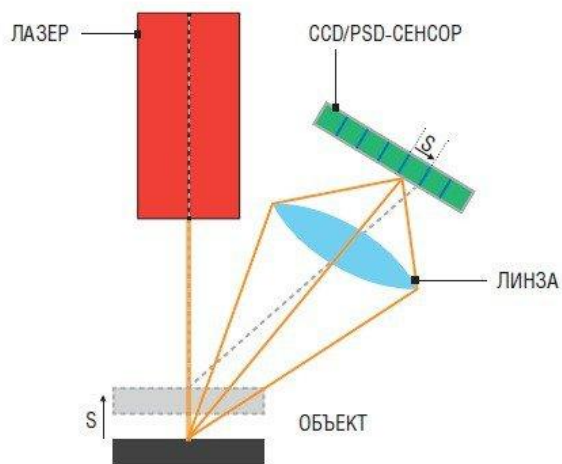
компьютер передаются трехмерные координаты сканируемой модели (рис 5.13). Достоинством контактных сканеров являются простота сканирования призматических частей, независимость от освещения, точное определение ребер. Однако контактное сканирование требует значительного времени, щуп должен касаться объекта сканирования, что не всегда приемлемо, т.к. он может повредить или изменить форму сканируемого объекта. Поэтому все более широкое распространение находят бесконтактные сканеры.



Рис. 5.13. Работа с контактным 3D сканером

Принцип работы бесконтактного сканера основан на проецировании лазерного луча на объект сканирования. Все искажения воспринимаются измерительной камерой, которая отслеживает физическое положение лазера (рис. 5.14 а). По совокупности этих данных вычисляются координаты точек на поверхности. Для привязки к объекту на него в произвольном порядке, с расстоянием от 20 до 100 мм друг от друга, наклеиваются самоклеящиеся светоотражающие круглые маркеры (рис. 5.14 б). Это позволяет сканировать объект целиком, со всех сторон, как изнутри, так и снаружи, не прибегая к склейке сканов, что существенно экономит время. Более того, процесс

сканирования можно прервать, уточнить и детально рассмотреть уже отсканированное.



а

б

Рис. 5.14. Бесконтактный 3D сканер: а – принцип действия, б – работа с ним

Полученные методом сканирования 3D-модели в дальнейшем могут быть обработаны средствами САПР и использованы для разработки технологии изготовления (САМ) и инженерных расчетов (САЕ).

6. Геометрическое моделирование в САПР

Геометрические модели в САПР используются для решения многих задач: визуализации, построения расчетных сеток, генерации управляющих программ ЧПУ и т. д.

В первую очередь они предназначены для хранения информации о форме объектов и их взаимном расположении и предоставления ее для обработки в удобном для компьютерной программы виде. В этом ключевое отличие электронной геометрической модели от чертежа, который представляет собой условное символично-графическое изображение, предназначенное для чтения человеком.

Двумерные модели, которые позволяют формировать и изменять чертежи, были первыми моделями, нашедшими применение. Применяются они в промышленности и до сих пор, т.к. существенно дешевле в отношении алгоритмов и программного обеспечения. Однако двумерное представление часто не совсем удобно для достаточно сложных изделий.

Трёхмерная модель служит для того, чтобы создать виртуальное представление изделия во всех трех измерениях. Выделяют три основных типа трёхмерных моделей: каркасные («проволочные»), поверхностные, твёрдотельные (объемные). Рассмотрим их подробнее.

6.1. Каркасное моделирование

Это исторически первая технология представления объемной геометрии, которая естественным образом развилась из систем 2D-черчения. Каркасная модель представляет собой скелетное описание поверхности трёхмерного тела. Она состоит из точек, отрезков и кривых, описывающих рёбра тела (рис. 6.1).

Каркасные модели дают неоспоримые преимущества по сравнению с моделированием на плоскости. Они помогают более ясно представлять модель и надежно контролировать взаимное расположение составляющих ее элементов. Кроме того, каркасы можно использовать и для создания

проекционных видов. Достаточно простые структуры данных и алгоритмы работы с каркасами позволили реализовать их на маломощном оборудовании конца 70-х годов XX века.

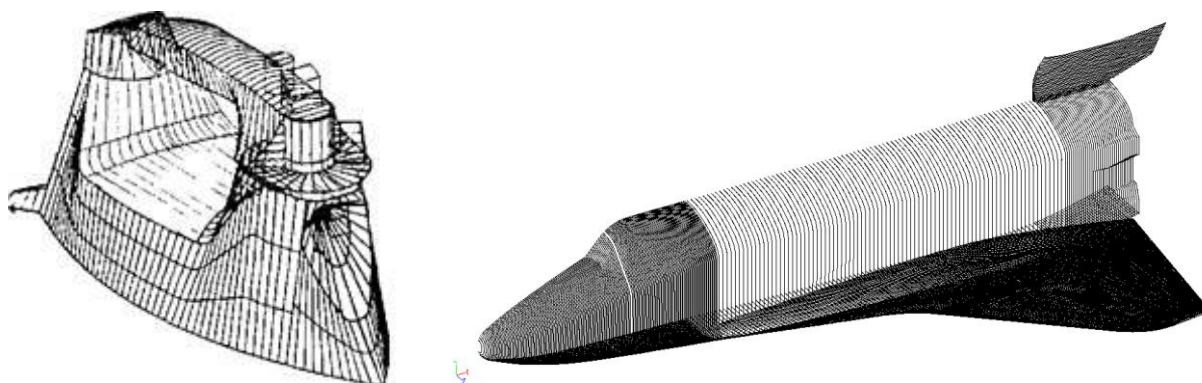


Рис. 6.1. Примеры каркасных моделей

Недостаток каркасного представления моделей состоит в том, что программы не могут отобразить всех особенностей поверхностей, определяемых каркасами, и это делает невозможным построение, например, точных сечений. Визуальное представление достаточно аскетичное и в ряде случаев не дает возможности однозначно интерпретировать увиденное.

Тем не менее, даже такая, имеющая множество ограничений технология, позволила существенно расширить функциональные возможности САПР по сравнению с 2D-системами. В настоящее время построение каркасов также используется в геометрическом моделировании САПР, но лишь как вспомогательная система промежуточных построений.

6.2. Поверхностное моделирование

Поверхностная модель состоит из плоских граней. Поскольку грани плоские, формирование криволинейных поверхностей производится путём их аппроксимации.

Поверхностное моделирование имеет следующие преимущества по сравнению с каркасным:

- обеспечивает получение тоновых трехмерных изображений;

- обеспечивает качественную визуализацию, более простой переход к построению расчетных сеток для численного моделирования;
- даёт возможность распознавать особые построения на поверхности, например, отверстия;
- обеспечивает ряд полезных функций, таких как построение пространственных сопряжений, сечений, определение линии пересечения оболочек, генерацию чертежных проекций.

Поверхностные модели различаются по способу аппроксимации поверхности. Различают полигональную и NURBS-аппроксимацию.

Более простой в части структуры данных и используемых для работы с ними алгоритмов является **полигональная аппроксимация**, когда поверхность представляется набором взаимосвязанных плоских граней. Как правило, полигональные грани имеют три вершины, но могут иметь и четыре вершины и, соответственно, как треугольную, так и четырехугольную форму. Такая аппроксимация легко строится, для нее разработаны эффективные алгоритмы реалистичной визуализации, она не требует значительных вычислительных ресурсов, хотя может быть и затратной по памяти. Главным ограничением подобной аппроксимации является то, что она имеет фиксированную точность, то есть отклонение положения модельной поверхности от «идеальной» моделируемой. Для достижения высокой точности требуется создание сеток с малым шагом, что ведет к росту требований к вычислительным возможностям системы. Поэтому использование полигональной аппроксимации в САПР на текущий момент ограничено подсистемами визуализации и простейшего 3D-эскизирования. Более широкое применение полигональная аппроксимация нашла в игровых приложениях.

Недостатков полигональной аппроксимации поверхности лишена **технология NURBS** (Non-Uniform Rational B-Spline, неоднородные рациональные сплайны Безье), наиболее часто используемая в практике САПР на сегодняшний день.

Сплаины – это гладкие (имеющие несколько непрерывных производных) кусочно-полиномиальные функции, которые могут быть использованы для представления функций, заданных большим количеством значений и для которых неприменима аппроксимация одним полиномом. NURBS-геометрия основана на кривых, математическая концепция которых была разработана французским инженером Пьером Безье. Кривые Безье располагаются между *управляющими вершинами* и основаны на уравнениях третьего порядка.

Для создания кривой Безье требуются как минимум четыре управляющих вершины (рис. 6.2). Установка каждой следующей такой вершины приводит к появлению очередного участка кривой, или сплайна, изогнутого наиболее удобным способом.

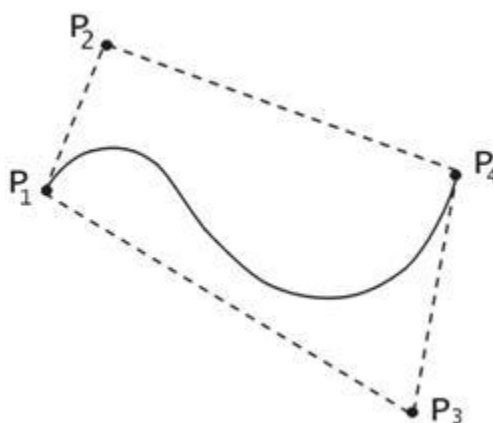


Рис.6.2. Параметрический сплайн в форме Безье

В то время как управляющие вершины контролируют кривизну сплайна Безье, сами сплайны, называемые изопараметрическими кривыми, определяют кривизну NURBS-поверхности. Расстояние между двумя изопараметрическими кривыми называется интервалом. Чем больше количество интервалов, тем более детализированной является поверхность.

Такое описание поверхности обеспечивает определение координат любой ее точки, радиуса кривизны в ней, направления нормали к поверхности с высокой точностью.

В определенной степени NURBS-представление является развитием полигонального, но в отличие от него позволяет описывать не только плоские, но и криволинейные грани и ребра (кромки).

Технология NURBS обеспечивает реализацию ряда функциональных возможностей, недоступных или существенно ограниченных при использовании каркасного либо полигонального представления: вычисление радиуса кривизны поверхностей, их гладкое сопряжение, построение траекторий на поверхности, что важно для подготовки ЧПУ-программ, получение точных изображений, спроецированных на плоскость, например для получения чертежных видов.

На рис. 6.3 в сравнении показаны две поверхностные модели. Одна из них выполнена с помощью NURBS-технологии, а вторая – полигональной. Очевидно, что вторая модель более «угловатая» и далека от реального объекта.

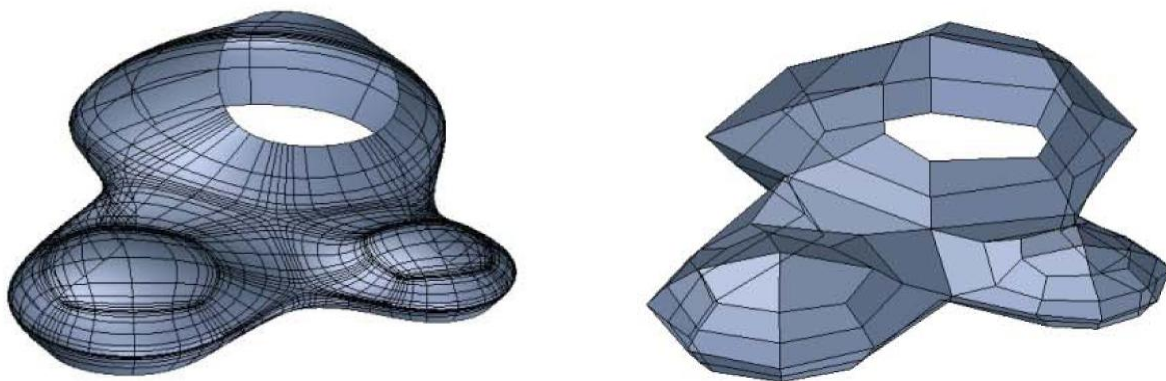


Рис. 6.3. Поверхностные модели, выполненные по NURBS-технологии (слева) и с помощью полигональной аппроксимации (справа)

6.3. Твёрдотельное моделирование

Несмотря на достаточно широкие возможности, которые предоставляет поверхностное моделирование, и оно имеет ряд существенных ограничений с точки зрения использования в САПР. Это невозможность вычисления объемов, масс и моментов инерции объектов, ограниченность применения к ним булевых операций (вычитания, объединения, пересечения). Эти ограничения снимаются

при использовании твердотельного моделирования, ставшего на сегодня стандартом в 3D CAD/CAM/CAE-системах.

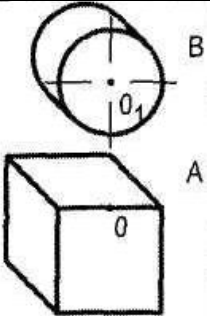
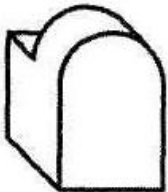
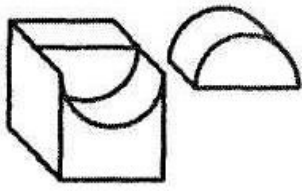

Неоспоримыми преимуществами твердотельных моделей являются:

- полное определение объемной формы и возможность разграничения внешней и внутренней областей объекта, что необходимо для обнаружения нежелательных взаимовлияний компонентов;
- обеспечение автоматического удаления скрытых линий;
- автоматическое построение трехмерных разрезов компонентов, что особенно важно при анализе сложных сборочных изделий;
- применение перспективных методов анализа с автоматическим вычислением объемных и весовых характеристик и разбиением трехмерных моделей на твердотельные конечные элементы для проведения расчета напряжений.

Методы твердотельного моделирования, которые используются в прикладных системах, делятся на метод конструктивного представления, метод граничного представления и метод пространственного заполнения.

Моделирование методом конструктивного представления осуществляется с использованием базовых объемных элементов (БОЭ), каждый из которых характеризуется формой, размерами, точкой привязки и ориентацией. Для создания модели составного объекта пользователь может задавать положение и параметры БОЭ, указывать булевы операции, которые необходимо выполнить над ними. Сущность трех основных булевых операций проиллюстрирована на примере выбора в качестве БОЭ цилиндра и параллелепипеда (табл. 6.1). *Операция объединения* определяет пространство внутри внешней границы составной формы, полученной из двух тел с общей областью. Она определяет результирующую составную форму как одну. *Операция разности* определяет пространство, ограниченное поверхностью, оставшейся от одной формы, и внешней границей общей области двух форм. *Операция пересечения* определяет пространство внутри границ общей области объектов.

Результаты булевых операций с твердотельными примитивами

Твердотельные примитивы	Булева операция		
	Объединение	Разность	
	$A \cup B$ 	$A - B$ $B - A$ 	$A \cap B$ 

Иерархическая структура, описывающая тела как последовательность применения булевых операций над набором элементарных твердых тел, носит название CSG-дерево (Constructive Solid Geometry tree). Конструктивная твердотельная геометрия оперирует примитивами, к которым, как правило, относят прямоугольную призму, треугольную призму, сферу, цилиндр, конус и тор. Используемые конструктивной твердотельной геометрией поверхности (сферическая, цилиндрическая, коническая, поверхность тора и плоскость) делят пространство на две части и для них можно указать, с какой стороны поверхности находится внутренний объем тела. Неявное представление поверхностей дает возможность получить линии их пересечения в аналитической форме. Конструктивная твердотельная геометрия позволяет моделировать большинство промышленных деталей.

Моделирование методом граничного представления (BREP, Boundary Representation) основано на сохранении в памяти компьютера всех тех элементов, которые создают границы объекта. Такими элементами являются поверхности и указатели пересечения поверхностей (рис. 6.4).

Преимущества описания границами заключаются в следующем: возможности моделирования форм больше, чем при описании сплошными телами; быстрый и эффективный доступ к геометрической информации,

которая требуется для прорисовки или других прикладных целей; относительно простое создание геометрических поверхностей свободных форм.

К недостаткам можно отнести: больший, чем при твердотельном описании, объем исходных данных, меньшая, по сравнению с твердотельной, логическая устойчивость модели, т. е. вероятность создания противоречивых моделей.

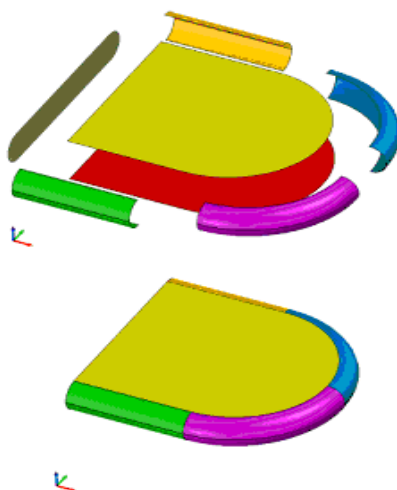


Рис. 6.4. BREP-представление простых твердых тел

Моделирование методом пространственного заполнения называется также ячеечным. При использовании этого метода ограниченный участок пространства, охватывающий весь моделируемый объект, считается разбитым на большое число дискретных кубических ячеек (рис. 6.5). В простейшем случае размеры ребра куба равны единице измерения длины. Моделирующая система записывает информацию о принадлежности или непринадлежности каждого куба телу объекта.

Структура данных представляется трехмерной матрицей, в которой каждый элемент соответствует пространственной ячейке. С одной стороны, ячеечный метод имеет преимущества, определенные простотой, с другой – недостатки, обусловленные большим объемом памяти, необходимым для записи объекта с высоким разрешением.



Рис. 6.5. Ячеечное представление твердых тел

6.4. Принципы твердотельного моделирования деталей и сборок

В общем случае порядок создания модели детали включает:

- формирование основания;
- приклеивание и вырезание дополнительных элементов;
- построение массивов элементов и зеркальное копирование;
- создание дополнительных конструктивных элементов.

Формирование отдельных трехмерных объектов начинается с создания **эскиза** – плоской фигуры, на основе которой образуется объемное тело. Эскиз может располагаться в одной из ортогональных плоскостей координат, на плоской грани существующего тела или во вспомогательной плоскости, положение которой задано пользователем. Эскиз изображается на плоскости стандартными средствами двумерного редактора.

Одним из основных понятий при описании эскиза является контур – графический объект (отрезок, дуга, сплайн, прямоугольник и т.д.) или совокупность последовательно соединенных графических объектов.

При создании эскизов нужно руководствоваться следующими правилами:

- контуры в эскизе не должны пересекаться и иметь общих точек;
- контур в эскизе изображается основной линией;
- эскиз может содержать несколько слоев.

Основные ошибки при создании эскизов показаны на рис. 6.6. Особо следует отметить такую ошибку как наложение отрезков одинаковой толщины.

При работе в любой САД-системе такая ошибка визуально не заметна, однако она не позволит применить к эскизу объемные операции.

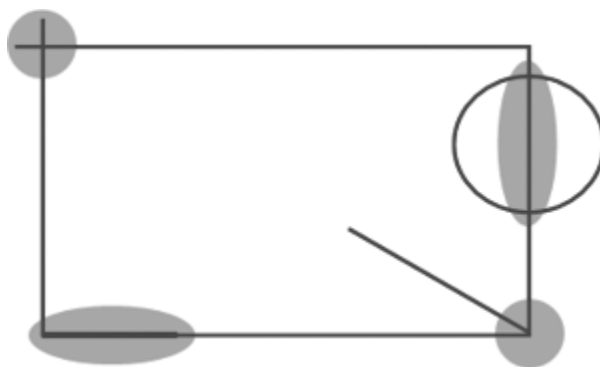


Рис. 6.6. Ошибки в эскизе

На основе эскизов создаются объемные элементы. Формообразующее перемещение эскиза, в результате которого образуется объемный элемент, называется **операцией**. Существует четыре вида операций: выдавливания, вращения, кинематическая, по сечениям. Примеры создания объёмных тел с помощью этих операций приведены на рис. 6.7.

Суть операции выдавливания (рис. 6.7, а) заключается в том, что контур перемещается на заданное расстояние в выбранном направлении. Возможно перемещение контура одновременно в двух направлениях.

Операция вращения (рис. 6.7, б) осуществляется путём вращения контура относительно оси вращения, заданной в эскизе. В этом случае к эскизу предъявляются дополнительные требования: ось вращения должна быть изображена в эскизе осевой линией; ось вращения должна быть одна; ни один из контуров не должен пересекать ось вращения.

Суть кинематической операции (рис. 6.7, в) заключается в перемещении контура вдоль заданной траектории. При выполнении кинематической операции используются как минимум два эскиза: в одном из них изображено сечение кинематического элемента, а в остальных – траектория движения сечения. В эскизе-сечении может быть только один контур, который может быть разомкнутым или замкнутым. При построении эскиза-траектории должны выполняться следующие условия: в эскизе-траектории может быть один контур

или несколько последовательно соединенных друг с другом контуров; если контур разомкнут, его начало должно лежать в плоскости эскиза-сечения; если контур замкнут, он должен пересекать плоскость эскиза-сечения; эскиз-траектория должен лежать в плоскости, не параллельной плоскости эскиза-сечения и не совпадающей с ней.

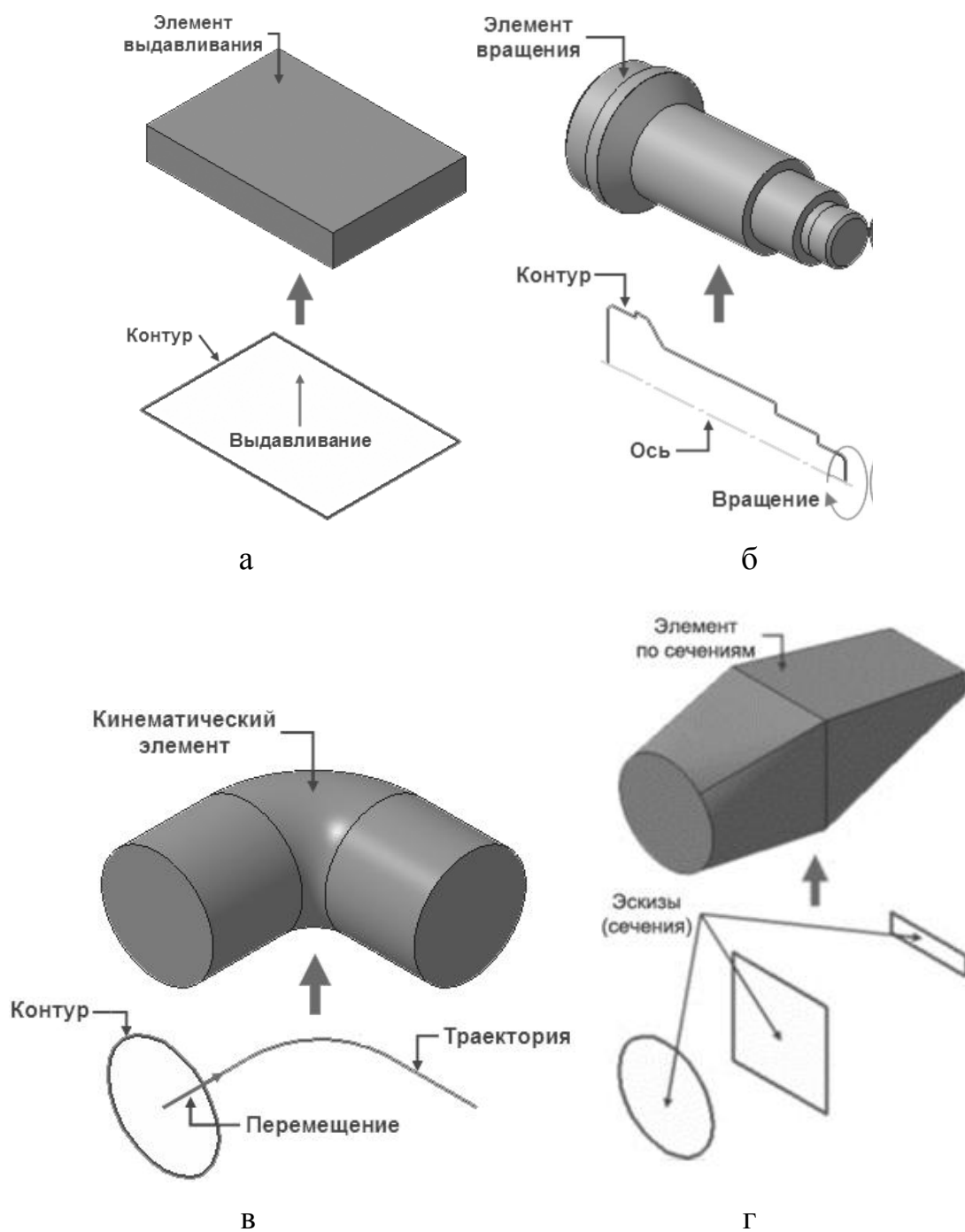


Рис. 6.7. Основные формообразующие операции создания трехмерных объектов: а – выдавливания, б – вращения, в – кинематическая, г – по сечениям

При выполнении операции по сечениям (рис. 6.7, г) используется несколько эскизов, в каждом из которых изображено сечение элемента. Эта операция предъявляет к эскизам следующие требования: эскизы могут быть расположены в произвольно ориентированных плоскостях; в каждом эскизе может быть только один контур; контуры в эскизах должны быть или все замкнуты, или все разомкнуты.

После создания основания детали производится "приклеивание" или "вырезание" дополнительных объемов. Каждый из них представляет собой элемент, образованный при помощи перечисленных выше операций над эскизами. При выборе типа операции нужно сразу указать, будет создаваемый элемент вычитаться из основного объема или добавляться к нему. Примерами вычитания объема из детали могут быть различные отверстия, проточки, канавки, а примерами добавления объема – бобышки, выступы, ребра.

Сборка – трехмерная модель, объединяющая модели деталей, подборок и стандартных изделий (они называются компонентами сборки). Она также содержит информацию о взаимном положении компонентов и зависимостях между параметрами их элементов. Состав сборки и взаимное расположение ее компонентов задается пользователем.

Выделяют следующие способы проектирования сборок: проектирование "снизу вверх"; проектирование "сверху вниз"; смешанный способ проектирования.

Проектирование сборки "снизу вверх" представляет собой последовательное добавление в сборку готовых деталей (компонентов), сопровождающееся установлением их взаимного расположения. Такой порядок проектирования используется крайне редко и только при создании сборок, состоящих из небольшого количества деталей. Это вызвано тем, что для моделирования отдельных деталей с целью последующей их "сборки" требуется точно представлять их взаимное положение и топологию изделия в целом, вычислять и специально записывать размеры одних деталей для того, чтобы в зависимости от них устанавливать размеры других деталей

Проектирование сборки "сверху вниз" характеризуется тем, что компоненты сборки можно моделировать непосредственно в самой сборке. Причем такой порядок проектирования предпочтителен по сравнению с проектированием "снизу вверх", так как он позволяет автоматически определять параметры и форму взаимосвязанных компонентов и создавать параметрические модели типовых изделий.

Однако на практике чаще всего используется смешанный способ проектирования, сочетающий в себе приемы проектирования "сверху вниз" и "снизу вверх".

7. Параметрическое моделирование

Параметрическое моделирование (параметризация) – моделирование с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами. Параметрами могут быть координаты точек, величины углов, длин, радиусов окружностей или эллипсов. Отношения между параметрами называют ограничениями. Для инженера-конструктора такие ограничения выглядят как размеры, алгебраические соотношения или геометрические соотношения (например, отношения совпадения, параллельности, перпендикулярности или касательности простейших геометрических форм: точек, линий, окружностей, эллипсов и т. д.). Параметризация позволяет конструктору с помощью изменения параметров или геометрических соотношений смоделировать различные конструктивные схемы и избежать принципиальных ошибок.

Параметрическое проектирование существенно отличается от обычного двумерного черчения или трехмерного моделирования. В случае параметрического проектирования создается математическая модель объектов с параметрами, при изменении которых происходят изменения конфигурации и размеров деталей, их взаимного расположения в сборках и т. п.

На практике применяется достаточно много различных методов параметризации, на сегодняшний день нет однозначно преобладающего решения. Рассмотрим наиболее часто применяемые на практике методы.

7.1. Табличная параметризация

Табличная параметризация заключается в создании таблицы параметров типовых деталей. Создание нового экземпляра детали производится путем выбора из таблицы типоразмеров (рис. 7.1). Возможности табличной параметризации весьма ограничены, поскольку задание произвольных новых значений параметров и геометрических отношений обычно невозможно. Однако табличная параметризация находит широкое применение во всех параметрических САПР, поскольку позволяет существенно упростить и

ускорить создание библиотек стандартных и типовых деталей, а также их применение в процессе конструкторского проектирования.

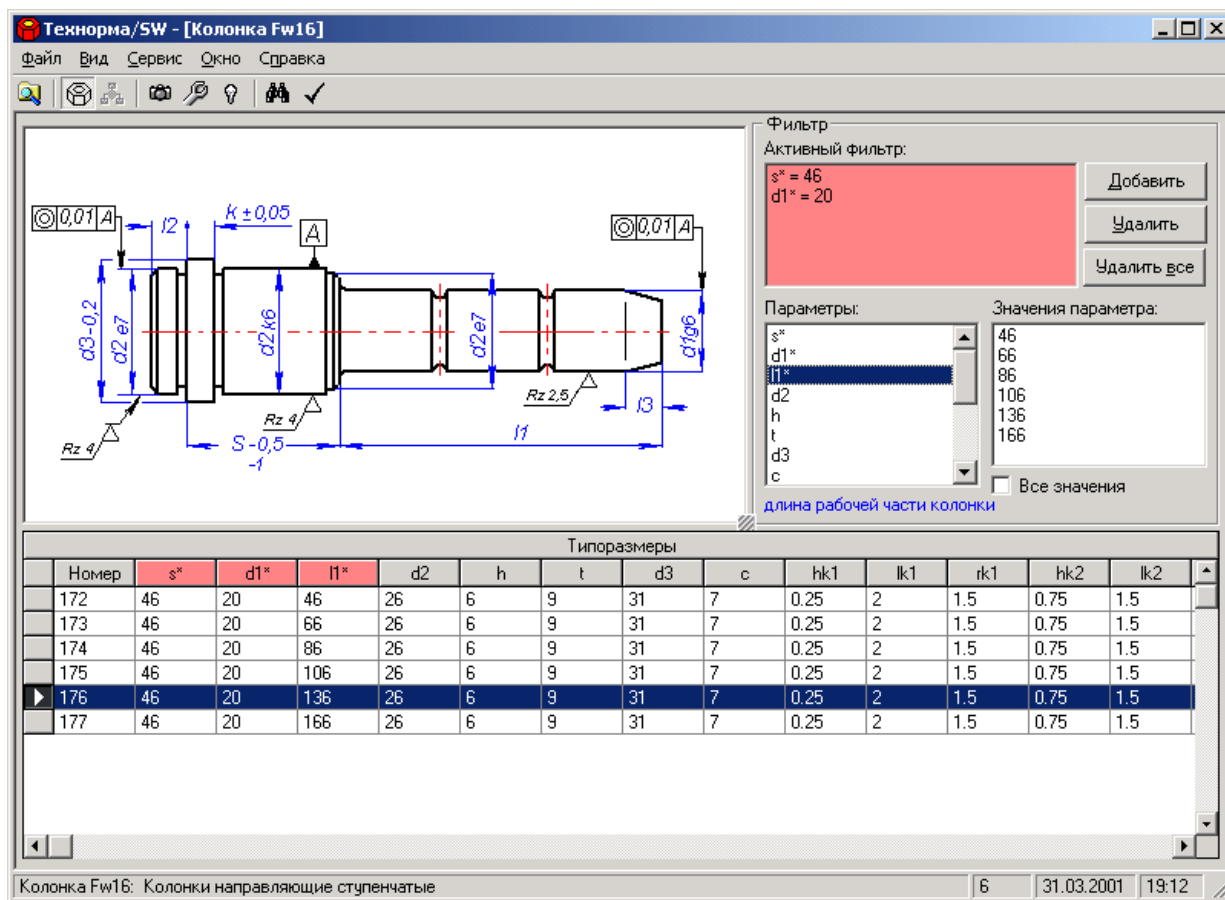


Рис. 7.1. Пример табличной параметрической модели

7.2. Иерархическая параметризация

Иерархическая параметризация (параметризация на основе истории построений) заключается в том, что в ходе построения модели вся последовательность построения отображается в отдельном окне в виде «дерева построения» (рис. 7.2). В нем перечислены все существующие в модели вспомогательные элементы, эскизы и выполненные операции в порядке их создания.

Помимо «дерева построения» модели, система запоминает не только порядок ее формирования, но и иерархию её элементов (отношения между элементами). (Например: сборки → под сборки → детали). Параметризация на основе истории построений присутствует практически во всех САПР, использующих трехмерное твердотельное параметрическое моделирование.

Обычно такой тип параметрического моделирования сочетается с вариационной и/или геометрической параметризацией.

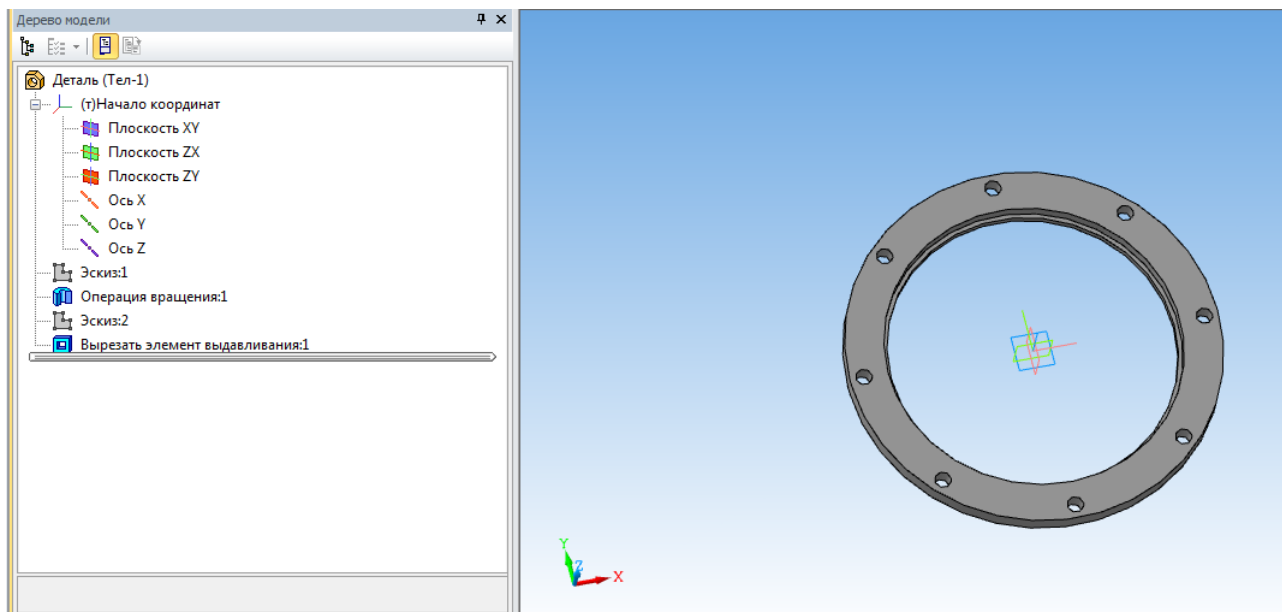


Рис. 7.2. Пример иерархической параметризации

7.3. Вариационная (размерная) параметризация

Вариационная, или размерная, параметризация основана на построении эскизов (с наложением на объекты эскиза различных параметрических связей) и наложении пользователем ограничений в виде системы уравнений, определяющих зависимости между параметрами.

Процесс создания параметрической модели с использованием вариационной параметризации выглядит следующим образом:

1. На первом этапе создается эскиз (профиль) для трехмерной операции. На эскиз накладываются необходимые параметрические связи.
2. Затем эскиз «образмеривается». Уточняются отдельные размеры профиля. На этом этапе отдельные размеры можно обозначить как переменные и задать зависимости других размеров от этих переменных в виде формул (рис. 7.3).
3. Затем производится трехмерная операция (например, выталкивание), значение атрибутов операции тоже служит параметром (например, величина выталкивания).

4. В случае необходимости создания сборки взаимное положение компонентов сборки задается путем указания сопряжений между ними (совпадение, параллельность или перпендикулярность граней и ребер, расположение объектов на расстоянии или под углом друг к другу и т. п.).

Пример геометрической модели с вариационной параметризацией представлен на рис. 7.4.

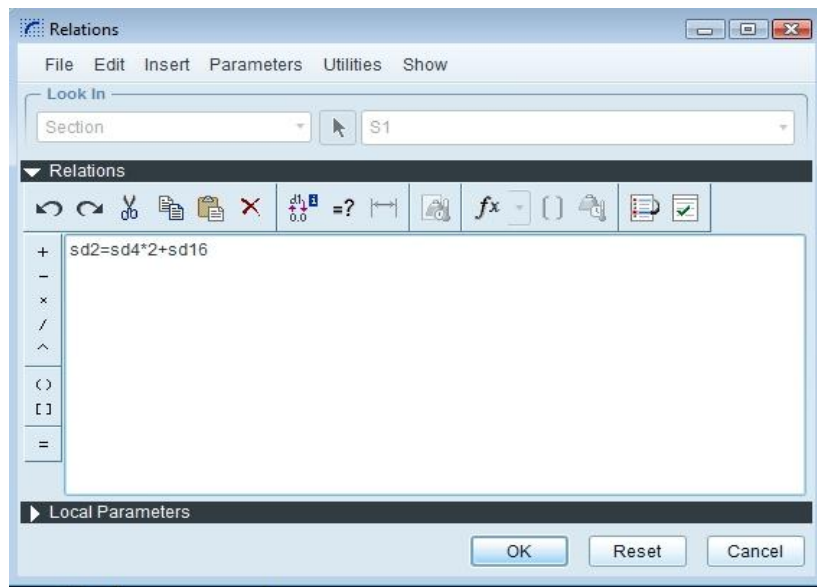


Рис. 7.3. Пример создания параметрической модели эскиза средствами вариационной параметризации в Pro/E

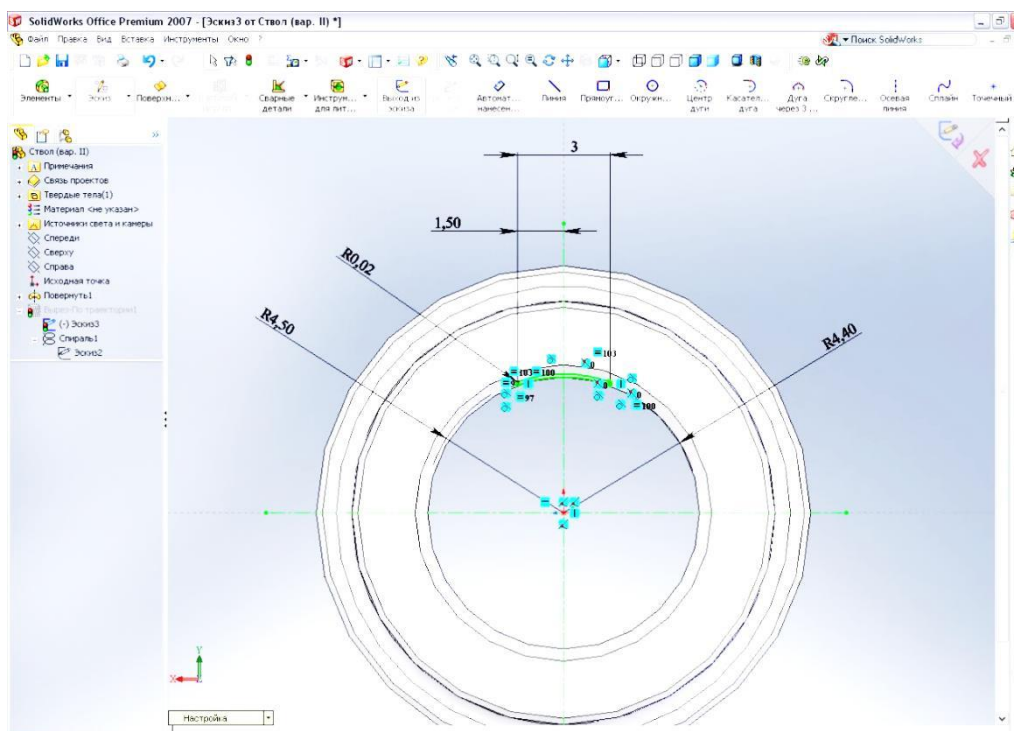


Рис. 7.4. Пример геометрической модели с вариационной параметризацией

Вариационная параметризация позволяет легко изменять форму эскиза или величину параметров операций, что позволяет удобно модифицировать трехмерную модель.

7.4. Геометрическая параметризация

Геометрической параметризацией называется параметрическое моделирование, при котором геометрия каждого параметрического объекта пересчитывается в зависимости от положения родительских объектов, его параметров и переменных.

Параметрическая модель в случае геометрической параметризации состоит из элементов построения и элементов изображения (рис. 7.5). Элементы построения (конструкторские или вспомогательные линии) задают параметрические связи. К элементам изображения относятся линии изображения (которыми обводятся конструкторские линии), а также элементы оформления (размеры, надписи, штриховки и т. п.).

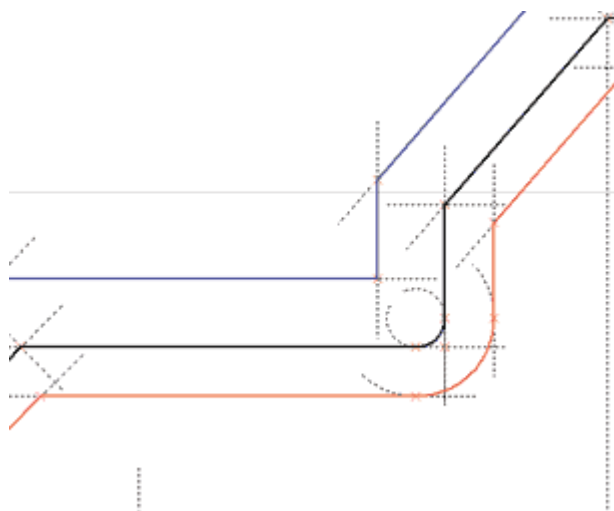


Рис. 7.5. Линии построения и линии изображения

Одни элементы построения могут зависеть от других элементов построения. Элементы построения могут содержать и параметры (например, радиус окружности или угол наклона прямой). При изменении одного из элементов модели все зависящие от него элементы перестраиваются в соответствии со своими параметрами и способами их задания.

Процесс создания параметрической модели методом геометрической параметризации выглядит следующим образом:

1. На первом этапе конструктор задает геометрию профиля конструкторскими линиями, отмечает ключевые точки.
2. Затем проставляет размеры между конструкторскими линиями. На этом этапе можно задать зависимость размеров друг от друга.
3. Затем обводит конструкторские линии линиями изображения – получается профиль, с которым можно осуществлять различные трехмерные операции.

Последующие этапы в целом аналогичны процессу моделирования с использованием метода вариационной параметризации. Геометрическая параметризация обеспечивает возможность более гибкого редактирования модели. В случае необходимости внесения незапланированного изменения в геометрию модели необязательно удалять исходные линии построения (это может привести к потере ассоциативных взаимосвязей между элементами модели), можно провести новую линию построения и перенести на нее линию изображения.

8. Обзор современных САПР

В мире существует множество САПР, различающихся по назначению и функционалу. Полный обзор этих систем – вопрос создания огромного справочника, поэтому в рамках данного учебного пособия мы рассмотрим лишь самые известные и распространенные системы, относящиеся к классам CAD, CAM, CAE, а также комплексные системы, объединяющие в себе CAD/CAM/CAE решения.

8.1. CAD системы

CAD системы представляют собой системы автоматизации проектирования (или системы автоматизированного проектирования), позволяющие решить задачу автоматизации работ на проектной и предпроизводственной стадии жизненного цикла промышленных изделий. Они предназначены в основном для выполнения графических работ. С их помощью создаются чертежи, конструкторская документация, трехмерные модели изделий. По областям применения CAD системы подразделяются на архитектурно-строительные (AEC CAD), механические (MCAD), предназначенные для проектирования электронных приборов и устройств (EDA), технологические (CAPP).

КОМПАС

КОМПАС-3D – система трехмерного проектирования отечественной компании АСКОН, ставшая стандартом для тысяч предприятий, благодаря сочетанию простоты освоения и легкости работы с мощными функциональными возможностями твердотельного и поверхностного моделирования. Ключевой особенностью системы КОМПАС-3D является использование собственного математического ядра C3D и параметрических технологий, разработанных специалистами АСКОН. КОМПАС-3D обеспечивает поддержку наиболее распространенных форматов 3D-моделей (STEP, ACIS, IGES, DWG, DXF), что позволяет организовывать эффективный

обмен данными со смежными организациями и заказчиками, использующими любые CAD/CAM/CAE-системы в работе.

Кроме профессиональной системы КОМПАС-3D компания АСКОН предлагает её различные облегченные версии: КОМПАС-График, КОМПАС-3D LT, КОМПАС-3D Home. КОМПАС-График – графическая система для 2D-проектирования, разработки документации и пояснительных записок, технических заданий на основе спроектированных объектов. Она может использоваться и как полностью интегрированный в «КОМПАС -3D» модуль работы с чертежами и эскизами, и в качестве самостоятельного продукта. КОМПАС-3D LT – это простейшая система трехмерного моделирования для домашнего использования и учебных целей, облегченная версия профессиональной системы КОМПАС-3D.

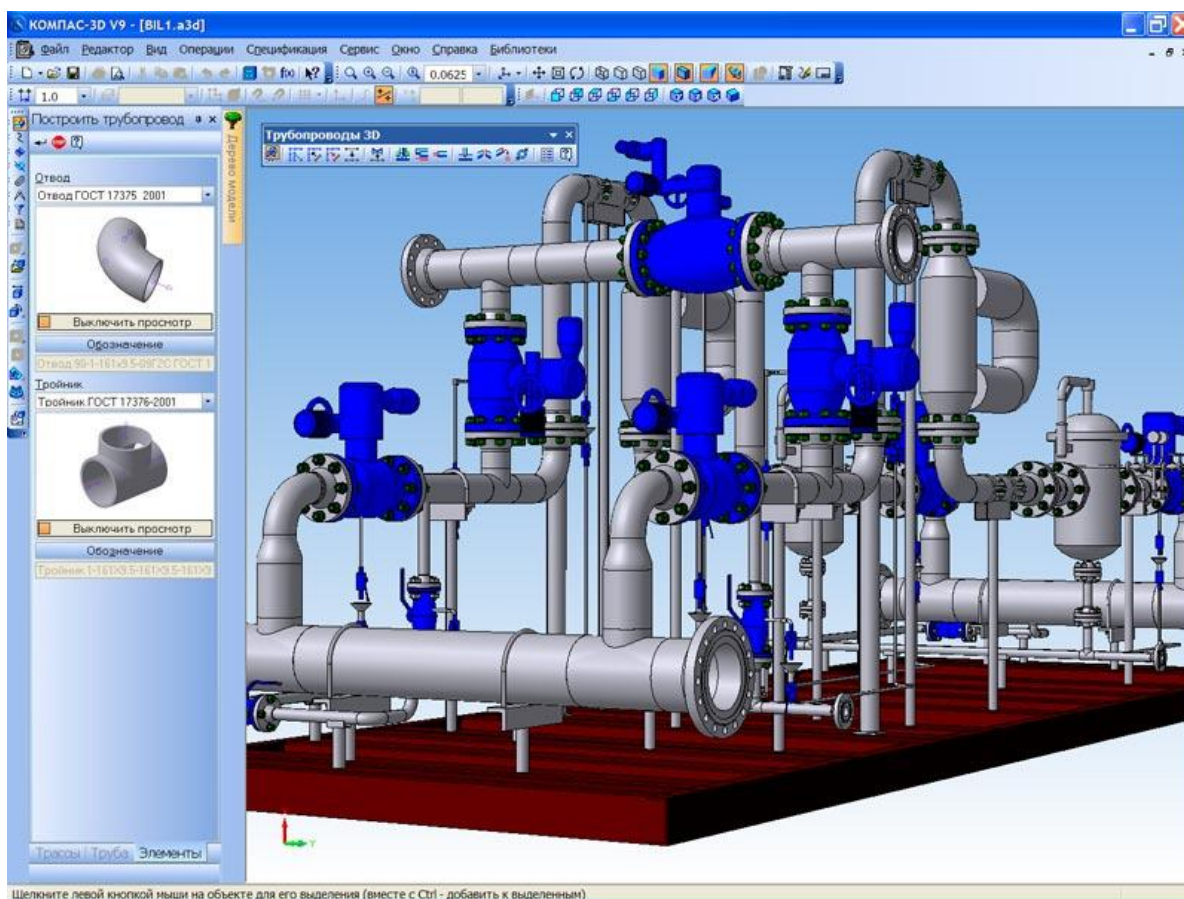


Рис. 8.1. Трехмерная модель трубопроводов в КОМПАС-3D

Существуют специализированные комплекты системы КОМПАС-3D для машиностроения (КОМПАС-3D: Механика, КОМПАС-3D: Оборудование), для

строительства (Конструкции 3D, Инженерные системы 3D, Электрика 3D, Технология 3D и др.) и для приборостроения (КОМПАС-3D: Приборостроение).

AutoCAD

AutoCAD – двух- и трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения, разработанная американской компанией Autodesk. Первая версия системы была выпущена в 1982 году. За долгие годы развития AutoCAD трансформировался из простого инструмента, способного лишь заменить собой кульман, в программу, пригодную не только для формирования двухмерных чертежей, но и создания реалистичных трехмерных моделей. AutoCAD и специализированные приложения на его основе нашли широкое применение в машиностроении, строительстве, архитектуре и других отраслях промышленности. Программа выпускается на 18 языках. Русскоязычная версия локализована полностью, включая интерфейс командной строки и всю документацию, кроме руководства по программированию.

Существует так же облегченная версия профессиональной системы – AutoCAD LT – она позволяет выполнять только 2D-проектирование, черчение и создавать документацию.

К специализированным приложениям на базе AutoCAD относятся:

- AutoCAD Architecture – версия, содержащая специальные дополнительные инструменты для архитектурного проектирования и черчения, а также средства выпуска строительной документации.
- AutoCAD Electrical разработан для проектировщиков электрических систем управления.
- AutoCAD Civil 3D – решение для проектирования объектов инфраструктуры, предназначенное для землеустроителей, проектировщиков генплана и проектировщиков линейных сооружений.
- AutoCAD MEP ориентирован на проектирование инженерных систем объектов гражданского строительства: систем сантехники и канализации, отопления и вентиляции, электрики и пожарной безопасности.

- AutoCAD Map 3D создан для специалистов, выполняющих проекты в сфере транспортного строительства, энергоснабжения, земле- и водопользования.
- AutoCAD Mechanical предназначен для проектирования в машиностроении.
- AutoCAD P&ID – это программа для создания и редактирования схем трубопроводов и контрольно-измерительных приборов (КИП), а также для управления ими.
- AutoCAD Plant 3D – инструмент для проектирования технологических объектов.

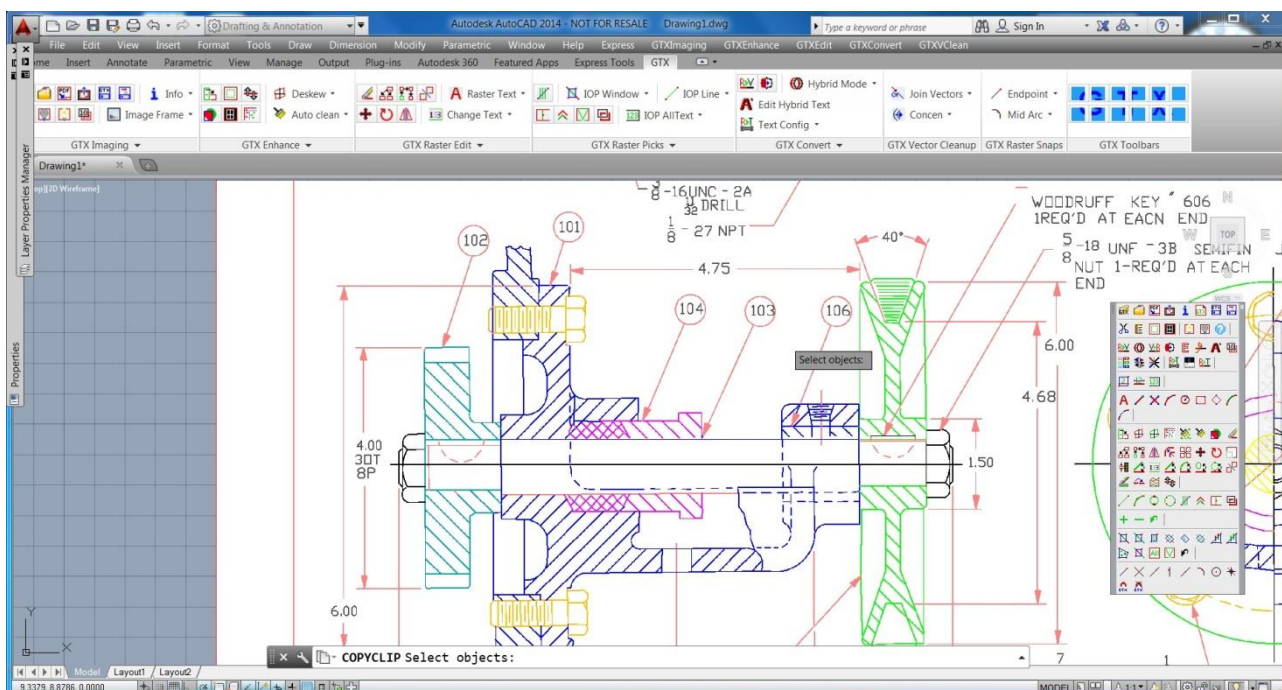


Рис. 8.2. Чертеж в AutoCAD 2014

Файлы AutoCAD имеют расширение DWG и DXF. Файлы с расширением DWG являются популярнейшим форматом для хранения цифровых чертежей. Владеет данным форматом компания Autodesk, и для ее продуктов он является основным. Программные среды для проектирования других производителей также могут работать с данным форматом. AutoCAD позволяет открывать и использовать для работы файлы, созданные в других САПР, но сохраненные в формате DXF (drawing exchange format). Этот формат также принадлежит Autodesk и позволяет обмениваться графической информацией между CAD-

приложениями, так как поддерживается большинством систем автоматизированного проектирования.

Autodesk Inventor

Autodesk Inventor – система трёхмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования компании Autodesk, предназначенная для создания цифровых прототипов промышленных изделий. Модели деталей и изделий, создаваемые в Inventor, представляют собой их точные цифровые 3D прототипы, позволяющие всесторонне изучать поведение изделий по мере их разработки. Поэтому корректней отнести Autodesk Inventor к САД/САЕ системам.

Инструменты Inventor обеспечивают полный цикл проектирования и создания конструкторской документации: 2D-/3D-моделирование; создание изделий из листового материала и получение их разверток; разработка электрических и трубопроводных систем; проектирование оснастки для литья пластмассовых изделий; динамическое моделирование; параметрический расчет напряженно-деформированного состояния деталей и сборок; визуализация изделий; автоматическое получение и обновление конструкторской документации (оформление по ЕСКД).

Autodesk Revit

Revit – программное обеспечение, разработанное компанией Autodesk для информационного моделирования зданий (Building Information Modeling – BIM). Предназначен для архитекторов, проектировщиков несущих конструкций и инженерных систем. Предоставляет возможности трехмерного моделирования элементов здания и плоского черчения элементов оформления, создания пользовательских объектов, организации совместной работы над проектом, начиная от концепции и заканчивая выпуском рабочих чертежей и спецификаций. Существует версия программы Revit LT с урезанными возможностями 3D-моделирования. В целом работа в Revit идет следующим образом: общая трехмерная модель здания условно разбивается на рабочие плоскости, откуда берутся все анализируемые элементы (колонны, стены,

фундаменты, перекрытия). Элементы берутся из загруженных семейств (в программе предусмотрена возможность создания своих семейств).

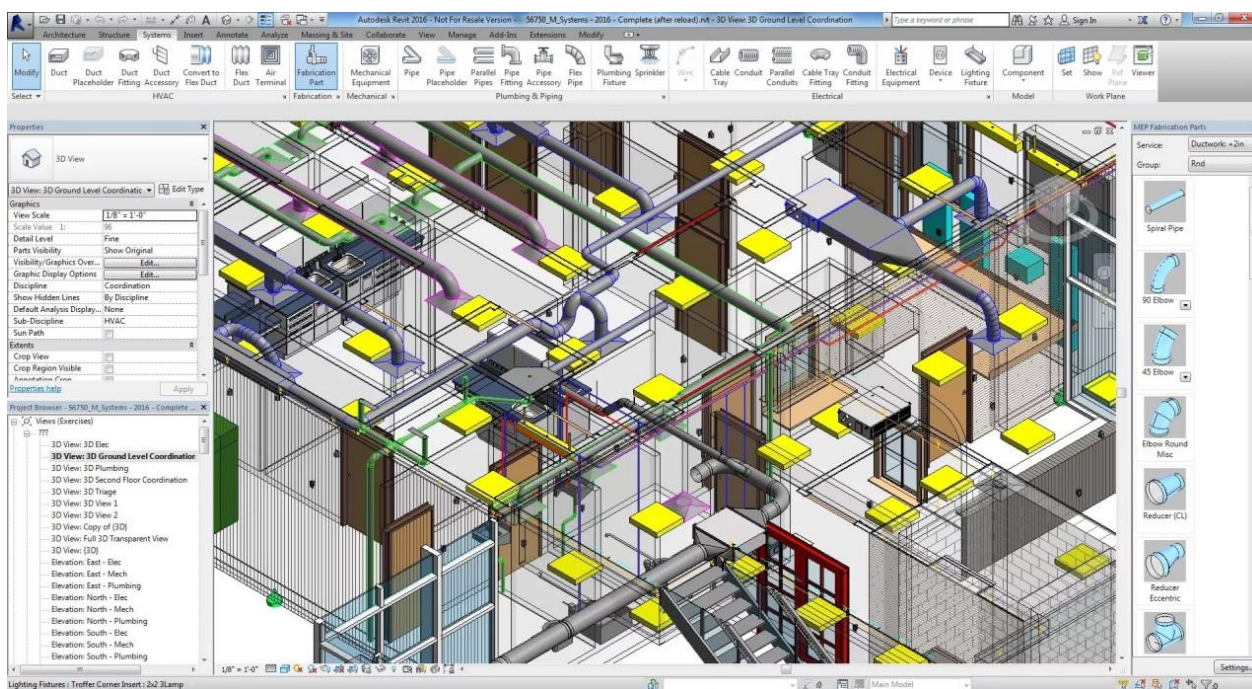


Рис. 8.3. Пример проекта в системе Autodesk Revit

ArchiCAD

ArchiCAD – программный пакет для архитекторов, основанный на технологии информационного моделирования зданий (BIM), созданный фирмой Graphisoft. Предназначен для проектирования архитектурно-строительных конструкций и решений, а также элементов ландшафта, мебели и т. п. При работе в пакете используется концепция виртуального здания. Суть её состоит в том, что проект ArchiCAD представляет виртуальную модель реального здания, существующую в памяти компьютера. Для её выполнения проектировщик на начальных этапах работы с проектом фактически «строит» здание, используя при этом инструменты, имеющие свои полные аналоги в реальности: стены, перекрытия, окна, лестницы, разнообразные объекты и т. д. Завершив этап моделирования, пользователь может извлечь из «виртуального здания» все необходимые данные для создания проектной документации: планы этажей, фасады, разрезы, экспликации, спецификации, визуализации и пр.

Solid Edge

Solid Edge – система твердотельного и поверхностного моделирования от компании Siemens PLM Software, в которой реализованы как параметрическая технология моделирования на основе конструктивных элементов и дерева построения, так и технология вариационного прямого моделирования. Данная технология, разработанная компанией Siemens PLM Software, получила название «синхронная технология».

Система Solid Edge построена на основе ядра геометрического моделирования Parasolid и вариационного решателя D-Cubed и использует графический пользовательский интерфейс Microsoft Fluent. Система Solid Edge предназначена для моделирования деталей и сборок, создания чертежей, управления конструкторскими данными, и обладает встроенными средствами конечноэлементного анализа.

Solid Edge с успехом применяется в проектировании широкого спектра изделий: от сельскохозяйственных машин до космических аппаратов, от деревянной мебели до медицинских приборов, от сложного промышленного оборудования до бытовой техники.

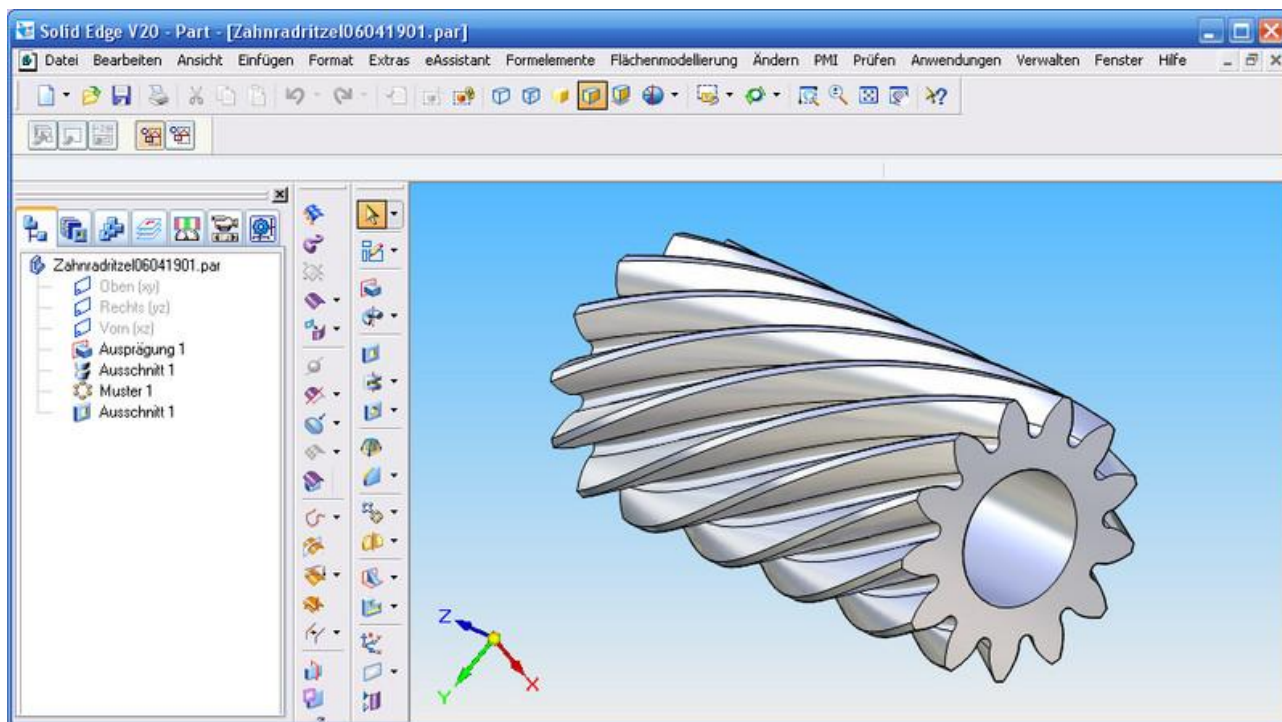


Рис. 8.4. Пример модели детали в Solid Edge

TurboCAD

TurboCAD – система автоматизированного проектирования для двухмерного и трехмерного дизайна и черчения американской компании IMSI Design. TurboCAD имеет обширный набор инструментов для создания и модификации двух- и трехмерных чертежей, моделей и документации: от базовых инструментов черчения до наиболее современных функциональных возможностей. В их числе параметрические ограничения, трехмерное твердотельное и плоскостное моделирование, средства фотореалистической визуализации. TurboCAD Pro осуществляет чтение и запись файлов в формате DWG и DXF, а также поддерживает свыше 30 других форматов файлов для обмена данными с разнообразными приложениями.

VariCAD

VariCAD – система автоматизированного проектирования чешской компании VariCAD, главным образом предназначенная для инженерного проектирования. В дополнение к мощным инструментам 3D моделирования и 2D черчения, VariCAD содержит библиотеки стандартных механических деталей (ANSI, DIN) и все необходимые для них расчеты. Это всеобъемлющее CAD-решение позволяет проектировщикам быстро создавать, модифицировать и подсчитывать стоимость их моделей. Система обладает хорошей функциональностью и простым, интуитивно понятным интерфейсом.

8.2. CAE системы

CAE (англ. Computer-aided engineering) – системы инженерного анализа. Это комплекс программных продуктов, которые способны дать пользователю характеристику того, как будет вести себя в реальности разработанная на компьютере модель изделия. При помощи CAE-систем инженер может оценить работоспособность изделия, не прибегая к значительным временным и денежным затратам. Расчетная часть CAE пакетов чаще всего основана на численных методах решения дифференциальных уравнений: методе конечных элементов, конечных объемов, конечных разностей и т. д.

Существенным достоинством применения CAE систем перед проверочными натурными испытаниями является возможность определения элементов не только с недостаточной прочностью, но и с избыточной. Это позволяет оптимизировать геометрию деталей с целью снижения их массы, что особенно критично, например, в авиакосмической отрасли, двигателестроении.

Расчетные системы позволяют «заглянуть» внутрь детали, что практически невозможно при натуральных прочностных испытаниях, получить исчерпывающую картину распределения любых параметров: деформаций, напряжений, температурных полей и т. д. Что немаловажно – расчет может быть произведен не только для статического нагружения, но и в динамике, в сопряжении с кинематическим расчетом.

Наряду с расчетом конструкций компьютерное моделирование и симуляция могут использоваться и для оптимизации проектов. Оптимизацию можно проводить для задач статики, устойчивости, установившихся и неуставившихся динамических переходных процессов, собственных частот и форм колебаний, акустики и аэроупругости. Все это делается одновременно, путем вариации параметров формы, размеров и других свойств проектируемого изделия.

ANSYS

ANSYS – универсальная программная система конечно-элементного анализа. Модули ANSYS могут быть классифицированы на основе физических дисциплин и инженерных приложений, на которые они ориентированы: вычислительная гидродинамика; механика деформируемого твердого тела; электромагнетизм; тепловой анализ; междисциплинарный анализ. Кроме того, в состав программных продуктов ANSYS входят специализированные приложения для подготовки расчетных моделей, работы с геометрией и конечно-элементной сеткой, моделирования на системном уровне, оптимизации и управления инженерными данными. Весь набор средств инженерного моделирования компании ANSYS объединяет специальная платформа – ANSYS Workbench. Рассмотрим основные модули ANSYS.

Вычислительная гидродинамика (Computational Fluid Dynamics – CFD) – это совокупность теоретических, экспериментальных и численных методов, предназначенных для моделирования течения жидкостей и газов, процессов тепло- и массообмена, реагирующих потоков и т.д. Для решения этих задач предназначены следующие программные продукты: ANSYS CFX, ANSYS Fluent, ANSYS CFD, ANSYS Polyflow, ANSYS TurboGrid и др.

Программный продукт ANSYS Fluent является мощным инструментом, позволяющим моделировать практически любые виды течения жидкости и газа (рис. 8.5). При этом возможен учет таких сложных физических явлений как турбулентность, конвективный и лучистый теплообмен, химические реакции, фазовые переходы, горение, акустические эффекты. Кроме широкого набора моделей и численных методов, ANSYS Fluent также предлагает пользователю мощный функционал по добавлению в расчет собственных моделей, что делает его пригодным как для промышленного, так и для научно-исследовательского применения.

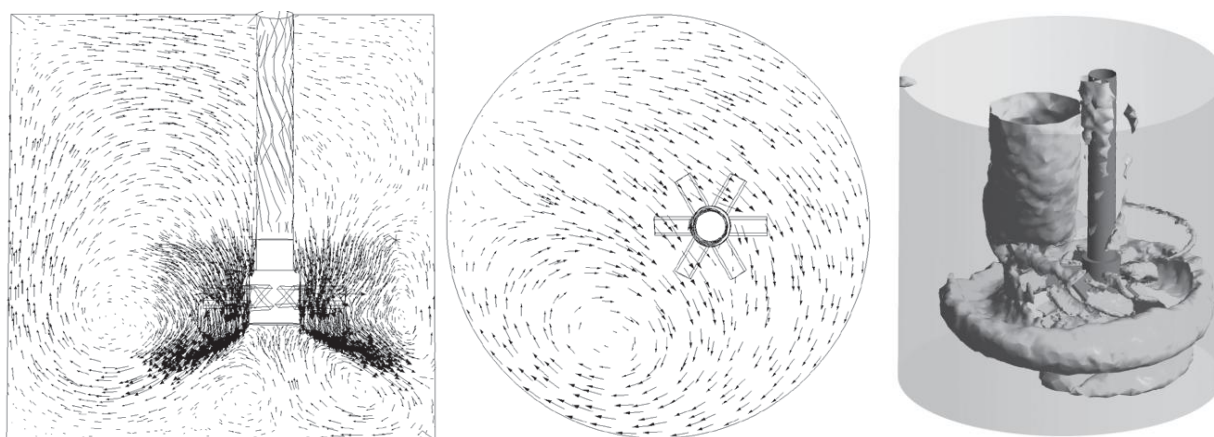


Рис. 8.5. Моделирование движения жидкости в аппарате с мешалкой с помощью программы ANSYS Fluent

Решения ANSYS для механики деформируемого твердого тела позволяют производить расчет конструкций на прочность, динамический расчет конструкций, тепловые и акустические расчёты. К этой группе относятся модули: ANSYS Mechanical, ANSYS Rigid Body Dynamics, ANSYS Composite PrepPost и др.

Решения ANSYS в области электромагнетизма позволяют инженерам разрабатывать современную электронику и электротехнику в единой расчетной среде ANSYS Electronics Desktop. Она позволяет рассчитывать интегральные схемы и упаковки интегральных схем, печатные платы, соединители и линии передач, антенны и элементы трактов, аналоговую и цифровую электронику, датчики, трансформаторы, электроприводы и многое другое.

Для задач теплового анализа подойдут модули ANSYS Mechanical, ANSYS CFD, ANSYS Icepak.

Многодисциплинарное моделирование может быть применено во многих отраслях промышленности, где требуется последовательный или совместный расчет, включающий в себя решения из разных дисциплин. К таким расчетам относятся сопряженные термомеханические, электротепловые, электротермомеханические и магнитогидродинамические задачи, задачи сопряженного теплообмена и механического взаимодействия между твердыми телами и жидкостью или газом. Неучтенные взаимосвязи тех или иных физических явлений могут проявиться в снижении технологичности, надежности и ресурса проектируемого изделия. В зависимости от уровня сложности задачи и количества учитываемых физических дисциплин, для выполнения многодисциплинарных расчетов можно использовать как комбинацию из нескольких программных продуктов ANSYS, так и специализированный программный продукт ANSYS AIM.

Adams

Adams – система виртуального моделирования машин и механизмов, разработанная компанией MSC Software Corporation. Adams используется для разработки и совершенствования конструкций фактически всего, что движется – от простых механических и электромеханических устройств до автомобилей и самолетов, железнодорожной техники и космических аппаратов и т.д. С помощью Adams можно быстро создать полностью параметризованную модель изделия, строя ее непосредственно в препроцессоре или импортируя из наиболее распространенных CAD-систем. Задав связи компонентов модели,

приложив нагрузки, определив параметры кинематического воздействия и запустив расчет можно получить данные, полностью идентичные результатам натурных испытаний системы.

SIMULIA

CAE система SIMULIA французской компании Dassault Systemes, разработанная для реалистичного моделирования на базе платформы 3DEXPERIENCE, позволяет в реальных условиях изучать продукты, объекты природы и жизни. SIMULIA – это масштабируемый набор инструментов для решения множества инженерных задач, от типовых до уникальных по уровню сложности. Портфель SIMULIA включает продукты с расширенными функциями мультифизического моделирования, интеграции и оптимизации процессов, который может быть развернут в соответствии с задачами пользователя. В состав SIMULIA могут входить:

- ABAQUS – программный комплекс, который предлагает решения для сложных инженерных задач на базе метода конечных элементов. Предназначен для решения традиционных задач конечно-элементного анализа, таких как статика, динамика, теплопередача в совокупности с контактными взаимодействиями и нелинейными свойствами материалов, основан на неявной схеме интегрирования. Помимо этого ABAQUS имеет дополнительные модули и интерфейсы: модуль исследования чувствительности конструкции к геометрическим изменениям, модуль исследования подводных и надводных сооружений.
- Isight & SEE – программный комплекс для автоматизации вычислительных процессов и параметрической оптимизации.
- Tosca Structure и Tosca Fluid Individual Approach – программный комплекс непараметрической оптимизации для задач прочности и гидродинамики.
- Fe-safe – программный комплекс для расчетов усталостной прочности, долговечности и ресурса конструкций.
- Simpack – программный комплекс для моделирования нелинейного движения любых механических или мехатронных многомассовых систем.

Приложения SIMULIA ускоряют процесс оценки рабочих характеристик, надежности и безопасности материалов и продуктов перед изготовлением физических прототипов. Использование SIMULIA позволяет сравнивать, оценивать и оптимизировать проекты на всех этапах разработки, чтобы повышать эффективность конечного продукта при снижении затрат. Примеры задач, которые можно решать с помощью SIMULIA, приведены на рис. 8.6.

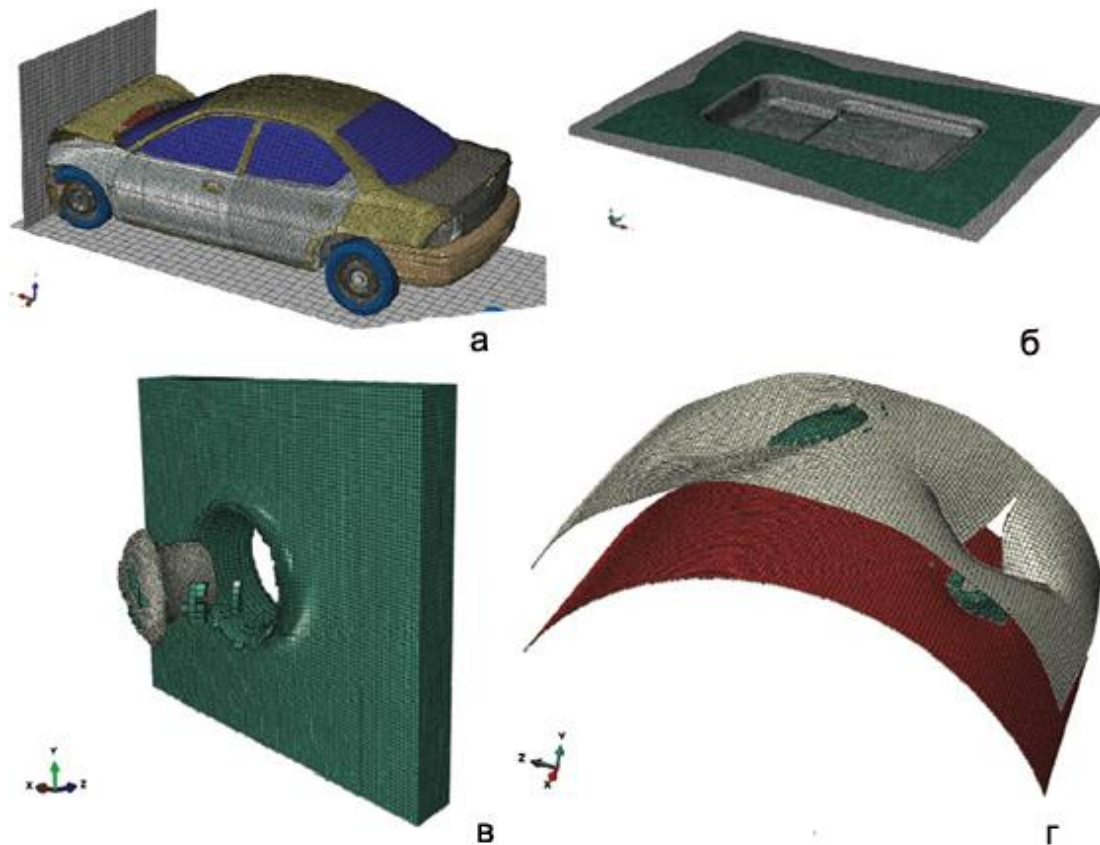


Рис. 8.6. Возможные области применения SIMULIA: а – краш-тест автомобиля; б – листовая штамповка; в – задача пробития; г – соударение с птицей

FlowVision

FlowVision – программный комплекс для моделирования трехмерных течений жидкости и газа, разработанный отечественной компанией ТЕСИС. FlowVision основан на численном решении трехмерных стационарных и нестационарных уравнений динамики жидкости и газа, которые включают в себя законы сохранения массы, импульса (уравнения Навье-Стокса), уравнения состояния. Для расчета сложных движений жидкости и газа, сопровождаемых

дополнительными физическими явлениями, такими как турбулентность, горение, контактные границы раздела, пористость среды, теплоперенос, в математическую модель включаются дополнительные уравнения, описывающие эти явления. FlowVision использует конечно-объемный подход для аппроксимации уравнений математической модели.

FlowVision находит применение в различных отраслях промышленности. Например, в авиакосмической, автомобильной промышленности и в судостроении его используют для моделирования внешнего обтекания объекта (самолета, автомобиля, судна), горения топлива в двигателях внутреннего сгорания, движения газов и жидкостей по магистралям и др.

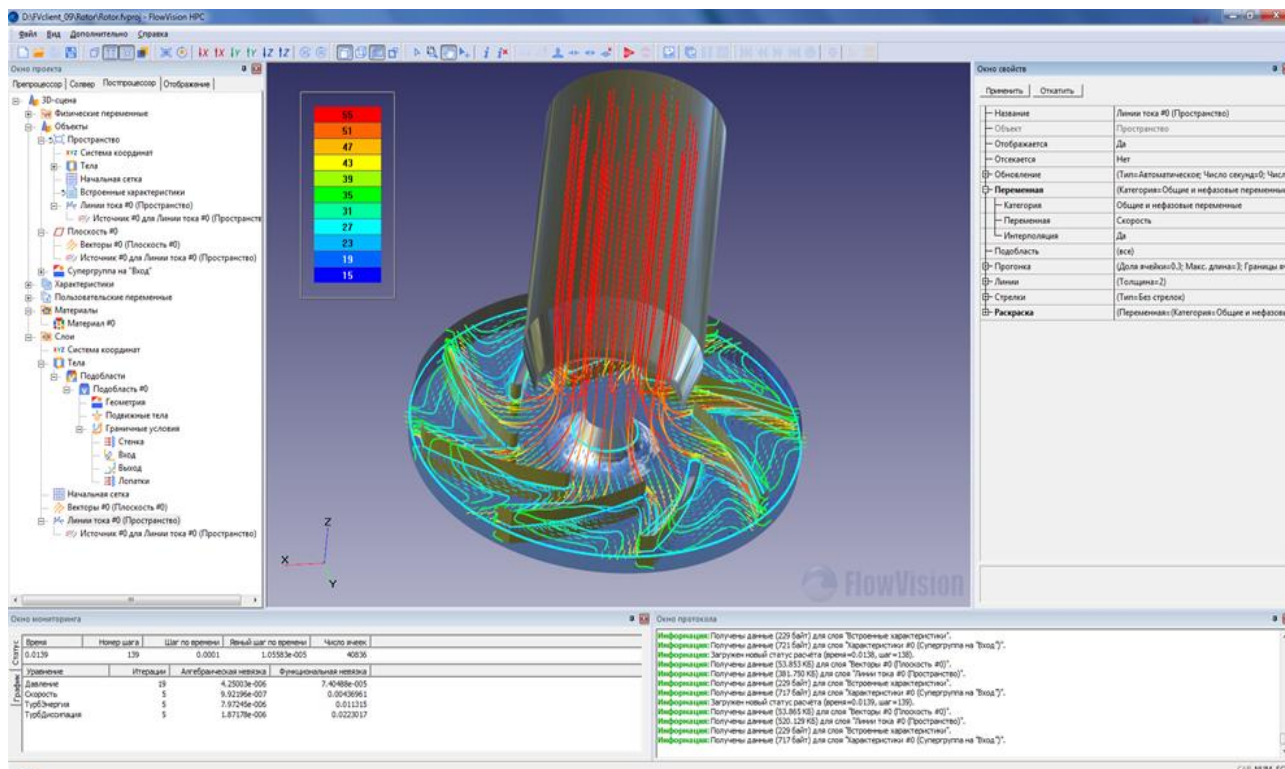


Рис. 8.7. Интерфейс программы FlowVision

FlowVision в нефтегазовой и химической промышленности используют для моделирования движения нефти и газа в насосных станциях, трубопроводах, в пластах месторождений, для решения задач перемешивания жидкостей в химических реакторах и специальных резервуарах, в том числе с учетом выделения тепла, моделирования теплообмена в рубашке охлаждения, расчета компрессоров, вентиляторов и насосов различных типов.

DEFORM

DEFORM – это специализированный программный комплекс, созданный американской компанией Scientific Forming Technologies Corporation (SFTC) и предназначенный для моделирования технологических процессов обработки металлов давлением и термообработки. Комплекс, состоящий из виртуального штампа, прессы, молота, прокатного стана, печи, позволяет проверить разработанный технологом процесс не экспериментально, на реальном производстве, а виртуально – сидя за компьютером. Сегодня программный комплекс DEFORM не имеет достаточно сильных конкурентов в области обработки металлов давлением.

8.3. САМ системы

Основные функции современных САМ систем сосредоточены, в основном, на автоматизации подготовки управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Модули системы САМ часто входят в состав развитых (интегрированных) САПР, называемых системами CAD/CAM, или CAE/CAD/CAM.

САМ-системы освобождают человека от ручного программирования станков с ЧПУ, заучивания языков программирования низкого уровня, которые могут отличаться у оборудования разных производителей. Входными данными САМ-системы является геометрическая модель изделия, разработанная в САД-системе. В процессе интерактивной работы с трехмерной моделью в САМ-системе инженер определяет траектории и скорость движения режущего инструмента по заготовке изделия, которые затем автоматически верифицируются, визуализируются и обрабатываются постпроцессором для получения программы управления конкретным станком.

Постпроцессор – программа, которая преобразует файл траектории движения инструмента и технологических команд (промежуточный файл), сформированный САМ-системой, в файл управляющей программы (УП) в соответствии с требованиями конкретного комплекса «станок – система ЧПУ».

Для того чтобы абстрагироваться от большого разнообразия станков, систем ЧПУ и языков программирования обработки, САМ-система генерирует промежуточный файл, содержащий информацию о траектории, угле поворота инструмента и обобщенные команды управления станком. Обычно этот промежуточный файл называется CL-файлом (Cutter Location) или CLDATA-файлом. Далее в работу вступает постпроцессор. Он преобразует этот промежуточный файл в программу обработки в строгом соответствии с форматом программирования конкретного станка с ЧПУ. Такая технология позволяет программисту во время проектирования обработки в САМ-системе не задумываться о том, на какой конкретно станок попадет УП и каков будет ее формат. Ему необходимо лишь выбрать постпроцессор, соответствующий определенному станку с ЧПУ, и тот возьмет на себя всю работу по созданию программы обработки определенного формата.

Важной особенностью САМ-систем являются встроенные средства проверки корректности сгенерированных программ, для чего используются два основных подхода. Первый подход состоит в визуализации процесса работы станка на экране компьютера (пользователь может видеть работу металлорежущего инструмента или сборочных роботов и оценить корректность траекторий их движения). Второй способ – это моделирование процесса получения детали из заготовки и сравнение геометрии полученных в результате обработки поверхностей с данными, хранящимися в геометрической модели.

Как правило, соответствующая функциональность существует во многих интегрированных CAD/CAM пакетах, включая CATIA, SolidWorks, T-FLEX и др. Из независимых решений третьих производителей (не поставляющих собственно CAD программы) отметим ГеММа-3D, SURFCAM и EdgeCAM.

ГеММа-3D

ГеММа-3D – система геометрического моделирования и программирования обработки для станков с ЧПУ, разработанная отечественной компанией НТЦ ГеММа. Центральной задачей, на решение которой ориентирована система, является получение эффективных программ обработки

наиболее сложных деталей на станках с ЧПУ, изготавливаемых с помощью фрезерования, сверления, электроэрозионной резки, вырубки, токарной обработки, гравировки. Система ГеММа-3D обеспечивает выход на все отечественные и зарубежные системы управления станками. В состав системы входит библиотека из 70 постпроцессоров в исходных текстах, а также универсальный постпроцессор, позволяющий дорабатывать готовые и создавать новые постпроцессоры.

SURFCAM

SURFCAM – CAM-система, разрабатываемая компанией Surfware (США) с 1988 г. Она поддерживает обмен данных с системами SolidWorks, Autodesk Inventor, CATIA, Pro/Engineer и NX. SURFCAM используются в промышленном дизайне, макетировании, проектировании и подготовке управляющих программ 2-, 3-, 4-, и 5-координатной фрезерной, токарной, электроэрозионной, лазерной, плазменной и водорезной обработки на станках с ЧПУ.

EdgeCAM

Программа EdgeCAM, разработанная компанией Vero Software, - один из ведущих мировых программных продуктов в области создания управляющих программ обработки для станков с ЧПУ, токарной, фрезерной и электроэрозионной групп.

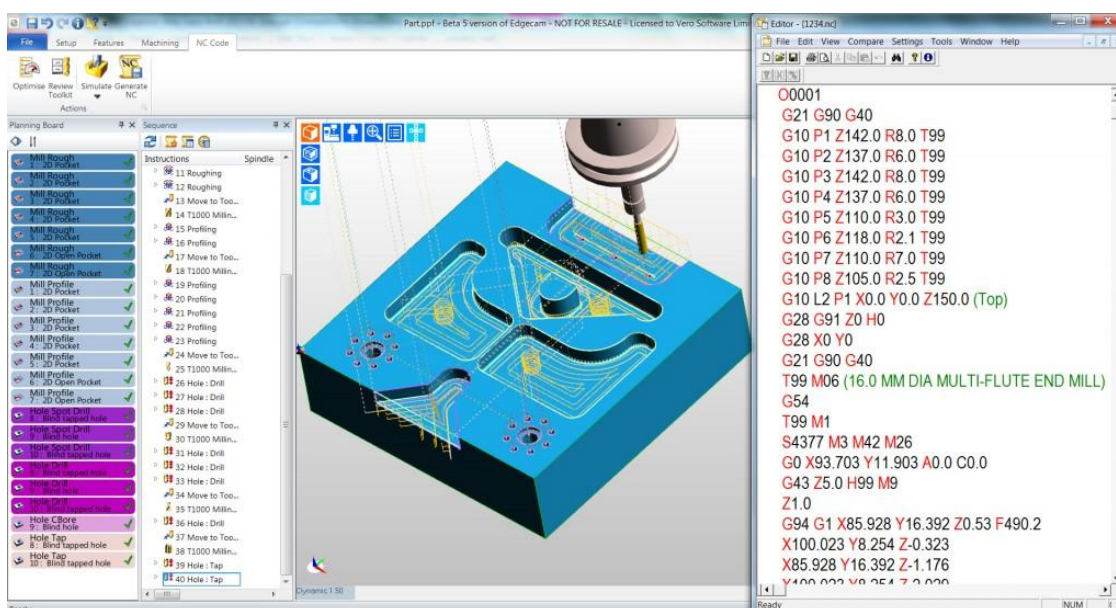


Рис. 8.8. Интерфейс программы EdgeCAM

Отличительной особенностью EdgeCAM является возможность ассоциативной обработки параметрических твердотельных моделей AutoCAD, Autodesk Inventor, SolidWorks, Solid Edge, Catia, КОМПАС-3D, а также целого ряда других CAD-систем. Загрузка моделей производится без конвертации. Вероятность потери и искажения данных при передаче полностью исключается. Изменение геометрии модели в CAD-системе приводит к автоматическому пересчету траектории обработки в EdgeCAM.

8.4. Комплексные САПР

Разработка средств автоматизации носит все более комплексный характер. Все большее число разработчиков создает и выставляет на рынок комплексные (или интегрированные) системы CAD/CAM/CAE, CAD/CAM/CAE/PDM и др. Рассмотрим некоторые из таких систем.

CATIA

CATIA V5 (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) – система автоматизированного проектирования французской фирмы Dassault Systemes. Это комплексная система автоматизированного проектирования (CAD), технологической подготовки производства (CAM) и инженерного анализа (CAE), включающая в себя передовой инструментарий трёхмерного моделирования, подсистемы программной имитации сложных технологических процессов, развитые средства анализа и единую базу данных текстовой и графической информации. Система позволяет эффективно решать все задачи технической подготовки производства – от внешнего (концептуального) проектирования до выпуска чертежей, спецификаций, монтажных схем и управляющих программ для станков с ЧПУ.

CATIA V5 предназначена для того, чтобы моделировать и описывать изделие на всех этапах его жизненного цикла. В этой системе исключительно удачно реализованы сложные функции 3D-моделирования в сочетании с описанием всех процессов создания модели. Эта высокоуровневая САПР позволяет без труда наращивать функциональность с помощью

многочисленных модулей (на сегодняшний день их насчитывается триста) и представляет собой в этом смысле очень гибкий и адаптивный программный комплекс.

Линейка программных продуктов CATIA предназначена для семи основных отраслей промышленности: аэрокосмической, автомобильной, судостроительной, машиностроительной, электронной, строительства заводов, производства товаров широкого потребления. Первоначально ориентированная на большие предприятия, CATIA превратилась в масштабируемое решение и сейчас также становится лидером для компаний малого и среднего размера.

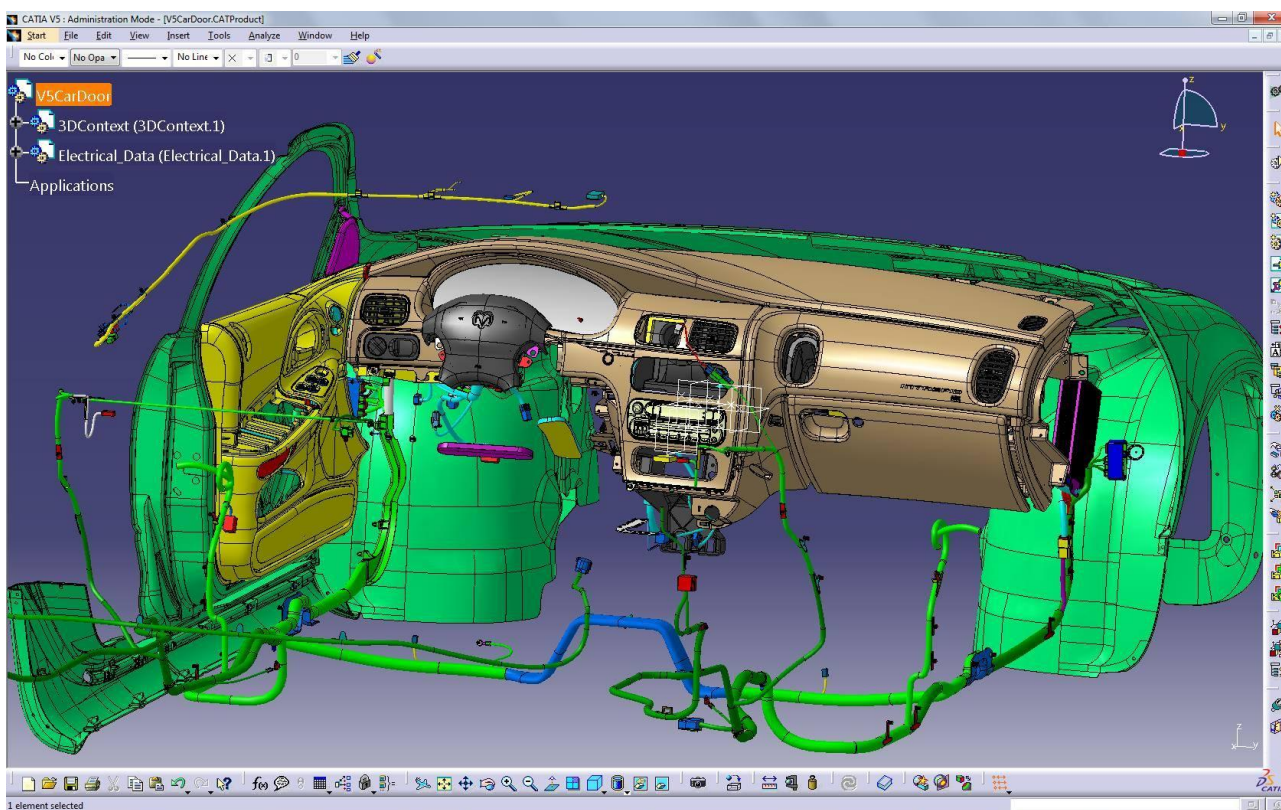


Рис. 8.9. Окно проектирования в CATIA V5

Все модули, которые входят в CATIA V5, группируются и классифицируются по нескольким различным параметрам. Пожалуй, основными являются платформы, то есть подмножества программных продуктов, с помощью определенного сочетания которых группы разработчиков могут решать некоторый круг задач на самых различных уровнях функциональности. Концепция CATIA V5 предполагает три уровня

платформ: P1, P2 и P3. Первая платформа является базовой и представляет собой отличное решение для небольших предприятий. Платформа номер два – это уже самая настоящая «тяжелая» САПР, имеющая в своем составе модули, позволяющие управлять цифровым макетом изделия и осуществлять коллективную его разработку. Третья платформа включает в себя различные специализированные модули, обеспечивающие наивысшую функциональность и производительность системы.

Кроме того, модули CATIA V5 могут быть сгруппированы по такому критерию, как область применимости, и образовывать так называемые домены. На сегодняшний день их насчитывается семь: машиностроительное проектирование, системный синтез промышленных изделий, разработка дизайна изделий, инженерный анализ, проектирование систем и коммуникаций, управление проектированием и обмен данными, а также программирование обработки на станках с ЧПУ.

Примечательно, что Dassault Systems была самой первой компанией в индустрии САПР, которая успешно внедрила в свой продукт CATIA технологию управления жизненным циклом изделия (PLM). Она представляет собой организационно-техническую систему, позволяющую обеспечить эффективное управление информацией об изделии и техпроцессах, которые с ним связаны, начиная с момента его проектирования и до полного снятия с производства и прекращения эксплуатации.

Fusion 360

Fusion 360 – это комплексный облачный CAD/CAE/CAM инструмент для промышленного дизайна и машиностроительного проектирования, разработанный компанией Autodesk. Он сочетает в себе лучшее от Inventor, Alias, Simulation и других программных продуктов Autodesk, позволяя создавать уникальную среду, которую с легкостью можно приспособить под себя, и которая позволит спроектировать практически все.

Модуль CAD позволяет использовать большое количество актуальных видов моделирования: сплайновое, поверхностное, твердотельное,

параметрическое и прямое. Модуль CAE позволяет выполнять расчет изделия на прочность, проводить модальный или термомеханический анализ, определять, каким образом будет осуществляться динамическое движение подвижных частей сборок, подготавливать фотореалистичные изображения проекта и анимацию. Встроенная в Fusion 360 среда 3D-печати используется для создания быстрого прототип будущего изделия, а модуль CAM позволяет подготовить управляющую программу для 2, 2.5, 3 и 5 осевых станков с ЧПУ.

Fusion 360 поддерживает импорт более 50 форматов файлов, и не нагружает компьютер за счет использования облачных технологий.

Creo

PTC Creo – это масштабируемый, функционально совместимый пакет программного обеспечения для конструирования изделий от компании PTC. Он позволяет группам конструкторов создавать, анализировать, просматривать и максимально использовать проекты изделий на последующих этапах с помощью средств 2D CAD, 3D CAD, параметрического и прямого моделирования.

Первый набор приложений Creo разработан с целью оптимизации разработки изделия, производства и процессов обслуживания и включает в себя следующие модули (рис. 8.10):

- Creo Layout – для работы с ранними концепциями в 2D;
- Creo Sketch – комплексное решение для быстрой фиксации конструкторских идей в 2D;
- Creo Direct – приложение для быстрого создания трехмерной геометрии и редакции с помощью прямого моделирования. Взаимодействует с Creo Parametric, позволяя пользователю переключаться между режимами моделирования;
- Creo Parametric – приложение для параметрического 3D-моделирования.
- Creo Simulate – аналитическая программа для структурного и теплового расчета;

- Creo Schematics – служба для создания маршрутных схем 2D, например кабельных и трубопроводных систем;
- Creo Illustrate – обеспечивает графическое представление в 3D сложной сервисной информации;
- Creo View MCAD – облегченное приложение для просмотра, комментирования и разметки геометрии MCAD;
- Creo View ECAD – облегченное приложение для работы с геометрией ECAD.

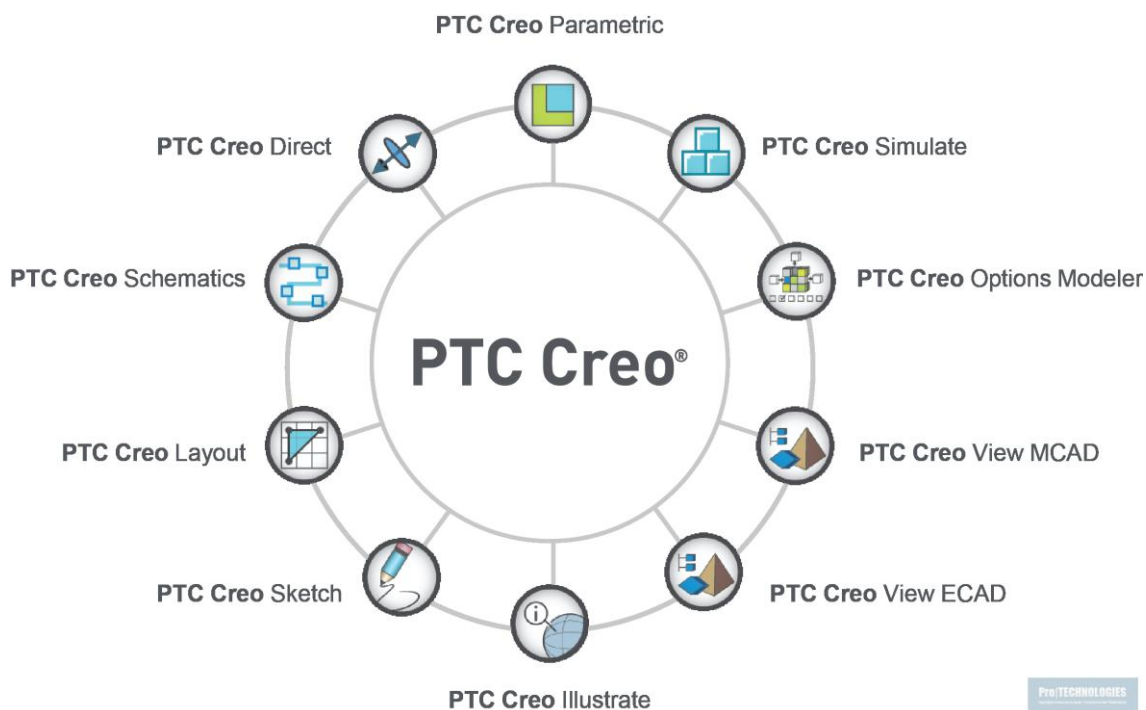


Рис. 8.10. Основной набор приложений PTC Creo

Неограниченная масштабируемость программного обеспечения Creo означает, что по мере роста предприятия и его потребностей можно легко добавлять новые учетные записи пользователей, модули и функции. Расширенные возможности предоставляются за счет целостной интеграции модулей расширения, включая расширения CAD, CAM и CAE.

PTC Creo предоставляет проектировщикам следующие возможности:

- твердотельное 3D-моделирование;
- эффективное моделирование сборок;
- построение поверхностей;

- моделирование деталей из листового металла,
- моделирование сварных соединений и каркасных конструкций,
- анализ деталей и сборок (анализ статики и кинематики, совместимость с пакетом для инженерных расчетов PTC Mathcad, позволяющая интегрировать документы PTC Mathcad в состав проекта);
- графика и встроенная анимация конструкций;
- встроенные функции работы с ЧПУ;
- работа с рядом стандартных форматов, в том числе STEP, IGES, DXF, STL, VRML, AutoCAD DWG, DXF;
- поддержка экспорта сторонних форматов (CATIA, Siemens NX, SolidWorks).

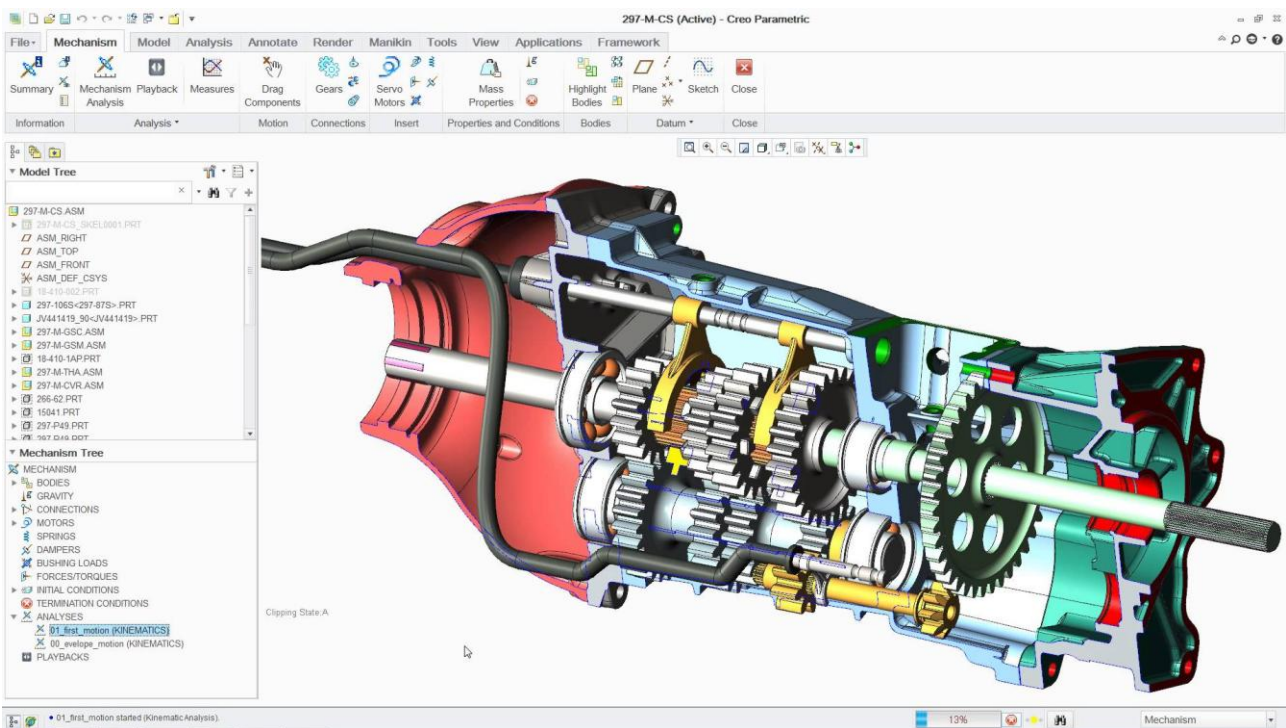


Рис. 8.11. Пример модели, созданной в PTC Creo Parametric

NX

NX – CAD/CAM/CAE-система производства компании Siemens PLM Software. Это универсальная система геометрического моделирования и конструкторско-технологического проектирования, в том числе разработки больших сборок, прочностных расчетов и подготовки конструкторской документации (рис. 8.12). Система многомодульная. В конструкторской части (подсистема CAD) имеются средства для твердотельного конструирования,

геометрического моделирования на основе сплайновых моделей поверхностей, создания чертежей по 3D-модели, проектирования сборок с учетом ассоциативности, анализа допусков и др. В технологической части (подсистема САМ) предусмотрены разработка управляющих программ для токарной и электроэрозионной обработки, синтез и анализ траекторий инструмента при фрезерной трех- и пятикоординатной обработке, при проектировании пресс-форм, штампов и др. Для инженерного анализа (подсистема САЕ) в систему включены модули прочностного анализа с использованием МКЭ с соответствующими пре- и постпроцессорами, кинематического и динамического анализа механизмов с определением сил, скоростей и ускорений, анализа литьевых процессов пластических масс, расчетов теплопередачи, газогидродинамики и междисциплинарного анализа физических явлений.



Рис. 8.12. Возможности CAD/CAM/CAE системы NX

SolidWorks

SolidWorks – это единая интегрированная CAD/CAM/CAE/PDM-система, построенная по иерархическому принципу, базирующаяся на единой информационной модели и устанавливающая общие принципы взаимодействия прикладных модулей. Она позволяет осуществлять автоматизированное

проектирование, подготовку производства различных изделий и детальный инженерный анализ. Программный комплекс SolidWorks разработан компанией SolidWorks Corporation, являющейся независимым подразделением компании Dassault Systemes. В переводе с английского (solid – тело, work – работа) название программного обеспечения буквально подразумевает «работу с телом», то есть с материальными объектами. Прикладные модули работают на уровне единой информационной модели, что позволяет решать ряд специфических задач: производство точных инженерных расчетов модели; анализ технологичности изделия (совокупности свойств конструкции, определяющей ее приспособленность к достижению оптимизации затрат на ее производство, эксплуатацию и ремонт); автоматизация документооборота с возможностью согласования различных форматов документов (до 200 типов).

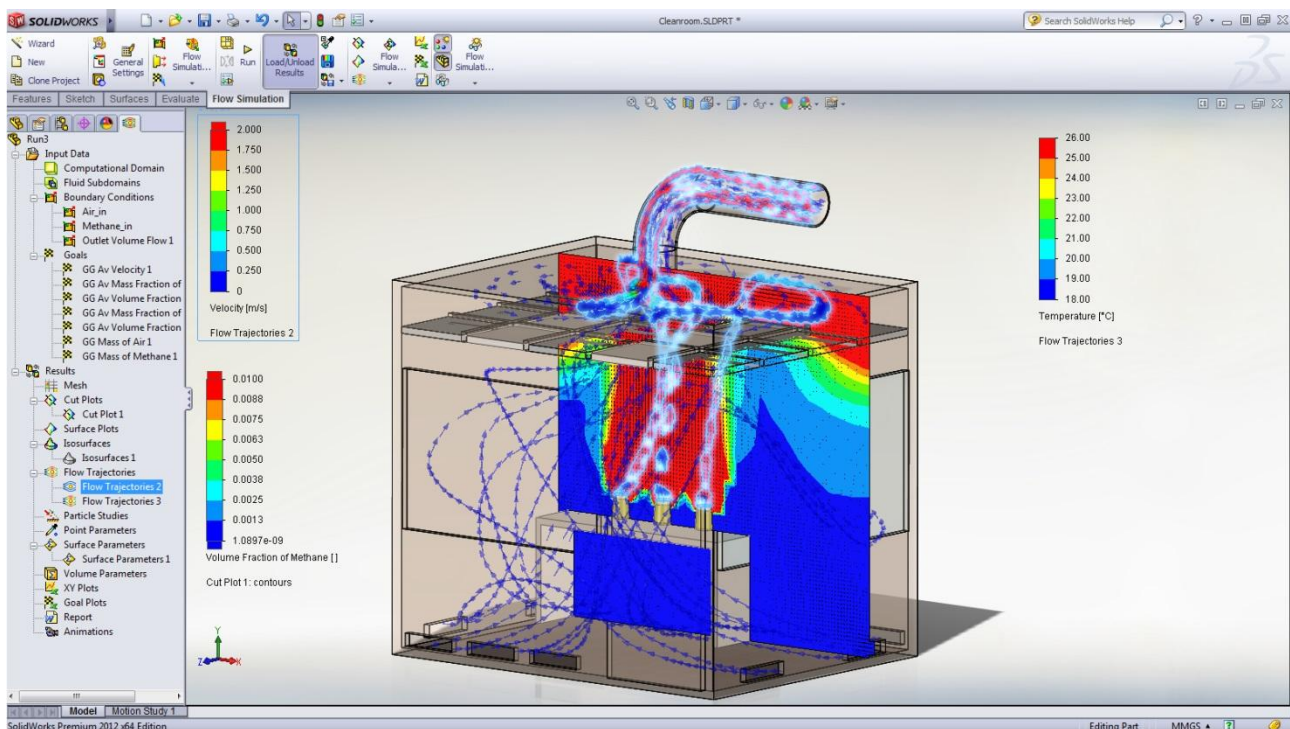


Рис. 8.13. Модуль инженерного анализа в SolidWorks

Программный пакет SolidWorks во многом построен на базе технологии SolidWorks Intelligent Feature Technology, сокращенно SWIFT. Это комплекс встроенных экспертных систем, позволяющих на самых ранних этапах проектирования с высокой степенью автоматизации решать задачи

оптимизации проекта. Это и инженерный экспресс-анализ (прочность, аэромеханика, кинематика и динамика механизмов), и анализ технологичности (применительно к механической обработке или требований к литью пластмасс), и комплексная проверка соответствия электронного документа выбранным стандартам, а также анализ размерных цепей, проверка собираемости изделия, поиск конфликтов, автоматическая простановка размеров и технологических обозначений, и даже автоматическое создание нового проекта на основе существующего по ряду формальных параметров.

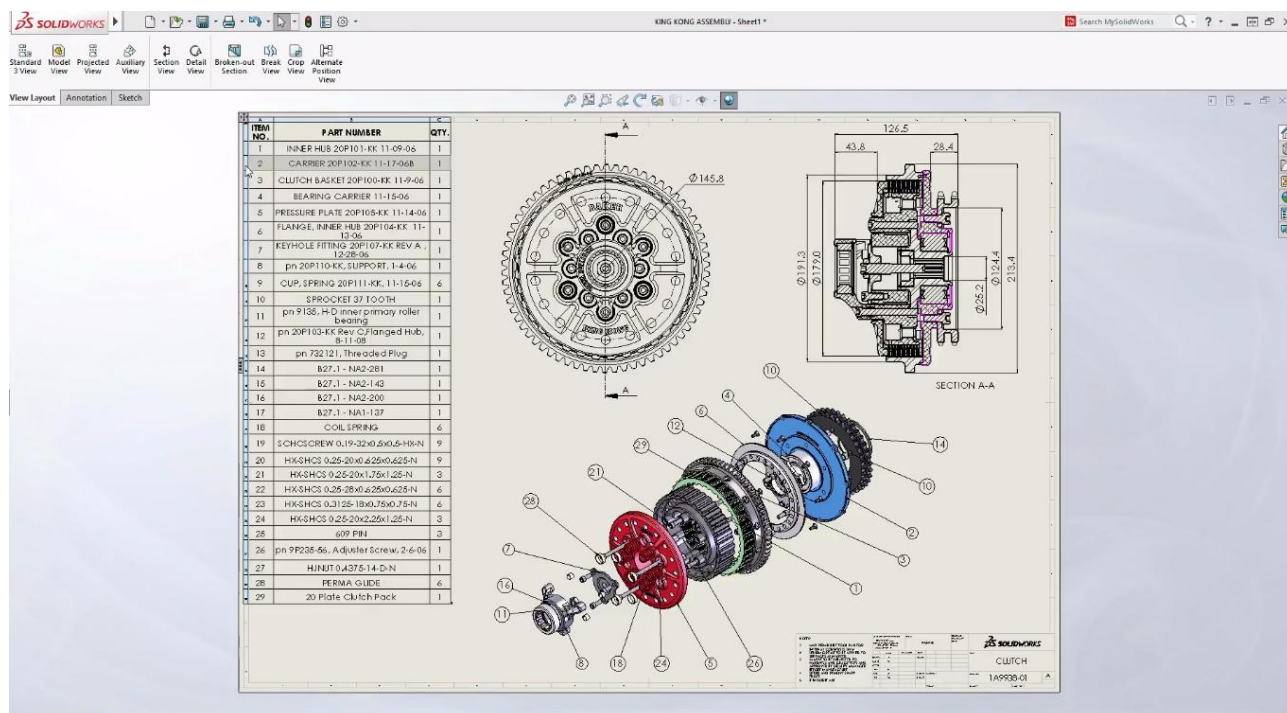


Рис. 8.14. Пример сборки в SolidWorks

SolidWorks – это мощное средство проектирования, ядро интегрированного комплекса автоматизации предприятия, которое позволяет осуществлять поддержку изделия на всех этапах жизненного цикла в полном соответствии с концепцией CALS-технологий. Программный комплекс SolidWorks включает базовые конфигурации SolidWorks Standard, SolidWorks Professional, SolidWorks Premium, а также различные прикладные модули:

- управление инженерными данными – SolidWorks Enterprise PDM;
- инженерные расчеты – SolidWorks Simulation, SolidWorks Flow Simulation;

- электротехническое проектирование – SolidWorks Electrical;
- разработка интерактивной документации – SolidWorks Composer;
- механообработка, ЧПУ – CAMWorks;
- верификация управляющих программ для станков ЧПУ – CAMWorks Virtual Machine;
- контроль качества – SolidWorks Inspection;
- анализ технологичности – SolidWorks Plastics, DFM и пр.

T-FLEX

T-FLEX PLM – комплекс программ CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM/CRM от компании «Топ Системы», который дает возможность организовать единую среду конструкторского и технологического документооборота, проектирования и подготовки производства.

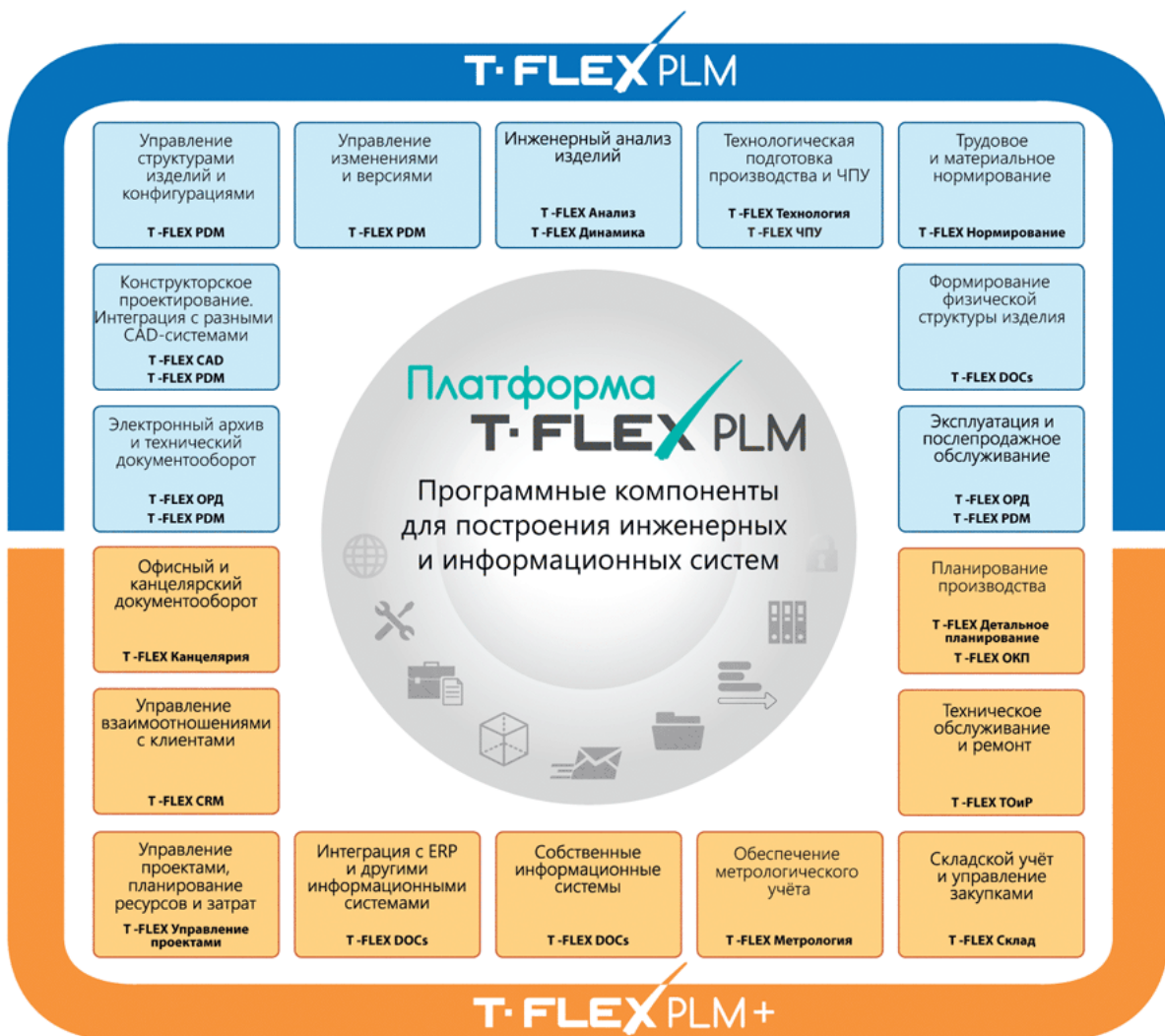


Рис. 8.15. Программные компоненты систем T-FLEX PLM и T-FLEX PLM+

Применение программного комплекса T-FLEX PLM в качестве базовой платформы для построения информационной системы предприятия дает возможность получить целый ряд готовых решений: традиционного конструкторско-технологического и организационно-распорядительного документооборота, средств CRM (управления взаимоотношениями с заказчиками), работы с договорами, автоматизации служб системы менеджмента качества и другие (рис. 8.15). Именно единая система дает возможность получить наиболее полную картину происходящего на предприятии, что позволяет обеспечивать более эффективное управление и высокое качество выпускаемых изделий.

Все подсистемы и модули, входящие в T-FLEX PLM, по назначению можно разделить на 6 групп: автоматизация технического документооборота, конструкторская подготовка (CAD-системы), расчетные системы (CAE-модули), технологическая подготовка (CAPP-модули), программы для станков с ЧПУ (CAM-модули), прикладные программы (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Подсистемы и модули системы T-FLEX PLM

Категория	Названия модулей
Документооборот	T-FLEX DOCs; T-FLEX DOCsLine; T-FLEX Канцелярия; T-FLEX CRM; T-FLEX Управление Проектами
Конструкторская подготовка	T-FLEX CAD; T-FLEX CAD 2D; T-FLEX CAD SE; T-FLEX Библиотеки; T-FLEX Viewer
Расчетные системы	T-FLEX Анализ T-FLEX Динамика
Технологическая подготовка	T-FLEX Технология; T-FLEX Нормирование; T-FLEX ТОиР; T-FLEX ОКП
Программы для станков с ЧПУ	T-FLEX ЧПУ 2D T-FLEX ЧПУ 3D
Прикладные программы	T-FLEX Печатные платы T-FLEX Раскрой T-FLEX Мебель

Рассмотрим основные модули и подсистемы T-FLEX PLM. Программный комплекс T-FLEX DOCs предназначен для решения задач конструкторско-

технологического и организационно-распорядительного документооборота, а так же комплексного управления инженерными данными предприятия. Он содержит в себе набор простых и удобных инструментов по управлению составами изделия и ведения номенклатуры предприятия. Главной особенностью T-FLEX DOCs в части технического документооборота является единство всех конструкторско-технологических данных и всей сопроводительной информации. T-FLEX DOCs служит основой для реализации концепции PLM+, предлагаемой компанией «Топ Системы».

T-FLEX CAD – полнофункциональная система автоматизированного проектирования, обладающая всеми современными средствами автоматизации проектирования при разработке проектов любой сложности. Программа объединяет мощные параметрические возможности трехмерного моделирования со средствами создания и оформления конструкторской документации.

T-FLEX Анализ – интегрированная среда конечно-элементных расчетов.

T-FLEX Динамика – интегрированный в T-FLEX CAD модуль, позволяющий производить динамические расчёты пространственных механических систем.

T-FLEX Технология – полнофункциональная программа для автоматизации технологической подготовки производства, обладающая гибкими современными средствами разработки технологических проектов любой сложности. Предназначена для автоматизированной разработки маршрутной, маршрутно-операционной и операционной технологии. Программа формирует титульные листы, маршрутные, маршрутно-операционные и операционные карты, ведомости и другие необходимые технологические документы. Информационная база T-FLEX Технология содержит большое количество справочников по составляющим технологических процессов.

T-FLEX Техническое нормирование – расчетная подсистема для программы T-FLEX Технология. Она позволяет осуществлять расчеты норм

времени и материалов при проектировании технологических процессов, а также рассчитывать режимы резания.

T-FLEX ТОиР – программное решение для автоматизированной разработки регламентов ремонта и технического обслуживания металлорежущих станков.

T-FLEX ОКП – программное решение для проведения оперативно-календарного планирования производства.

T-FLEX ЧПУ – программа, предназначенная для создания управляющих программ на оборудование с ЧПУ. Программа поддерживает различные типы систем управления 2D, 2,5D, 3D и 5D, и разделена на две независимые системы: T-FLEX ЧПУ 2D и T-FLEX ЧПУ 3D. T-FLEX ЧПУ является встраиваемым модулем для САПР T-FLEX CAD и функционирует исключительно совместно с ней. Таким образом, получается полноценное CAD/CAM-решение, которое обеспечивает безошибочную передачу данных от конструктора к технологу ЧПУ и значительно упрощает модификацию или исправление данных. Важной особенностью системы является сквозная параметризация: при изменении исходных данных, полученных на этапе конструирования (чертежа или 3D-модели), происходит автоматическое изменение рассчитанной траектории обработки и полученной по данной траектории управляющей программы. Таким образом, обеспечивается параллельность конструкторско-технологической подготовки производства.

Список литературы

1. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов / И.П. Норенков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.
2. Малюх, В. Н. Введение в современные САПР: курс лекций / В.Н. Малюх. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.
3. Ушаков, Д. М. Введение в математические основы САПР: курс лекций / Д.М. Ушаков. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 208 с.
4. Муромцев, Д.Ю. Математическое обеспечение САПР: учеб. пособие / Д.Ю. Муромцев, И.В. Тюрин. – СПб : Лань, 2014. – 464 с.
5. Кондаков, А.И. САПР технологических процессов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.И. Кондаков. – М.: «Академия», 2007. – 272 с.
6. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования» для студентов автомобильного отделения специалитета, бакалавриата очной и заочной форм обучения / Сост.: Швеёва Т.В. – Набережные Челны: Изд-во Набережночелнинского института КФУ, 2014. – 88 с.
7. Энциклопедия PLM / Д. Левин, В. Малюх, Д. Ушаков. – Новосибирск: ООО Изд. Дом «Азия», 2008. – 445 С.
8. ГОСТ 23501.108-85. Системы автоматизированного проектирования. Классификация и обозначение. – Взамен ГОСТ 23501.8-80; введён 1986-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 15 с.
9. Голованов, Н. Н. Геометрическое моделирование / Н.Н. Голованов. – М.: Изд-во Физматлит, 2002. – 472 с.
10. ГОСТ 15.001-88. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения (с Изменением № 1). – Взамен ГОСТ 15.001-73; введён 1989-03-01. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 10 с.

11. Виды плоттеров: их отличия и характеристики, особенности выбора [Электронный ресурс] / TehnoPanorama.ru. – Режим доступа: <https://tehnopanorama.ru/orgtehnika/vidy-plotterov.html>.
12. Энциклопедия 3D-печати [Электронный ресурс] / 3dtoday.ru. – Режим доступа: <http://3dtoday.ru/wiki/>.
13. NURBS-поверхности, полигональные поверхности и поверхности с иерархическим разбиением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.3dmaya6.ru/G104/Index02.htm>.
14. 3D манипуляторы – новое слово в работе дизайнеров, художников и архитекторов [Электронный ресурс]. A3d.ru журнал о дизайне и архитектуре – Режим доступа: <http://www.a3d.ru/design/technolog/233>.
15. FLOWVISION [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://thesis.com.ru/own_design/flowvision/.
16. SIMULIA: Моделирование продуктов, природы и жизни [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://thesis.com.ru/cae_brands/simulia/.
17. Программные продукты ANSYS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cadfem-cis.ru/products/ansys/>.
18. Харламов А., Уваров А. DEFORM – программный комплекс для моделирования процессов обработки металлов давлением [Электронный ресурс] // САПР и графика. 2003. №6. – Режим доступа: <http://sapr.ru/article/7481>.
19. Козлов С., Туганов А. «T-FLEX Динамика» – новое приложение комплекса T-FLEX для решения задач динамического анализа [Электронный ресурс] // САПР и графика. 2006. №4. – Режим доступа: <http://sapr.ru/article/16125>.
20. Ловыгин А. Будущее САМ-систем [Электронный ресурс] // САПР и графика. 2016. №1. – Режим доступа: <http://sapr.ru/article/25110>.
21. Каталог и гид по выбору CAD/CAM [Электронный ресурс] / Планета САМ. Информационно-аналитический электронный журнал. – Режим доступа: <http://planetacam.ru/choice/>.

22. Возможности AutoCAD [Электронный ресурс] / Autodesk.inc. – Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/products/autocad/overview>.
23. О системе NX [Электронный ресурс] / ООО «СИСВ». – Режим доступа: <https://www.plm.automation.siemens.com/ru/products/nx/>.
24. САПР CATIA [Электронный ресурс] / Bourabai Research. – Режим доступа: <http://bourabai.ru/cm/catia.htm>.
25. Программа CATIA [Электронный ресурс] / Перспективное оборудование. – Режим доступа: <http://www.axispanel.ru/working-party/programs/catia.php>.
26. FUSION 360: от идеи до готового изделия [Электронный ресурс] / Компания ПОИНТ, Autodesk Value Added Distributor. – Режим доступа: <http://fusion-360.ru/>.
27. Описания модулей Creo [Электронный ресурс] / РТС. – Режим доступа: <http://pts-russia.com/products/creo/creo-modules.html>.
28. Creo [Электронный ресурс] / ProTECHNOLOGIES. – Режим доступа: <http://pro-technologies.ru/product/Creo/>.
29. Концепция PLM+ от компании «Топ Системы» [Электронный ресурс] / ЗАО «Топ Системы». – Режим доступа: <http://www.tflex.ru/plm/>.
30. Концепция SolidWorks [Электронный ресурс] / Группа компаний SWR. – Режим доступа: <http://www.swrgroup.ru/industry-solutions/concept-solidworks/>.
31. Обзор современных систем автоматизированного проектирования [Электронный ресурс] / Bourabai Research. – Режим доступа: <http://bourabai.ru/graphics/dir.htm>.

Учебное издание

Липин Андрей Александрович

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический
университет»

153000, г. Иваново Шереметевский пр., 7