Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение

«Арзамасский коммерческо-технический техникум»

Саблукова Наталья Геннадьевна

Комплект лекций

по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования»

для студентов специальности
22.02.06 Сварочное производство

Арзамас
2022

Одобрено методическим объединением естественно-математических и информационных дисциплин
Протокол № 1 от 30.08.2022 г

Саблукова Н.Г.
Комплект лекций по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования» для студентов специальности 22.02.06 Сварочное производство– Арзамас: ГБПОУ АКТТ, 2022. – 51 с.

Комплект лекций содержат материал по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования», изучаемой студентами данной специальности на третьем курсе. Представленная информация может быть использована студентами как во время учебных занятий по данной дисциплине, а также в рамках самостоятельной работы во внеурочное время.

© Арзамасский коммерческо-технический техникум, 2022

Содержание

	Введение	4
1.	Лекция 1. Основы проектирования. Цели и методы автоматизации проектирования.	5
2.	Лекция 2. Классификация современных систем автоматизированного проектирования (САПР).	13
3.	Лекция 3. Структура САПР. Виды обеспечения САПР.	16
4.	Лекция 4. Геометрическое и параметрическое моделирование в САПР.	19
5.	Лекция 5. Системы автоматизированной разработки чертежей (CAD-2D).	24
6.	Лекция 6. Системы трехмерного моделирования (CAD-3D).	30
7.	Лекция 7. Средства инженерного анализа, автоматизированное производство, автоматизированная технологическая подготовка.	33
8.	Лекция 8. Системы управления данными об изделии. Понятие о CALS-технологиях.	38
9.	Лекция 9. Специализированные САПР. САПР в сварочном производстве	42
10.	Лекция 10. Специальное оборудование для САПР.	50
	Информационное обеспечение	54

Введение

Курс лекций составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины «Системы автоматизированного проектирования» и требованиями федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 22.02.06 Сварочное производство.

Курс лекций раскрывает основные вопросы разделов дисциплины «Системы автоматизированного проектирования»:

- Цели и методы автоматизации проектирования.
- Характеристика современных САПР.
- Структура и виды обеспечения САПР.
- САПР в сварочном производстве.

Лекционный материал содержит краткую информацию по основным темам дисциплины. Каждая лекция содержит:

- план (перечень вопросов, рассматриваемых в рамках темы);
- изложение основных вопросов, в соответствии с представленным планом.

Учебное пособие предназначено для студентов очной формы обучения по специальности 22.02.06 Сварочное производство и может быть использовано как во время учебных занятий по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования», а также в рамках самостоятельной работы во внеурочное время.

Лекция № 1. Основы проектирования. Цели и методы автоматизации проектирования.

План.

1. Понятие проектирования.
2. Жизненный цикл разработки изделия
3. Этапы опытно-конструкторских работ (ОКР)
4. Виды проектирования. Понятие САПР – системы автоматизированного проектирования.
5. Цели и методы автоматизации проектирования

1. Понятие проектирования.

Прежде чем говорить непосредственно об автоматизации проектирования технических объектов, необходимо описать само понятие проектирования и его место в процессе жизненного цикла объектов. Создание и использование технического объекта - сложный, многостадийный, часто итеративный процесс.

Проектирование любого технологического объекта — создание, преобразование и представление в принятой форме образа этого еще не существующего объекта.

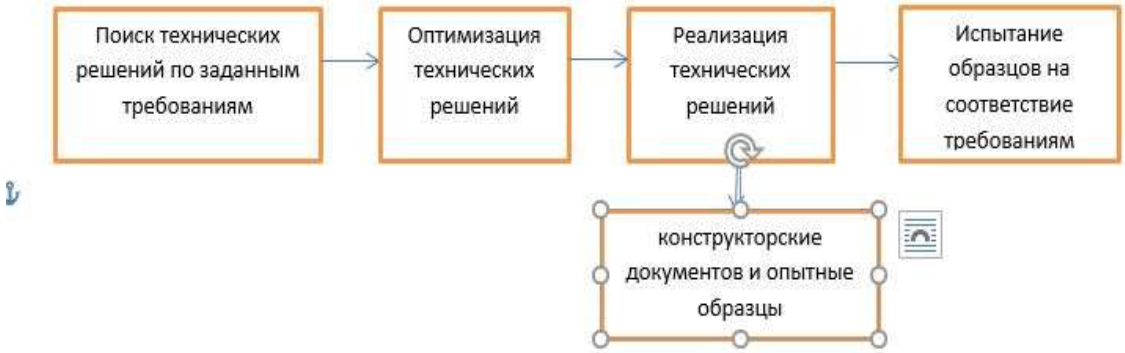
Проектирование – в самом широком смысле это процесс создания проекта или комплекса информации, в котором описывается прообраз предполагаемого объекта или процесса.

В любом случае инженерное проектирование начинается при наличии выраженной потребности общества в некоторых технических объектах, которыми могут промышленные изделия или процессы. Проектирование включает в себя разработку технического предложения и (или) технического задания (ТЗ), отражающих эти потребности, и реализацию ТЗ в виде проектной документации.

Обычно ТЗ представляют в виде некоторых документов, и оно является исходным (первичным) описанием объекта. Результатом проектирования, как правило, служит полный комплект документации, содержащий достаточные сведения для изготовления объекта в заданных условиях. Эта документация и есть проект, точнее окончательное описание объекта. Следовательно, проектирование — процесс, заключающийся в получении и преобразовании исходного описания объекта в окончательное описание на основе выполнения комплекса работ исследовательского, расчетного и конструкторского характеров.

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

Проектирование в технике – 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.



Любое современное сложное техническое устройство есть результат комплексного знания. Проектировщик должен знать маркетинг, экономику страны и мира, физику явлений, многочисленные технические дисциплины (радиотехнику, вычислительную технику, математику, машиностроение, метрологию, организацию и технологию производства и т. д.), условия эксплуатации изделия, руководящие технические документы и стандарты. Кроме того, следует учитывать: особенности и требования реальной жизни, коллектива, чужой опыт, умение получать и оценивать информацию.

Не последним требованием к проектировщику является комплексность мышления, умение работать с большим числом организаций. Особенно это умение необходимо разработчику изделия, входящего в более сложный комплекс (например, радиостанции для судна, самолета) или связанного с другими системами (по выдаче данных, питанию, управлению и т. д.).

Проектирование является сложным многоэтапным процессом, в котором могут принимать участие большие коллективы специалистов, целые институты и научно-производственные объединения, а также организации заказчиков, которым предстоит эксплуатировать разработанную аппаратуру.

Часто полный цикл проектирования называют НИОКР – Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы – 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.

2. Жизненный цикл разработки изделия

1. Этап научно-исследовательских работ НИР – стадия зарождения изделия, разработка технического задания на НИР и проведение НИР

Задачами этапа НИР (научно-исследовательских работ) являются: разрешение конкретных научных проблем для создания новых изделий; получение рекомендаций, инструкций, расчетно-технических материалов, методик; определение возможности проведения ОКР (опытно-конструкторских работ) по тематике НИР.

Техническое задание на НИР, как правило, включает:

- объект исследования;
- описание требований к объекту исследования;
- перечень функций объекта исследования общетехнического характера;
- перечень физических и других 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;
- сведения о материальных ресурсах;
- маркетинговые сведения;
- данные об ожидаемом экономическом эффекте.

Дополнительно может использоваться следующая информация: методы решения отдельных задач и обработки информации; общетехнические требования (стандарты, ограничения вредных влияний, требования по надежности, ремонтопригодности, эргономике и т. д.); проектируемые сроки обновления продукции; предложения лицензий и ≪ноу-хау≫ по объекту исследований.

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.

После завершения прикладных НИР при условии положительных результатов экономического анализа, удовлетворяющего фирму с точки зрения ее целей, ресурсов и рыночных условий, приступают к выполнению опытно-конструкторских работ (ОКР).

2. Этап опытно-конструкторских работ (ОКР)

Основная задача – создание комплекта конструкторской документации для серийного производства. ОКР, собственно, и является этапом проектирования изделия. Предметом приложения САПР являются опытно-конструкторские работы (ОКР).

3. Этап производства изделия, имеется в виду промышленное серийно-массовое производство.

4. Этап реализации и эксплуатации изделия – продажа изделия конкретным потребителям, эксплуатация и обслуживание изделия (ремонт).

5. Этап утилизации изделия

3. Этапы опытно-конструкторских работ (ОКР)

Основные этапы ОКР четко регламентируются, в частности на территории Российской Федерации – стандартом ГОСТ 15.001-88 «Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения».

Основные этапы ОКР

№ п/п	Наименование этапа	Характеристика этапа
Предварительное проектирование, результатом которого являются технические предложения (аван-проект). Эта стадия в наибольшей степени насыщена элементами научного поиска, теоретическими расчетами, экспериментальными исследованиями. Они завершаются обычно созданием лабораторных макетов.		

1	**Разработка ТЗ на ОКР**	**Техническое задание** – исходный документ для разработки и испытания изделия. Техническое задание на ОКР содержит: наименование, цель выполнения ОКР, требования к изделию, требования к сырью, материалам и комплектующим, этапы ОКР, требования к технической документации.
2	**Разработка технического предложения**	Выявление дополнительных или уточненных требований к изделию, его техническим характеристикам и показателям качества, которые не могут быть указаны в ТЗ. В ходе разработки ТП осуществляется: • проработка результатов НИР; • проработка результатов прогнозирования; • изучение научно-технической информации; • предварительные расчеты и уточнение требований ТЗ. ТП является основанием для корректировки ТЗ и *выполнения эскизного проекта.*
Эскизное проектирование		
3	**Эскизное проектирование** (большинство САПР нацелены на автоматизацию именно этого этапа)	Разработка эскизного проекта, который дает общее представление о принципе работы или устройстве изделия. На этой стадии рассматриваются варианты изделия (технические решения) или его составных частей.
4	**Техническое проектирование (конструирование)**	Окончательный выбор технических решений, дающих полное представление о конструкции изделия.
5	**Разработка рабочей документации для изготовления и испытаний опытного образца**	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
6	**Предварительные испытания опытного образца**	Предварительные испытания проводятся с целью проверки соответствия опытного образца требованиям ТЗ и определения возможности его предъявления на окончательные испытания. Предварительные испытания включают в себя: • стендовые испытания; • предварительные испытания на объекте; • испытания на надежность.

7	**Окончательные (государственные, ведомственные, внутрикорпоративные) испытания опытного образца**	Окончательные испытания проводят с целью оценки соответствия требованиям ТЗ и возможности организации серийного производства. Далее отрабатывается документация по результатам испытаний.

Рис. 1.1. Жизненный цикл изделия

Рис. 1.2. Этапы опытно-конструкторских работ

4. Виды проектирования. Понятие САПР – системы автоматизированного проектирования.

Различают следующие виды проектирования: неавтоматизированное проектирование и автоматизированное проектирование. Процесс проектирования, осуществляемый человеком вручную (без использования ЭВМ), называют неавтоматизированным проектированием. Проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека и ЭВМ, называют автоматизированным проектированием.

Необходимо выделить понятие автоматического проектирования, которое остается для выполнения отдельных вычислительных операций, процедур, выполняемых средствами вычислительной техники согласно заложенным в них программам. Таким образом, автоматическим проектированием называют проектирование, при котором все преобразования описаний объекта и алгоритма его функционирования осуществляются без участия человека. Автоматическое проектирование возможно лишь в отдельных частных случаях для сравнительно несложных объектов.

Существует множество определений САПР, но суть их такова, что

САПР – организационно-техническая система, предназначенная для автоматизации процесса проектирования, состоящая из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности.

Средства автоматизации проектирования имеют своей задачей повышение эффективности труда инженеров.

5. Цели и методы автоматизации проектирования

На всех этапах жизненного цикла изделий имеются свои целевые установки. При этом участники жизненного цикла стремятся достичь поставленных целей с максимальной эффективностью.

Что значит максимальная эффективность? На этапах проектирования и производства нужно обеспечить выполнение ТЗ 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 включает в себя не только снижение себестоимости продукции и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижения затрат на будущую эксплуатацию изделий. Особую важность требования удобства эксплуатации имеют для сложной техники, например в таких отраслях, как авиа- или автомобилестроение.

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

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 связаны с сокращением трудоемкости проектирования и планирования, а также их себестоимости, сокращением длительности цикла «проектирование – изготовление», сокращением затрат на натурное моделирование проектируемых объектов.

1. *Трудоемкость* измеряется чистым временем, традиционно в человеко-часах, 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.

2. *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. Бригады специалистов объединяются в виртуальное бюро с целью создания новых изделий. Не всегда возможно найти высококвалифицированных специалистов разного профиля в одном месте.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

Средством сокращения трудоемкости адаптации систем к условиям эксплуатации на конкретном предприятии с учетом стандартов этого предприятия, а также 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 данных, доступными пользователю без навыков программирования.

Рис. 2.1. Основные цели и методы автоматизации проектирования

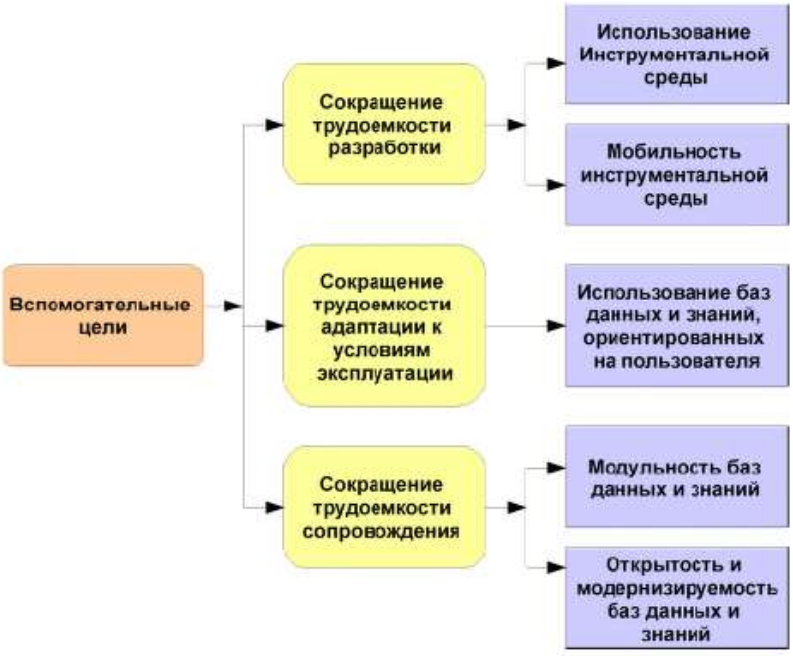


Рис. 2.2. Вспомогательные цели и методы автоматизации проектирования

Лекция № 2. Классификация современных систем автоматизированного проектирования (САПР).

План.

1. Классификация САПР по целевому назначению.
2. Классификация САПР по видам и сложности объектов проектирования; по уровню автоматизации; уровню комплексности; характеру и числу выпускаемых проектом документов.
3. История развития САПР.

1. **Классификация САПР по целевому назначению**.

Инженерная деятельность (ИД) может быть подразделена на несколько последовательных этапов: проектирование, конструирование, подготовка и организация производства. Соответственно, и средства автоматизации ИД имеют ставшую уже традиционной классификацию, подразделяющую их по целевому назначению:

- средства собственно проектирования CAD (Computer Aided Design);

AutoCAD (Autodesk); АДЕМ; Компас (Аскон, С-Петербург); Спрут (Sprut Technology, Набережные Челны); T-FlexCAD (ТопСистемы, Москва)

- средства инженерного анализа CAE (Computer Aided Engineering);

T-FLEX Анализ, ANSYS, APM WinMachine

- средства автоматизации тех. процессов CAM (Computer Aided Manufacturing);

ADEM (CAD/CAM/CAPP), CATIA (CAD/CAM/CAE/PDM), Вертикаль

- средства планирования технологических процессов CAPP (Computer Aided Process Planning);

Вертикаль, T-Flex Технология, Timeline, ADEM

- средства управления документооборотом PDM {Product Document Management),
- геоинформационные системы GIS (GeoinformaticsSystems).

В свою очередь, внутри всего множества CAD-решений принято выделять по отраслевому назначению:

- машиностроительные CAD - MCAD (Mechanical Computer Aided Design)]
- САПР электронных устройств, EDA (Electronic Design Automation)]
- архитектурно-строительные САПР, AEC (Architecture Engineering and Construction).

Функции CAD-систем в машиностроении подразделяют на две большие группы:

– двумерное (2D) проектирование; к этим функциям относятся черчение и оформление конструкторской документации;

– трёхмерное (3D) проектирование; сюда относятся получение трёхмерных моделей объектов и их реалистичная визуализация, взаимное преобразование двумерных и трёхмерных моделей, расчёты параметров трёхмерных моделей.

CAD-системы условно можно разделить на две группы по фактору стоимости:

1. Для массового пользователя (относительно дешёвые).
2. Для специалистов и промышленного применения (дорогие).

Первая группа ориентирована преимущественно на двумерную графику и менее требовательна в отношении вычислительных ресурсов. Вторая группа ориентирована в основном на геометрическое (трёхмерное) моделирование, получение и оформление

конструкторской документации обычно осуществляется с помощью предварительной разработки 3D моделей.

В настоящее время наиболее широко используются следующие CAD-системы, предназначенные для машиностроения:

– в первой группе: AutoCAD (Autodesk); АДЕМ ; bCAD (ПроПроГруппа, Новосибирск); Caddy (Ziegler Informatics); Компас (Аскон, С-Петербург); Спрут (Sprut Technology, Набережные Челны); Кредо (АСК, Москва).

– во второй группе: Pro/Engineer (PTC – Parametric Technology Corp.), Unigraphics (EDS Unigraphics); SolidEdge (Intergraph); CATIA (Dassault Systemes), EUCLID (Matra Datavision), CADDS.5 (Computervision, ныне входит в PTC) и др.

– системы, занимающие промежуточное положение: Cimatron, Microstation (Bentley), Euclid Prelude (Matra Datavision), T-FlexCAD (ТопСистемы, Москва) и др.

Продукты CAE, соответственно, делятся на системы:

прочностных расчетов (в основном средствами МКЭ - метода конечных элементов);

- тепловых расчетов;
- вычислительной гидроаэродинамики (CFD, Computational Fluid Dynamics);
- кинематического анализа;
- механической симуляции (MES, Mechanical Event Simulation);
- симуляции процессов литья и обработки давлением;
- электромагнитных и электродинамических расчетов;
- оптимизирующие.

2. Классификация САПР по видам и сложности объектов проектирования; по уровню автоматизации; уровню комплексности; характеру и числу выпускаемых проектом документов.

В зависимости от обстоятельств и текущей задачи САПР также классифицируют по другим признакам:

1) разновидности и сложности объектов проектирования:

а) САПР низкосложных объектов (количество составных частей - до 100);

б) САПР среднесложных объектов (100-10 000);

в) САПР высокосложных объектов (выше 10 000);__

2) уровню автоматизации:

а) низкоавтоматизированные (до 25% проектных процедур автоматизировано);

б) среднеавтоматизированные (25-50%);

в) высокоавтоматизированные (50-75%);

3) уровню комплексности:

а) одноэтапные (один этап проектирования);

б) многоэтапные (несколько этапов);

в) комплексные (весь процесс создания изделия);

4) характеру и числу выпускаемых проектом документов:

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

б) САПР средней производительности (10 000-100 000);

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

По характеру базовой подготовки различают следующие разновидности САПР.

1. САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования – для конструирования объектов.

2. САПР на базе СУБД – для переработки больших объемов данных. Используются, например, при проектировании бизнес-планов или щитов управления в системах автоматики.

3. САПР на базе конкретного прикладного пакета – это автономно используемые программно-методические комплексы, например, имитационного моделирования производственных процесовского управления и т.п. Часто такие САПР относятся к системам CAE. Примерами могут служить программы логического проектирования на базе языка VHDL, математические пакеты типа MathCAD.

4. Комплексные (интегрированные) САПР, состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов. Характерными примерами комплексных САПР являются CAE/CAD/CAM-системы в машиностроении

Для удобства адаптации САПР к нуждам конкретных приложений, для ее развития целесообразно иметь в составе САПР инструментальные средства адаптации и развития. Эти средства представлены той или иной CASE-технологией, включая языки расширения. В некоторых САПР применяют оригинальные инструментальные среды.

Примерами могут служить объектно-ориентированная интерактивная среда CAS.CADE в системе EUCLID, содержащая библиотеку компонентов, в САПР T-Flex CAD 3D предусмотрена разработка дополнений в средах Visual C++ и Visual Basic.

CALS-технология — это технология комплексной компьютеризации сфер промышленного производства, цель которой — унификация и стандартизация спецификаций промышленной продукции на всех этапах ее жизненного цикла. Основные спецификации 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.

3. История развития САПР

По сравнению с историей развития вычислительной техники история развития автоматизированных систем очень коротка, она не насчитывает и пятидесяти лет. Однако без этих систем компьютеры никогда бы не стали тем, чем они являются сейчас – орудием труда миллионов специалистов, занятых проектированием в самых разных областях.

История развития САПР достаточно условно можно разбить на 3 этапа:

1. 70-е годы - были получены отдельные результаты, показавшие, что область проектирования в принципе поддается компьютеризации; в этот период основное внимание уделялось системам автоматизированного черчения. Многие программные продукты того времени назывались системами автоматизированного черчения - САЧ.

2. 80-е годы - характеризуются активным применением микрокомпьютеров и супер микрокомпьютеров, появлением массовых систем и базовых программных продуктов для них. Этот период характерен использованием различного ПО различными подразделениями одного предприятия (период основной автоматизации). Однако в эти же годы наряду с 2D черчением появились системы 3D моделирования. Теперь стала желательной возможность передавать данные с одного этапа на другой этап ЖЦ. Кроме того, появилось понятие твердотельное моделирование.

3. 90-е года - период "зрелости" - некоторые ошибки были исправлены (например, убраны барьеры несовместимости между системами). Сначала стали появляться - третье сторонние фирмы - разработчики ПО для конвертации данных из системы в систему. Потом крупные системы стали сами предоставлять возможность импорта и экспорта данных с другими распространенными системами.

Первые программы автоматизированного проектирования были созданы для нужд электронной и радиотехнической промышленности. Они появились в конце 50-х - начале 60-х годов прошлого века. В качестве примера можно назвать программы анализа электронных схем Net-1, ECAP или программу логического моделирования цифровой аппаратуры С. Крея – Р .Киша, созданные в США.

Первые системы, автоматизирующие выполнение графических работ в машиностроении появились в 60-70-х гг. XX века, когда были созданы средства для изображения линий, окружностей и кривых на экране монитора с помощью макрокоманд и интерфейсов прикладного программирования.

Лекция № 3. Структура САПР. Виды обеспечения САПР

План

1. Проектирующие и обслуживающие подсистемы САПР.
2. Математическое, техническое обеспечение, программное, информационное, лингвистическое, методическое, организационное обеспечения САПР.

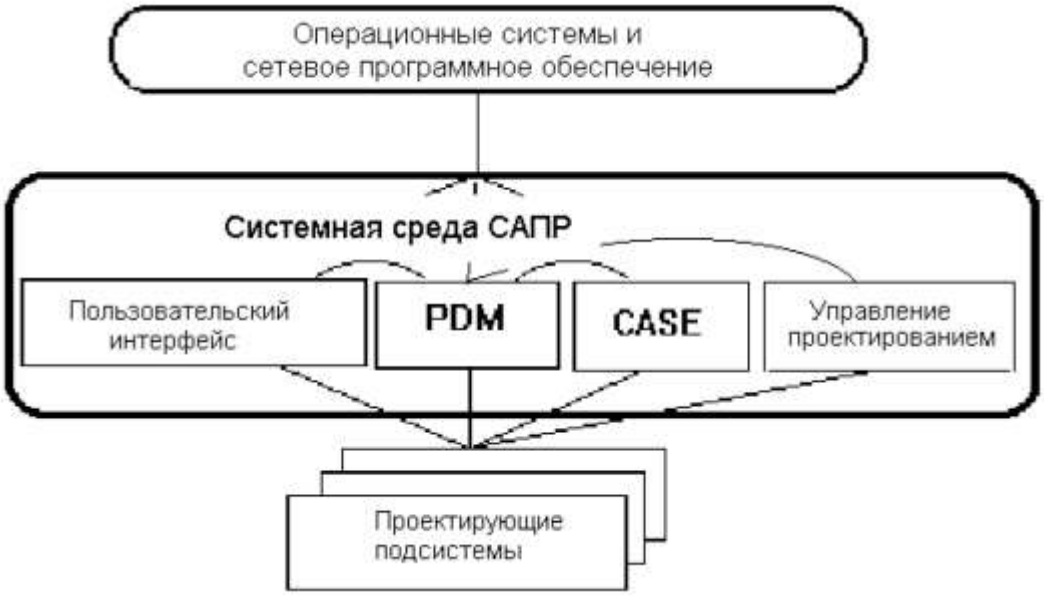
1. Проектирующие и обслуживающие подсистемы САПР.

Как и любая сложная система, САПР состоит из подсистем. Различают подсистемы проектирующие и обслуживающие.

Проектирующие подсистемы непосредственно выполняют проектные процедуры, используя все средства обслуживающих подсистем.

Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации, схемотехнического анализа, трассировки соединений в печатных платах.

Обслуживающие подсистемы обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР. Типичными обслуживающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными (PDM), управления процессом проектирования (DesPM), пользовательского интерфейса для связи разработчиков с ЭВМ, CASE для разработки и сопровождения программного обеспечения САПР, обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.



2. Математическое, техническое обеспечение, программное, информационное, лингвистическое, методическое, организационное обеспечения САПР

1. **Математическое обеспечение (МО)** – математические методы, модели объектов и процессов проектирования, алгоритмы решения задач проектирования.

МО при автоматизированном проектировании в явном виде не используется, а применяется производный от него компонент - программное обеспечение. Вместе с тем разработка *МО* является самым сложным этапом создания САПР, от которого при использовании условно одинаковых технических средств в наибольшей степени зависят производительность и эффективность функционирования САПР в целом.

По назначению и способам реализации математическое обеспечение делят на две части:

- математические методы и построенные на них математические модели;
- формализованное описание технологии автоматизированного проектирования.

2. **Техническое обеспечение (ТО)** – совокупность связанных и взаимодействующих технических средств, обеспечивающих работу САПР.

Техническое обеспечение САПР включает компьютеры (в том числе специализированные рабочие станции и сервера), оргтехнику, средства передачи данных, периферийное оборудование (устройства графического ввода, сканеры, принтеры, плоттеры), измерительную технику, устройства подготовки данных и организации архивов.

В настоящее время большинство практически действующих САПР строятся на базе локальных вычислительных сетей с мощными персональными компьютерами.

3. **Программное обеспечение (ПО)** – совокупность всех программ и эксплуатационной документации (инструкции пользователя, программы для диагностики ошибок и сбоев и др.). В программном обеспечении САПР выделяют:

- общесистемное ПО (операционные системы)

- базовое ПО – мониторная система – комплекс программ, управляющих прикладным ПО

- пакеты прикладных программ (комплексы программных средств, ориентированных на решение задач в определенной области)

- системы программирования (совокупность средств написания текстов, трансляции и отладки программ пользователя).

4. **Информационное обеспечение (ИО)** – данные, необходимые для выполнения проектирования. Данные могут быть представлены в виде документов на различных носителях, содержащих необходимые сведения справочного характера.

ИО обычно представляют в виде банков данных и баз знаний.

К информационному обеспечению предъявляются следующие требования:

1) адекватность информации состоянию предметной области;

2) массовость использования (коллективный доступ);

3) быстродействие (время реакции на запрос);

4) производительность (количество запросов, выполняемых в единицу времени);

5) возможность расширения;

6) надежность и защита информации.

5. **Лингвистическое обеспечение (ЛО)** – совокупность языков проектирования, включая термины, определения, правила формализации естественного языка, методы сжатия и развертывания текстов.

В свою очередь, лингвистическое обеспечение САПР подразделятся на языки программирования, проектирования и управления. К ним относятся языки высокого уровня (Паскаль, Фортран, Си++) и машинно-ориентированные языки – ассемблеры (низкого уровня).

Языки программирования служат для разработки системного и прикладного ПО САПР. Они базируются на алгоритмических языках - наборе символов и правил образования конструкций из этих символов для задания алгоритмов решения задач.

Языки проектирования – это проблемно-ориентированные языки, включают языки описания, моделирования и диалога между пользователем и ПК.

Языки управления служат для формирования команд управления технологическим оборудованием, устройствами документирования, периферийными устройствами.

6. **Методическое обеспечение (МТО, или МетО)** - документы, устанавливающие состав, правила отбора и эксплуатации САПР.

7. **Организационное обеспечение (ОО)** - совокупность документов, определяющих состав проектной организации, связь между подразделениями, а также деятельность САПР.

В организационное обеспечение входят штатные расписания, должностные инструкции, правила эксплуатации, приказы, положения и т. п.

Полноценное функционирование САПР возможно только при наличии и взаимодействии всех перечисленных обеспечений. Для пользователей ТО и ПО выступают как единое целое, образуя инструмент проектирования, поэтому говорят, что в САПР можно выделить:

программно-методический комплекс – совокупность ПО и МетО.

Программно-методический комплекс – взаимосвязанная совокупность некоторых частей программного, математического, лингвистического, методического и информационного обеспечения, необходимая для получения законченного проектного решения по объекту проектирования или для выполнения определенных унифицированных процедур. Примеры ПМК: оформления документации, синтеза проектных решений, моделирования и т. П

Программно-технический комплекс – взаимосвязанная совокупность программно-методических комплексов, объединенных по некоторому признаку, и средств технического обеспечения САПР. Примеры ПТК: автоматизированные рабочие места, включающие в себя ЭВМ, комплект периферийных устройств и ряд.

Лекция № 4. Геометрическое и параметрическое моделирование в САПР.

План

1. Понятие геометрической модели. Виды геометрических моделей.
2. Понятие параметрического моделирования. Виды параметрических моделей.

1. Понятие геометрической модели. Виды геометрических моделей.

Модель – это представление данных, отражающих существенные свойства реального объекта. Она может содержать данные, весьма, различные по характеру, - геометрические, технологические и т.д. В данной лекции мы рассмотрим геометрическое моделирование, т. е. представление изделий с точки зрения их геометрических свойств. Геометрическая модель занимает важное место в САПР.

История геометрического моделирования начинается с первых работ по машинной графике о графическом представлении и основы для алгоритмов удаления невидимых частей. Появляются первые системы для моделирования сплошных тел. В 70-х годах начинается промышленное применение моделирования сплошных тел, а в моделях учитываться функциональные особенности, прежде всего благодаря совершенствованию аппаратуры (мультипликация, цвет).

Геометрическая модель изделия является машинным представлением его формы и размеров.

Основные виды геометрических моделей

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. Трехмерная модель служит для того, чтобы создать виртуальное представление изделия во всех трех измерениях.

В работах, проведенных в этой области, и в соответствующих комплексах программного обеспечения выделяются три основных типа трехмерных моделей:

каркасные («проволочные») модели;

поверхностные модели;

модели сплошных тел («объемные»).

Каркасное моделирование

Исторически первыми появились каркасные модели (в конце 70 гг. XX века). Т.к. алгоритм построения таких моделей был достаточно простым, то его можно было реализовать даже на маломощном оборудовании.

Каркасное моделирование – самый простой способ представления трехмерных моделей. Каркасные модели (или проволочные каркасы) представляют собой вершины, соединенные ребрами.

+ Они помогают более ясно представлять модель и взаимное расположение составляющих ее элементов. Кроме того, каркасы можно использовать и для создания проекционных видов. Требуют меньше памяти.

- Программы не могут отобразить всех особенностей поверхностей, определяемых каркасами, и это делает невозможным построение, например, точных сечений. Визуальная модель может быть неоднозначной.

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.

Поверхностное моделирование

В отличие от каркасного представления, моделирование при помощи поверхностей имеет существенно меньше ограничений, так как позволяет определить своеобразную «оболочку» трехмерного объекта. Но все же поверхностная модель очень похожа на каркасную. Представьте себе, что между гранями каркасной модели натянута тонкая ткань. Это и будет поверхностной моделью.

Поверхностные модели представляются в виде набора ограничивающих поверхностей.

Преимущества поверхностного моделирования:

1. Достоверное представление любого по сложности объекта;
2. Контроль взаимно расположенных деталей;
3. Подготовка управляющих программ для станков.

Поверхностные модели различаются по способу аппроксимации поверхности.

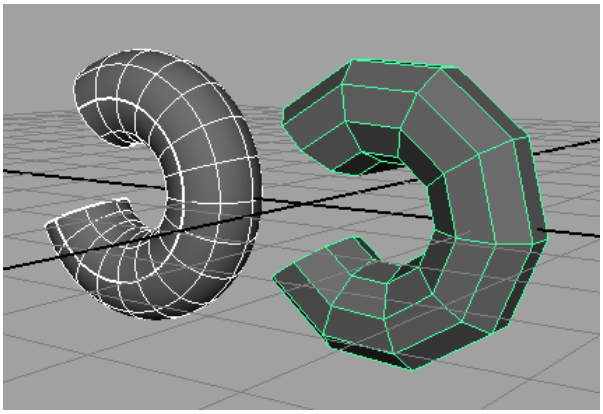
1) Полигональная аппроксимация – поверхность представляется набором взаимосвязанных плоских граней (чаще всего треугольных).

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.

Этих недостатков лишена Технология NURBS, сегодня наиболее часто используемая в практике САПР.

2) Технология NURBS (или неоднородных B-сплайнов). Создание плавных органичных форм с помощью кривых, заданных определёнными формулами.

Определенным недостатком такого подхода является сложность алгоритмов работы с NURBS, однако это обстоятельство исторически преодолено исследователями и разработчиками.



Сравнение NURBS с полигональной картинкой

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 и т. д.

Твердотельное моделирование

Несмотря на достаточно широкие возможности, которые предоставляет поверхностное моделирование, и оно имеет ряд существенных ограничений с точки зрения использования в САПР, в частности 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.

Твердотельное моделирование является основным для CAD/CAM/CAE систем. Твердотельные модели создаются на основе эскизов, и они не являются внутри пустыми. Т.е. представляют собой замкнутый объем, обладают математической плотностью и массой.

Для построения твердого тела используются такие операции, как выдавливание, вырезание и вращение эскиза. Также используются булевы функции, которые позволяют складывать, вычитать и объединять различные твердые тела для создания 3D-модели детали.

Существуют различные алгоритмические методы представления твердотельных моделей, в практике САПР наиболее широкое применение имеет технология, базирующаяся на граничном представлении элементарных односвязных тел (BREP-представления) в совокупности с конструктивной геометрией, описывающей операции над телами.

Граничное представление определяет сплошное тело неявно путем описания ограничивающей его поверхности. Суть BREP-представления заключается в том, что

твердое тело описывает замкнутая пространственная область, ограниченная набором элементарных тонких поверхностей (граней) и признаком внешней или внутренней стороны поверхности, а также обеспечивающим следующий ряд операций, определенных над телами.

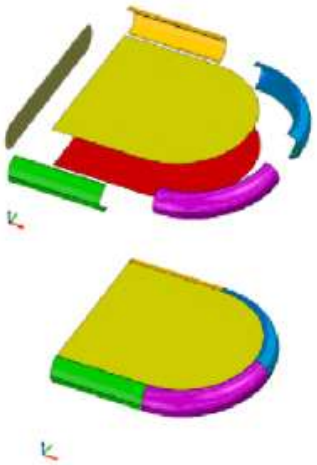


Рис. 3.4. BREP-представление простых твердых тел

Преимущества твердотельного моделирования:

1. Лучшая визуализация и восприятие созданной модели – трехмерная модель с применением современных технологий выглядит более чем реалистично.

2. Автоматическое формирование чертежей – одно из самых главных преимуществ данной технологии. Построение модели и формирование чертежей по ней с использованием твердотельного моделирования – дело нескольких секунд.

3. Быстрота и легкость в процессе внесения изменений и корректировок в модель – не нужно заново формировать чертеж, достаточно изменить нужные пункты и обновить программу. Также можно использовать шаблоны, что значительно сократит время на выполнение работы.

4. Объединение с различными дополнительными приложениями – интеграция позволяет сократить время, использовав сразу полученные результаты на последующих стадиях работы.

5. Скорость при проектировании – твердотельное моделирование сокращает срок выполнения проектирования объекта. Быстрота моделирования позитивно влияет на скорость возвращения вложенных инвестиций.

2. **Понятие параметрического моделирования. Виды параметрических моделей**.

Параметрическое моделирование – это проектирование модели объекта с использованием параметров и соотношений между параметрами. Параметризация позволяет за короткое время «проиграть» (с помощью изменения параметров или геометрических соотношений) различные конструктивные схемы, выбрать оптимальное решение и избежать принципиальных ошибок.

Использование технологии параметрического конструирования позволяет, при необходимости, легко изменять форму модели, в результате чего пользователь имеет возможность быстро и эффективно получать альтернативные конструкции или пересмотреть концепцию изделия в целом. При отсутствии средств обеспечения

параметрического конструирования модель определена однозначно только своей геометрией, поэтому внесение даже малейших изменений требует значительных трудовых затрат. Изменения же параметрической модели выполняются так же легко, как и изменения значения размеров на чертежах.

Табличная параметризация

Табличная параметризация заключается в создании таблицы параметров типовых деталей. Создание нового экземпляра детали производится путем выбора из таблицы типоразмеров.

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.

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». 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 ее элементов (отношения между элементами).

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.

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 (например, присвоить имя Length) и задать зависимости других размеров от этих переменных в виде формул (например, Length/2).

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.).

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

Геометрическая параметризация

Геометрическая параметризация основана на пересчете параметрической модели в зависимости от геометрических параметров родительских объектов

Геометрические параметры, влияющие на модель, построенную на основе геометрической параметризации: Параллельность, Перпендикулярность, Касательность, Концентричность окружностей и т.д.

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.

Ассоциативное конструирование

Ассоциативное конструирование (Associative Design) - это обобщающее название технологии параметрического конструирования, обеспечивающей единую, в том числе и двустороннюю, информационную взаимосвязь между геометрической моделью, расчетными моделями, программами для изготовления изделия на станках с ЧПУ, конструкторской документацией, базой данных проекта.

Использование технологии ассоциативного конструирования позволяет, при необходимости, изменять форму модели и получать автоматически перестроенные чертежи или траектории инструмента для обработки на станках с ЧПУ.

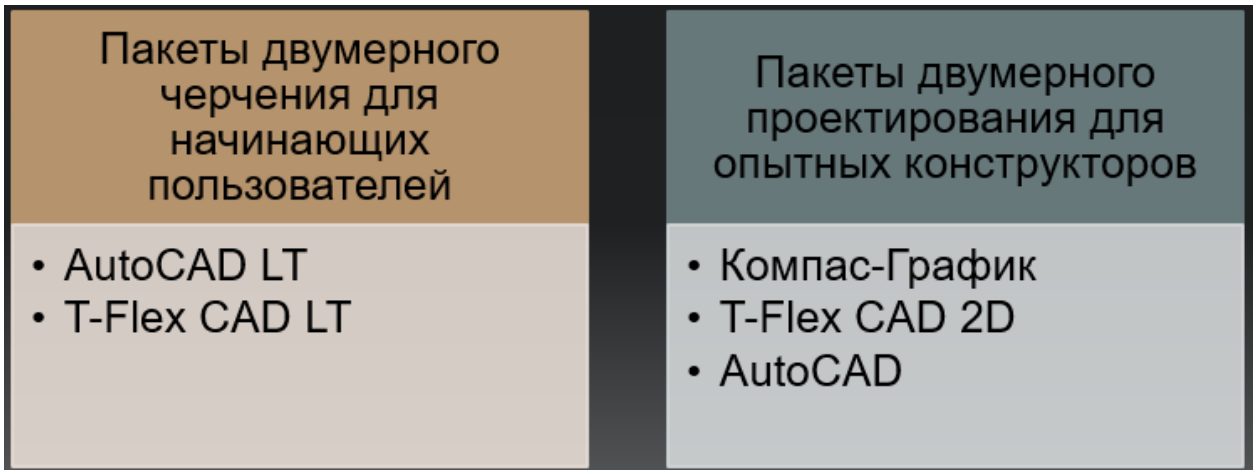
Лекция № 5 Системы автоматизированной разработки чертежей (CAD-2D)

План

1. Назначение и возможности систем CAD-2D.
2. Состав САПР Компас. Основные типы документов, создаваемых в CAD-системах.
3. Интерфейс САПР Компас.
4. Использование привязок.
5. Инструменты редактирования.
6. Способы копирования элементов.
7. Библиотеки Компаса.

1) Назначение и возможности систем CAD-2D.

CAD-2D служат для быстрой разработки чертежей, схем, расчетно-пояснительных записок, технических условий и прочих документов.



Возможности CAD-2D

– Создание и редактирование двумерных чертежей
– Различные стили линий, штриховок, текстов
– Разнообразные способы и режимы построения графических примитивов
– Различные способы простановки размеров и технических обозначений
– Встроенный табличный редактор
– Средства создания параметрических элементов
– Использование библиотек типовых элементов для упрощения и ускорения разработки чертежей
– Печать чертежа, выравнивание чертежа относительно листа при печати
– Создание многолистовых чертежей
– Возможность коллективной работы над чертежами

2) Состав САПР Компас. Основные типы документов, создаваемых в CAD-системах.

Состав САПР КОМПАС

1. Компас–График предназначен для двухмерного «плоского» моделирования (создания чертежей)
2. Компас–3D предназначен для трёхмерного «объёмного» моделирования (создания деталей, сборок)
3. Компас–Электрик предназначен для создания электрических принципиальных и других схем
4. Компас–Автопроект (Вертикаль) отдельный программный продукт — предназначен для автоматизации проектирования технологических процессов
5. ЛОЦМАН отдельный программный продукт - система проектной документации для строительства

Типы документов, создаваемых в САПР КОМПАС

Графические документы

1. **Чертеж**. Чертеж содержит графическое изображение изделия, основную надпись, рамку. Дополнительные объекты оформления – знак неуказанной шероховатости, технические требования и т.д. Расширение cdw.

Чертеж может содержать один или несколько листов. Для каждого листа можно задать формат, кратность, ориентацию и др. свойства.
В файле чертежа КОМПАС-3D могут содержаться не только чертежи (в понимании ЕСКД), но и схемы, плакаты и прочие графические документы.

2. **Фрагмент** - вспомогательный тип графического документа. Фрагмент отличается от чертежа отсутствием рамки, основной надписи и других объектов оформления документа. Расширение frw.
Используется для хранения изображений, которые не нужно оформлять как отдельный лист (эскизные прорисовки, разработки и т.д.).
Кроме того, во фрагментах также хранятся созданные типовые решения для последующего использования в других документах.

Трехмерные модели

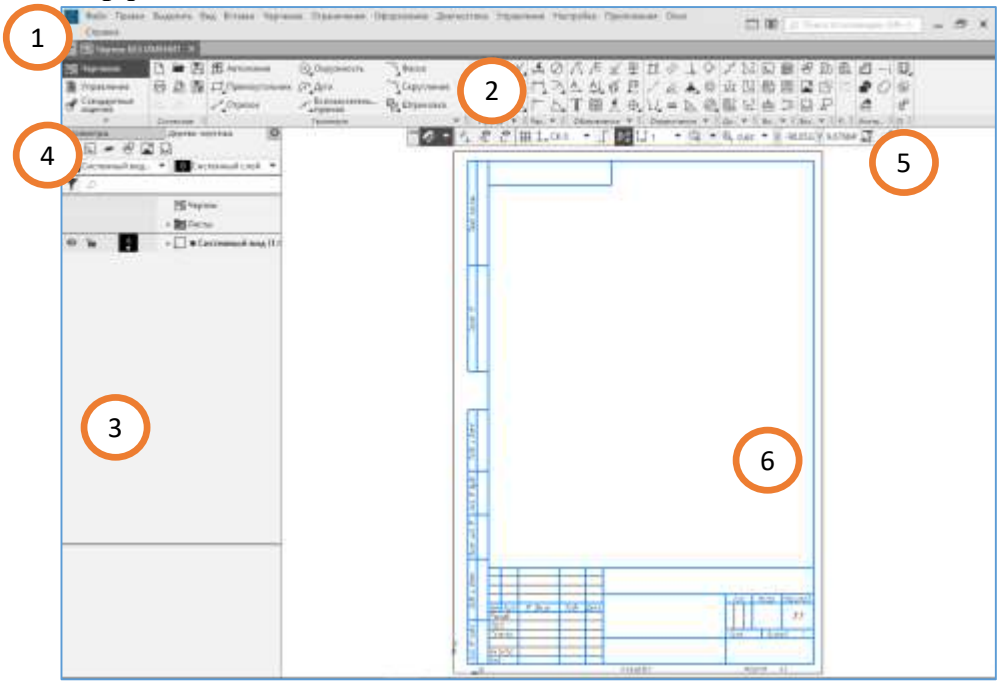
1. Деталь – модель изделия, изготавливаемого из однородного материала, без применения сборочных операций. Расширение m3d
2. Сборка – модель изделия, состоящего из нескольких деталей с заданным взаимным положением. Расширение a3d.

Текстовые документы

1. Спецификация – документ, содержащий информацию о составе сборки, представленную в виде таблицы. Спецификация оформляется рамкой и основной надписью. Расширение spw.
2. Текстовый документ – документ, содержащий преимущественно текстовую информацию (пояснительные записки, технические условия, руководства пользователя и т.п.) Расширение kdw.

Оформляется рамкой и основной надписью.
Часто бывает многостраничным.

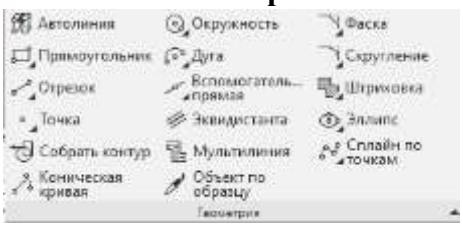
3) Интерфейс САПР Компас



1 – Главное меню
2 – Панель инструментов
3 – Дерево чертежа
4 – Окно параметров
5 – Панель быстрого доступа
6 – Рабочая область

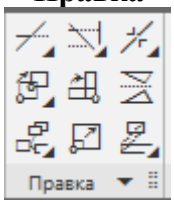
Панели инструментов

Геометрия



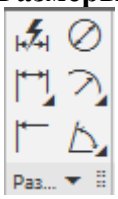
На панели инструментов **Геометрия** находятся команды для построения геометрических объектов: точка, отрезок, окружность, эллипс, дуга, кривая Безье, прямоугольник. А кроме того и такие команды как вспомогательная прямая, фаска, скругление, эквидистанта, штриховка

Правка



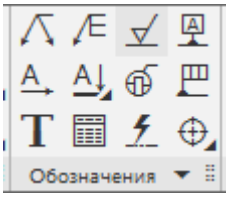
Эта панель инструментов содержит команды для редактирования объектов: сдвиг, поворот, масштабирование, симметрия, копирование, деформация сдвигом, усечь кривую, разбить кривую, очистить область.

Размеры



Можно указать линейный размер, диаметральный, радиальный, угловой, размер высоты.

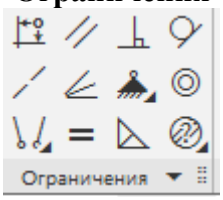
Обозначения



Эта панель инструментов позволяет вставить текст в произвольном месте, указать шероховатость, базу на чертеже, стрелку взгляда, обозначить позиции, центр. Также здесь

содержатся команды по созданию линий-выносок, допусков формы, линий разреза, выносных элементов.

Ограничения



Содержит команды для создания связей между элементами чертежа: горизонтальность, параллельность, касание и другие команды. Ее удобней использовать при создании эскизов для 3d моделей.

Диагностика

Здесь содержатся команды определения координат точек, расстояния между двумя точками, расстояния между двумя точками, расстояния от точки до кривой, расстояния между двумя кривыми, угла между двумя прямыми/отрезками, угла по трем точкам, длины кривой, площади.

Виды

Используется при создании чертежей по 3d моделям. Позволяет создать новый вид с модели, стандартные виды, разрез/сечение 3d модели.

4) Использование привязок

Привязка – это механизм, позволяющий точно задать положение курсора, выбрав условие его позиционирования (в узлах *сетки*, в *ближайшей* характерной *точке*, на *пересечении* объектов, на *середине* отрезка, в *центре* окружности).

В КОМПАС предусмотрены две разновидности привязок:

• **глобальные** (постоянные) – постоянно действующие при вводе и редактировании объектов

• **локальные** (однократные) – требуется всякий раз вызывать заново. После того, как был использован один из вариантов привязки, система не запоминает, какой именно из вариантов был выбран. *Локальная привязка является более приоритетной*, чем глобальная.

Локальная привязка вызывается щелчком правой кнопки мыши.

• **клавиатурные** привязки представляют собой команды, которые выполняются с помощью клавиатуры нажатием определенных клавиш или комбинаций клавиш.

Клавиатурные привязки можно применять практически в любом режиме работы.

5) Инструменты редактирования

Для удобного и быстрого редактирования используются команды панели инструментов **Правка**:

1. Переместить – служит для перемещения по документу объекта или группы выделенных объектов.
2. Повернуть – позволяет повернуть выбранные элементы чертежа или фрагмента вокруг определенной точки.
3. Масштабировать служит для увеличения или уменьшения изображения на чертеже.
4. Зеркально отразить позволяет получить симметричное, относительно произвольной прямой, изображение выбранного объекта.
5. Копирование – позволяет копировать выделенные объекты чертежа или фрагмента.
6. Команды деформации:
    a. Деформация перемещением – позволяет редактировать часть (область) фрагмента или чертежа, растягивая или смещая ее относительно базовой точки.
    b. Деформация поворотом – деформирует часть графического документа, поворачивая ее относительно базовой точки
    c. Деформация масштабированием – увеличивает или уменьшает указанную область изображения чертежа или фрагмента.
7. Команды удаления участков кривой: Усечь кривую, Выровнять по границе, Удлинить до ближайшего объекта, Удалить фаску/скругление
8. Команд разбиения геометрического объекта на несколько частей: Разбить кривую, Разбить кривую на N частей

8) Способы копирования элементов.

В системе КОМПАС–3D команда Копировать копирует выделенные объекты в буфер обмена, при этом предыдущее содержимое буфера обмена удаляется. Команда Копировать доступна только в том случае, если в документе имеются выделенные объекты. Перед копированием система КОМПАС–3D ожидает указания базовой точки выделенных объектов: при этом курсор изменяет свою форму на оси координат. Базовая точка представляет собой точку, относительно которой производится копирование выбранного набора объектов.

Рассмотрим различные варианты выполнения копирования:

1. Копирование указанием – позволяет копировать выделенные объекты чертежа или фрагмента. Копирование осуществляется указанием базовой точки, с последующим заданием точки размещения копии или путем определения смещения по осям относительно базовой.

2. Копия по кривой позволяет выполнить копирование выделенных объектов, разместив их вдоль указанной кривой.

3. Копия по окружности позволяет выполнить копирование выделенных объектов, разместив их по окружности с указанным центром и радиусом.

4. Копия по сетке создает копии выделенных объектов в узлах двухмерной сетки.

9) Библиотеки Компаса.

Автоматизация работы конструктора в Компас 3d достигается и за счет того, что множество рутинных операций (вставка в чертеж/3d сборку стандартных изделий, выполнение типовых расчетов) можно выполнить с использованием специальных прикладных библиотек.

Библиотека - это программный модуль, приложение, созданное для расширения стандартных возможностей системы КОМПАС-3D. Библиотека представляет собой ориентированную на конкретную задачу подсистему автоматизированного проектирования, которая после выполнения проектных расчетов формирует готовые конструкторские документы или их комплекты.

Причем все библиотеки в Компасе соответствуют российским ГОСТ-ам и максимально просты в использовании, чем не могут похвастать многие зарубежные программы.

В КОМПАС-3D существует специальная система для работы с библиотеками - Менеджер библиотек.

Примеры библиотек:

Конструкторская библиотека применяется для вставки в чертежи изображений болтов, винтов, гаек, пружин, подшипников и т.д.

Библиотека **Стандартные изделия** используется для вставки 3d моделей стандартных изделий в сборку

Компас-Shaft 2D, 3D – системы расчета (включает комплекс программ Gears) и 2d, 3d моделирования тел вращения и механических передач

Компас-Spring – система расчета и проектирования пружин

APM FEM – система прочностного анализа

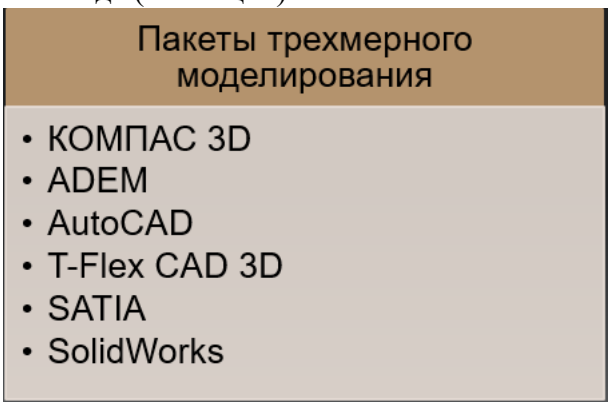
Лекция № 6. Системы трехмерного моделирования (CAD-3D)

План

1. Назначение и возможности систем CAD-3D.
2. Документ Деталь в САПР Компас. Дерево построений. Требования к эскизу.
3. Основные операции трехмерного моделирования
4. Документ Сборка в САПР Компас
5. Ассоциативный чертеж

1) Назначение и возможности систем CAD-3D

CAD-3D предоставляют полный цикл моделирования: проектирование трехмерных деталей, сборок из отдельных деталей, а также представление моделей в реалистичном виде (визуализация) и динамичном виде (анимация).



CAD-3D позволяют:

– Ускорить процесс проектирования сложных деталей и узлов
– Проверить собираемость изделия

– Проверить работоспособность механизмов

– Автоматически генерировать 2D-виды, текстовую документацию: отчеты, ведомости, спецификацию и т.д.

– Передать разработанную геометрию детали в расчетные пакеты и в пакеты разработки управляющих программ для станков с ЧПУ

– Оценить внешний вид проектируемого изделия, получить его фотореалистичные изображения

2) Документ Деталь в САПР Компас. Дерево построений. Требования к эскизу.

Деталь – тип модели, предназначенный для представления изделий, изготавливаемых без применения сборочных операций. Создается и хранится в документе «деталь», расширение файла — *m3d*.

Состав модели, последовательность ее построения и связи между объектами модели отображаются в Дереве построения. В Дереве построения детали отображаются: обозначение начала координат; плоскости; оси; пространственные кривые; поверхности; условные обозначения; эскизы; операции.

Эскиз – объект трехмерного моделирования, созданный средствами чертежно-графического редактора. Эскиз может располагаться на координатной или вспомогательной плоскости, а также на плоской грани.

Режим эскиза — специальный режим работы с трехмерной моделью КОМПАС-3D. Переход в этот режим производится при создании нового или редактировании существующего эскиза.

Одним из основных понятий при описании эскиза является контур. При построении эскиза под контуром понимается любой линейный объект или совокупность последовательно соединенных линейных объектов (отрезков, ломаных, дуг и т.д.).

Основные требования, предъявляемые к контуру эскиза, при создании трехмерной модели:

контур в эскизе всегда отображается стилем линии Основная (линия синего цвета). При создании тел вращения ось изображается отрезком стилем линии Осевая. Ось вращения должна быть одна.

конуры в эскизе не должны пересекаться

не допускается наложение контура (одна линия начерчена поверх другой)

контур эскиза должен быть замкнут, иначе система сформирует не сплошной объект, а тонкостенный

По умолчанию в новом эскизе включен параметрический режим.

3) Основные операции трехмерного моделирования

Новое тело в модели можно создать с помощью одной из следующих операций:

Выдавливание. Образует тело путем перемещения сечения вдоль прямолинейной траектории на заданное расстояние.

Вращение. Образует тело путем поворота сечения вокруг оси на заданный угол.

По сечениям. Образует тело путем соединения нескольких сечений.

Кинематическая. Образует тело путем перемещения сечения вдоль произвольной траектории

Придание толщины. Образует тело путем добавления слоя материала на указанную поверхность

Листовое тело. Образует особый тип тела — листовое тело

Сшивка поверхностей. Образует тело, ограниченное указанными поверхностями

4) Документ Сборка в САПР Компас

Модель сборки является отдельным типом документа системы КОМПАС. Сборка состоит из отдельных деталей и подсборок, которые, в свою очередь, также могут состоять из деталей и подсборок. Проектирование сборки ведется «сверху вниз»; каждая новая деталь моделируется на основе уже имеющихся деталей с использованием параметрических взаимосвязей.

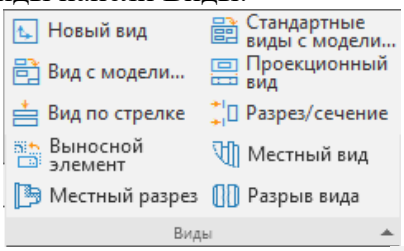
Детали и подсборки могут создаваться непосредственно в сборке или вставляться в нее из существующего файла. Кроме разработанных пользователем (уникальных) моделей, компонентами сборки могут быть стандартные изделия (крепеж, опоры валов и т.д.), библиотека которых входит в комплект поставки системы.

Взаимное положение компонентов сборки задается путем указания сопряжений между ними. В системе доступны разнообразные типы сопряжений: совпадение, параллельность или перпендикулярность граней и ребер, расположение объектов на расстоянии или под углом друг к другу, концентричность, касание.

5) Ассоциативный чертеж

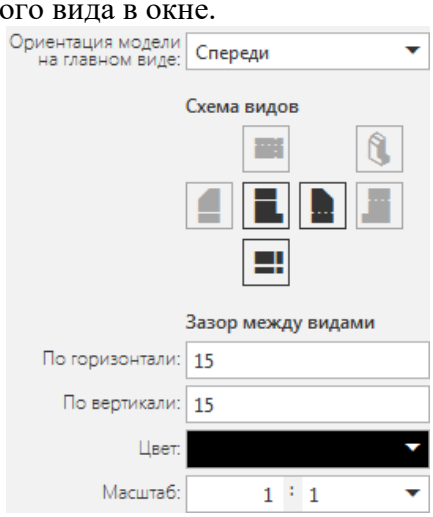
Ассоциативный чертеж – это вид чертежа, ассоциативно связанный с определенной 3D-моделью.

В системе КОМПАС-3D имеется возможность автоматического создания ассоциативных чертежей созданных и сохраненных в памяти трехмерных деталей. Все виды такого чертежа связаны с моделью: изменения в модели приводят к изменению изображения в ассоциативном виде. Для построения таких чертежей используются команды панели Виды:



Кнопка Стандартные виды позволяет выбрать существующую (сохраненную на диске) трехмерную модель детали (*.m3d) и создать в текущем документе чертеж этой модели, состоящий из одного или нескольких стандартных ассоциативных видов. После вызова команды на экране появится стандартный диалог выбора файла для открытия. Далее в окне чертежа появится фантом изображения в виде габаритных прямоугольников видов. Система предлагает по умолчанию три основных вида: спереди, сверху и слева.

Чтобы изменить набор стандартных видов выбранной модели, используется область Схема видов на панели Параметры. В ней можно изменить набор стандартных видов выбранной модели. Чтобы выбрать или отказаться от какого-либо вида, следует щелкнуть по изображению этого вида в окне.



Лекция № 7. Средства инженерного анализа, автоматизированное производство, автоматизированная технологическая подготовка.

План

1. **Средства инженерного анализа CAE**
2. **Автоматизированное производство CAM**
3. **Автоматизированная технологическая подготовка CAPP**
4. **Цифровое производство**

1) Средства инженерного анализа CAE

CAE (англ. Computer-aided engineering) – программы, предназначенные для решения различных инженерных задач: расчётов, анализа и симуляции физических процессов.

Примеры: T-FLEX Анализ, ANSYS, APM WinMachine (отечественная CAD/CAE-система)

CAE-системы позволяют оценить, как поведёт себя компьютерная модель изделия в реальных условиях эксплуатации. Они помогают убедиться в работоспособности изделия, без привлечения больших затрат времени и средств.

С помощью CAE можно проводить:

- Анализ прочности деталей и конструкций (устойчивости конструкций, возможных причин разрушений);
- Анализ действия статических, динамических и тепловых нагрузок на конструкцию
- Термический и гидродинамический анализ;
- Кинематические исследования (траектории движения отдельных точек и звеньев);
- Моделирование электромагнитных полей, создаваемых устройствами
- Моделирование работы механизмов.

В CAE-системах используются расчетные методы: метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объёмов.

Метод конечных элементов является одним из главных инструментов анализа конструкции изделия. МКЭ является численным методом решения дифференциальных уравнений, встречающихся в физике и технике. Возникновение метода связано с решением задач космических исследований (1950 г).

Основная идея МКЭ состоит в том, что любую область можно разбить на простейшие подобласти и описать их простейшими системы дифференциальных уравнений. Каждая такая подобласть является конечным элементом. Общие вершины конечных элементов называются узлами, которые также нумеруются. Кинематические граничные условия задаются в узлах на границе. Нагрузки на границе заменяются силами в узлах, связь конечных элементов между собой осуществляется также в узлах. Процесс вычисления сводится к решению полученной системы элементарных дифференциальных уравнений.

Применение CAE-систем

В области металлообработки с помощью CAE-систем можно с легкостью провести анализ режущего инструмента, заранее увидеть его деформацию возникающей при обработке детали, также его колебания и т.д. На основе подобного анализа возможно проектирование наиболее оптимальной конструкции инструмента, кроме того возможно и назначение рациональных режимов резания, которые создадут нормальные условия обработки и обеспечат высокое качество обрабатываемых деталей.

В машиностроении и станкостроении

В машиностроение используется не только статический анализ конструкций машин, но и проводятся кинематические исследования. Прямая задача кинематики заключается в

том, чтобы по известным усилиям и другим характеристикам приводов (пневмо- и гидроцилиндров, электродвигателей и т. п.) определить скорости и траектории движения всех элементов, составляющих механизм. При решении обратной задачи - напротив: по известной или заданной траектории и скорости перемещения одного из звеньев (как правило, конечного) требуется определить траектории остальных звеньев, силы, действующие на них, и, соответственно, требуемые силовые и скоростные характеристики приводов.

Еще одной важной задачей, решаемой в кинематических расчетных системах, является определение работоспособности механизмов: отсутствие заклиниваний, предупреждение нежелательных касаний и столкновений элементов механизма, вписывание механизма в заданные габариты.

И наконец, моделирование кинематики обеспечивает решение задач не только анализа механизмов, но и их синтеза. По заданной траектории и циклограмме работы механизма можно рассчитать форму кулачков, направляющих, требуемые размеры звеньев рычажных механизмов, параметры зубчатых колес и т. п.

Результаты таких вычислений могут быть использованы как эскизы для построения твердотельных моделей деталей с наперед заданной точностью.

В станкостроении путем анализа станины станка и других его узлов можно придать максимальную жесткость станку в целом, что обеспечит снижение вибрации станка и возможность выполнения на нем высокопроизводительной обработки деталей.

В сварочном производстве CAE-системы являются незаменимыми помощниками при проектировании сварных металлоконструкций. Расчет сварных швов является обязательным этапом проектирования, обеспечивающего надежность работы будущей конструкции.

В авиации, судостроении;

Аэрогидродинамические расчеты

Вычислительная гидрогазодинамика (CFD, Computational Fluid Dynamics) широко применяется как в традиционных для нее отраслях: авиации, судостроении, проектировании автомобилей, - так и при создании бытовой техники, полиграфического и медицинского оборудования и т. п. Расчеты осуществляются с использованием численных методов и алгоритмов для решения и анализа задач течений жидкостей и газов, как правило, состоящих в решении уравнений Навье-Стокса методами конечных объемов, конечных элементов, конечных разностей и др. Современные программные комплексы для моделирования течений в жидкости и газах позволяют рассчитывать широкий диапазон течений по числу Маха, многофазные и многокомпонентные течения, течения в несжимаемых жидкостях.

При рассмотрении актуальных промышленных задач расчетная модель должна обеспечивать точную передачу геометрии без упрощений, характерных для задач расчета напряженно-деформированного состояния.

Первоначально вычислительная гидроаэродинамика использовалась применительно к задачам проектирования авиационной, космической техники и судостроения. С развитием программных средств и повышением производительности настольных ПК она находит все более широкое применение и в других отраслях.

Некоторые, ставшие привычными продукты было бы очень трудно спроектировать без ее использования, например струйные принтеры. Использование CFD при проектировании струйных принтеров оправдано и дает ряд преимуществ для изучения того, как форма, размер и скорость испускаемой капли зависят от таких параметров, как импульс

управляющего давления, форма форсунки, коэффициент поверхностного натяжения, и многое другое.

Другим примером использования CFD для создания бытовых продуктов можно назвать моделирование течений в водопроводных и канализационных системах. Одним из сложных для расчета объектов является обычный унитаз.

Вычислительная аэродинамика сегодня широко используется для проектирования систем вентиляции электроаппаратуры и помещений, оценки нагрузок на жилые и промышленные здания, мосты, гидротехнические сооружения и др.

2) **Автоматизированное производство CAM**

Производство с помощью компьютера (Computer-Aided Manufacturing, CAM) - термин, используемый для обозначения программного обеспечения, основной целью которого является создание программ для управления станками с ЧПУ.

• Примеры: ADEM (CAD/CAM/CAPP), Alphacam (CAD/CAM), CATIA (CAD/CAM/CAE/PDM)

Числовое программное управление, или ЧПУ, означает компьютеризованную систему управления, считывающую инструкции специализированного языка программирования (G-код) и управляющую приводами металло-, дерево- и пластмассобрабатывающих станков и станочной оснасткой. Первый станок с ЧПУ был создан в 1954 году в Массачусетском технологическом институте. Программа для оборудования с ЧПУ может быть загружена с внешних носителей, например дискет или флэш-накопителей.

Обработка с использованием ЧПУ увеличивает производительность и аккуратность операций, гарантирует постоянный уровень качества, который в большинстве случаев намного превышает качество традиционной ручной обработки.

G-код - основной язык программирования ЧПУ, G-код, описан документом ISO 6983 Международного комитета по стандартам. G-код был создан компанией Electronic Industries Alliance в начале 1960-х.

Написание и отладка программ непосредственно на G-коде для деталей сложной формы являются весьма трудоемким процессом, поэтому этот процесс автоматизирован путем создания CAM-систем. Входными данными системы CAM является геометрическая модель изделия, разработанная в системе автоматизированного проектирования (CAD). В процессе интерактивной работы с трехмерной моделью в CAM-системе инженер определяет траектории и скорость движения режущего инструмента по заготовке изделия (CL-данные, англ. cutting location), которые затем автоматически верифицируются, визуализируются (для визуальной проверки корректности) и обрабатываются постпроцессором для получения программы управления конкретным станком в виде G-кода.

CAM-системы позволяют «поднять» программирование для станков с ЧПУ на более высокий уровень по сравнению с рутинным ручным программированием.

Обобщая, можно сказать, что CAM-системы облегчают труд технолога-программиста в трех главных направлениях: они избавляют технолога-программиста от необходимости делать математические вычисления вручную; позволяют создавать на одном базовом языке управляющие программы для различного оборудования с ЧПУ; наконец, они обеспечивают технолога типовыми функциями, автоматизирующими ту или иную обработку.

Процессы обработки, созданные и отлаженные в CAM-системе, можно сохранять и применять повторно, используя базу знаний.

В настоящее время CAM также используются для программирования роботов, используемых в сварке, перемещении деталей, покраске, сборке и т.д. (т.е. при выполнеуии рутинных операций)

Пример программы - SprutCAM Robot.

CAD/CAM-технологии позволяют сократить время изготовления продукции, повысить уровень качества и значительно снизить влияние человеческого фактора (а значит, ошибок).

3) Автоматизированная технологическая подготовка CAPP

CAPP (Computer-Aided Process Planning) - автоматизированная система технологической подготовки производства. Это программные продукты, помогающие автоматизировать процесс подготовки производства, а именно проектирование технологических процессов.

• Примеры: Вертикаль, T-Flex Технология, Timeline, ADEM

С помощью данных систем на основе чертежа и 3D-модели изделия автоматизировано разрабатываются технологические процессы для их обработки и сборки.

В технологических процессах отражаются все операции, переходы, инструменты, оборудование, технологические эскизы и другая информация необходимая для изготовления изделия.

Подобные системы необходимы и должны быть на каждом машиностроительном предприятии, но вопреки всему на многих предприятиях технологи продолжают разрабатывать технологические процессы полностью вручную, или с помощью пакета MS Office (Word, Excel), а также CAD-систем, порой, полностью не соблюдая ГОСТ при оформлении технологической документации. Наиболее отрицательные результаты подобного подхода выражаются в следующем:

1. Высокие сроки разработки технологических процессов.
2. Низкое качество технологических процессов, а также качество их оформления.
3. Высокая трудоемкость разработки и оформления технологических процессов.
4. Полный беспорядок с ведением архивов технологических процессов.
5. Отсутствие возможности структурирования и накопления опыта предприятия.
6. Долгий процесс согласования технологического процесса.

Общие возможности, присущие современным системам:

Практически все системы обладают очень схожими функциями, направленными на быстрое оформление технологических процессов.

1. Все они наполнены базами данных необходимых сведений, участвующих в технологических процессах.
2. Могут разрабатывать технологические процессы различной обработки: механической, термической, сварки, покрытия, штамповки и др.
3. Все системы определенным образом интегрированы с CAD-системами, для создания технологических эскизов.
4. Могут работать с PDM-системой в едином информационном пространстве предприятия.

4) Цифровое производство

Следующим шагом в развитии CAPP-систем стало появление средств цифрового реалистичного моделирования производственных процессов, объединяющих в себе логистику традиционных CAPP, моделирование технологических процессов на уровне

CAM-систем и дополненное возможностями симуляции эргономических процессов, то есть поведения людей, участвующих в производстве.

Такие системы позволяют создавать совершенные технологические процессы, моделировать производство в масштабах предприятия, отрабатывать не только производственные процессы, но и эксплуатационные и ремонтные операции, тем самым реализуя концепцию управления жизненным циклом изделия (PLM).

Наиболее характерными решениями этого класса являются Technomatics компании Siemens PLM Software и Delmia компании Dassault Systemes.

На современных успешных предприятиях, достигающих эффективности и конкурентоспособности за счет снижения себестоимости и сокращения времени выхода продукта на рынок, логистика становится ключевой технологией. Таким образом, использование подходов just-in-time (точно вовремя) и just-in-sequence (в надлежащем порядке), проектирование новых и модернизация имеющихся производственных, транспортных и обслуживающих мощностей требуют наличия объективных критериев для сравнения и оценки различных решений еще на этапе принятия решений.

Системы цифрового моделирования производства обеспечивают создание модели производственных и логистических процессов, систем с целью анализа и оптимизации их характеристик. Эти модели позволяют проводить виртуальные эксперименты и анализ по принципу «что, если» без вмешательства в работу реальной системы либо задолго до начала строительства реальных производственных мощностей. Мощные средства сбора детальной статистики, анализа и визуализации дают проектировщику возможность оценить различные варианты и на основе их сравнительного анализа принять решения на ранних стадиях проектирования производства.

Моделирование с использованием цифровой модели производственного цикла используется также для оптимизации производительности, выявления и ≪расшивки≫ узких мест и минимизации объема незавершенного производства. С помощью цифровой модели можно рассчитать требуемые производственные ресурсы, учесть внешних и внутренних поставщиков, сопутствующие бизнес-процессы и другие факторы, анализируя их влияние на будущее производство. Таким образом, появляется возможность сравнить различные стратегии управления объектом, проверить ритмичность работы технологических линий и отдельных участков. Задавая разные правила и параметры для потоков материалов и комплектующих, можно проверить, как они влияют на интегральные показатели работы всей производственной системы.

В системы встроены модули для моделирования и программирования роботизированных производственных участков. Это позволяет оптимизировать и согласовать время циклов, позиции, движения каждого робота, исключить реальные коллизии между роботами, деталями, инструментами, оснасткой и окружением.

В дополнение к программированию каждого отдельного робота также возможно моделирование всего роботизированного процесса предприятия, равно как и смешанного - с участием роботов и людей. Подсистемы моделирования рабочих мест позволяют осуществлять эргономический анализ рабочего места с учетом эргономических стандартов. Эргономический анализ может быть произведен как в статическом режиме (используя интерактивные серии запросов и следуя конкретным стандартам), так и в динамическом с использованием анимированных манекенов. Эти модули обеспечивают не только формирование оптимального рабочего цикла сотрудников, но и соблюдение норм и правил техники безопасности, рационального планирования отдыха и перерывов на пересмену, определения потребного количества сотрудников.

Отдельно эффективно применение модулей моделирования эргономики на этапе проектирования изделий и продуктов, что обеспечивает их собираемость, ремонтопригодность, высокие эксплуатационные качества.

Специализированные модули систем цифрового производства позволяют также учитывать в модели случайные факторы, такие как сбои оборудования, отклонения от номинальных значений времен обработки деталей, переналадок и других параметров. Случайная величина отклонения какого-либо параметра может быть задана в виде математического распределения, при этом отклонения возможны нескольких типов, либо в виде эмпирического распределения, в том случае, когда требуется учесть имеющуюся на предприятии реальную статистику надежности оборудования.

Таким образом, системы цифрового моделирования производства позволяют создать виртуальное предприятие, учитывающее все производственные процессы и ресурсы: оборудование, промышленных роботов, людские ресурсы, потоки материалов и энергии и т. д., в котором можно изменять любые параметры, добиваясь наиболее подходящей конфигурации. Предприятия, владеющие такими виртуальными моделями, способны эффективно контролировать и управлять циклами создания продуктов и запуска их в производство. Цифровые модели производства обеспечивают не только моделирование локальных процессов (например, работы станков с ЧПУ), но и всех этапов жизненного цикла продукта – от формирования концепции и проектирования, через изготовление и производство, до эксплуатации, ремонта и утилизации.

Облачные технологии

Новым решением от разработчиков автоматизированных систем является применение «облачных» технологий - модели SaaS (Software as a Service - программное обеспечение как услуга), т.е. предоставление системы через Интернет во временное использование как услугу. Приобретать и устанавливать программное обеспечение на компьютер не надо, необходим только доступ в интернет. Теперь работать или просматривать документы в данных системах можно даже на iPad.

Целесообразность использования данной возможности появляется в некоторых случаях, например, так можно использовать эксклюзивные и очень дорогие пакеты в тех случаях, когда они действительно нужны. Также не требуются мощные компьютеры, так как приложение будет работать на удаленном сервере. Можно работать на различных платформах (Linux и т.д.), можете использовать любую операционную систему. Доступность к данным своих проектов в любом месте при наличии интернета с помощью ноутбука или iPad.

Одной из главных проблем здесь является организация защиты файлов в сети, т.к. эти данные, хранящиеся на сервере, для любого предприятия представляют «военную» тайну, от которой зависит их конкурентоспособность.

Лекция 8.
Системы управления данными об изделии. Понятие о CALS-технологиях

План

1. Системы управления данными об изделии PDM.
2. Концепция CALS (PLM-технологии)

1) Системы управления данными об изделии PDM.

Системы управления данными об изделии (Product Data Management, PDM) - категория программного обеспечения, позволяющая сохранять данные об изделии в базах данных.

К данным об изделии относят инженерные данные, такие как CAD-модели и чертежи, цифровые макеты, спецификации материалов, а также технологическую информацию. PDM-системы являются также интегрирующим звеном при построении системы управления жизненным циклом (PLM).

К основным функциям PDM относятся:

1) хранение документов;

Электронное хранилище служит для физического хранения электронных документов, изготовленных с помощью различных программ MS Office, CAD-систем, графических пакетов и прочего. Электронный документ представляет собой структурированный набор данных, содержащий реквизитную часть, содержательную часть и электронную цифровую подпись (опционально).

2) структуризация проекта и классификация документов;

Документы и изделия можно группировать внутри проекта в иерархическую структуру с помощью папок. Уровень вложенности не ограничен. Этот же механизм используется для создания иерархических классификаторов любого назначения.

3) поиск документов;

4) управление доступом к документам;

PDM позволяет большому количеству пользователей с разными полномочиями хранить и обрабатывать документы в едином хранилище независимо от остальных пользователей, предоставляя или запрещая доступ данных со стороны других пользователей. Также PDM позволяет хранить документы различного уровня секретности: документы общего доступа, секретные документы, совершенно секретные документы.

5) отслеживание истории и управление изменениями;

С помощью механизма управления версиями PDM ведет историю всех изменений документа, не накладывая ограничения на количество версий.

6) организация коллективной работы;

Обеспечение коллективной работы в PDM реализовано с помощью управления версиями документов, обеспечения совместного доступа к документам и разграничения доступа.

7) формирование отчетов и спецификаций;

8) интеграция различных CAD/CAM/CAE-систем и связь с ERP.

2) Концепция CALS (PLM-технологии)

Последние десятилетия в промышленно развитых странах широко распространяется технология сквозной информационной поддержки наукоемкой продукции на всех этапах жизненного цикла: технический замысел и маркетинг рынка, проектирование, технологическая подготовка производства, производство, продажа, послепродажное обслуживание, эксплуатация и утилизация.

В последние годы в отраслевой прессе САПР все настойчивее и чаще используется аббревиатура PLM или CALS, отчасти подменившая уже привычные CAD, CAM, CAE.

Ведущие поставщики, в первую очередь Dassault Systems и Siemens PLM Software, просто используют только этот термин.

Концепция CALS возникли в 80-х годах в министерстве обороны США. В то время это была компьютерная поддержка логистических систем. Она была направлена исключительно на крупномасштабные проекты в военно-промышленном комплексе. Немного позже CALS-технологии стали активно использоваться в гражданской промышленности.

А уже в 1993 году данная технология означала поддержку непрерывных поставок и жизненного цикла.

Концепции CALS - непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделия.

CALS предполагает использование компьютеров на всех этапах жизненного цикла и безбумажный электронный обмен данными.

При этом в CALS-технологиях организуется интеграция различных САПР, т.е. компонентами CALS-технологий являются программные средства проектирования (CAD), подготовки производства на ЧПУ (CAM) и инженерных расчетов (CAE), объединенных воедино системой управления документооборотом (PDM), системы планирования и управления предприятием (ERP) и т.д.

Таким образом, возникшая в Министерстве обороны США идея, связанная с единой информационной поддержкой логистических систем, быстро превратилась в глобальную бизнес-стратегию перехода на безбумажную электронную технологию работы, повышения эффективности бизнес-процессов, выполняемых в ходе ЖЦ продукта, за счет информационной интеграции и совместного использования информации на всех его этапах.

Проекты в области CALS были созданы и развернуты в других странах. В настоящее время в мире действует более 25 национальных организаций, координирующих вопросы развития CALS-технологий, в том числе в США, Канаде, Японии, Великобритании, Германии, Швеции, Норвегии, Австралии, а также в рамках НАТО.

Самыми первыми предприятиями, начавшими применение CALS, являются: аэрокосмический комплекс, авиастроение, судостроение; военно-промышленный комплекс; крупные нефтяные и нефтеперерабатывающие компании.

CALS-технология – это современная глобальная бизнес-стратегия перехода на безбумажную электронную технологию работы за счет совместного использования информации на всех его этапах.

Применение CALS-технологий позволяет существенно сократить объёмы проектных работ, дает огромный выигрыш в качестве и времени, а также сокращение материальных затрат (поскольку описания многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в унифицированных форматах данных сетевых серверов, доступных любому пользователю технологий CALS). Существенно облегчается решение проблем ремонтопригодности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации, специализации проектных организаций и т. п. Предполагается, что успех на рынке сложной технической продукции будет немыслим вне технологий CALS

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

Для обеспечения информационной интеграции CALS использует стандарты IGES и STEP в качестве форматов данных. В CALS входят также стандарты электронного обмена данными, электронной технической документации и руководства для усовершенствования процессов. В последние годы работа по созданию национальных CALS-стандартов проводится в России под эгидой Росстандарт. С этой целью создан Технический Комитет ТК459 «Информационная поддержка жизненного цикла изделий», силами которого разработан ряд стандартов серии ГОСТ Р ИСО 10303, являющихся аутентичными переводами соответствующих международных стандартов (STEP).

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

PLM-технология – управление жизненным циклом изделия на всех его этапах.

Подход PLM состоит в том, чтобы обеспечить решение всех задач с помощью набора взаимоувязанных программных продуктов одного крупного разработчика программного

обеспечения. Основная возникающая при этом проблема – зависимость пользователя от программных продуктов одного разработчика

Концепция PLM предполагает, что создается единая информационная база, описывающая три компонента: Продукт - Процессы - Ресурсы – и взаимосвязи между ними. Подразумевается совокупность процессов, выполняемые от момента выявления потребностей общества в определенном продукте до утилизации изделия после его использования

Мировая практика имеет примеры использования PLM в даже таких сложных отраслях, как, например, авиастроение, когда самый первый собранный самолет нового проекта после проверочных испытаний был передан в реальную эксплуатацию. Конечно, такие идеальные случаи все-таки редки, но количество испытательно-доводочных вариантов продукции в современной автомобильной, авиационной, станкостроительной промышленности сократилось кардинально, а сроки на создание новых продуктов - буквально в разы.

В какой-то мере это действительно так, риск создать неудачный продукт при использовании PLM-технологий значительно снижается, но при одном очень важном условии. Это условие - компетентность специалистов, занятых созданием продукта. PLM не заменяет специалистов, но значительно увеличивает эффективность их труда. Соответственно, имея в руках столь мощный инструмент, некомпетентный конструктор способен внести ошибку, которая как снежный ком вызовет цепочку других ошибочных или неоптимальных решений.

Поэтому внедрение PLM - это отнюдь не только закупка соответствующих программных систем, это еще и обязательная тщательная подготовка кадров, которые будут работать с ними.

В целом же PLM - совокупность этих программных систем, методики их применения, а главное - людей, обладающих должной компетентностью.

В настоящее время в мировом промышленном производстве наблюдается бурный процесс внедрения и освоения концепции и решений PLM, в первую очередь в таких отраслях, как автомобилестроение, авиастроение, судостроение. Практически невозможно удержаться на мировом рынке на конкурентоспособном уровне без использования технологий PLM. Эти решения широко применяют в своей практике ведущие промышленные корпорации, такие как Boeing, Airbus, BMW, Daimler, Toyota и др.

К сожалению, в нашей стране по разным объективным и субъективным причинам появление и внедрение этих технологий заметно отстало по времени от Запада. Примеры таких успешных подходов уже есть (видео).

В нашей стране среди пионеров внедрения CALS:

- Системы мониторинга технического состояния воздушных судов ОАО «Туполев»
- Информационная система управления инженерными данными в ОАО «Казанский вертолетный завод»
- Технологии интегрированной логистической поддержки для самолетов марки «Су»
- Воронежский механический завод

Из бесед со специалистами у нас сложилось стойкое мнение о том, что технологии CALS в ближайшие несколько лет в России ждет нелегкая судьба. Во-первых, далеко не все предприятия готовы к серьезным изменениям и крупным инвестициям в светлое, конкурентоспособное будущее. Ключевые посты в конструкторских бюро и подразделениях предприятий нередко занимают те, кто не может или не хочет менять методику разработки изделий и их производства. Очевидно, что убедить этих людей в необходимости реализации изменений и их финансирования (даже если предприятие располагает достаточными средствами) будет очень нелегко.

Другая проблема: кадры проектировщиков, разработчиков, создателей высокотехнологичной продукции стремительно стареют, а молодежь им на смену не идет, поскольку работа конструкторов на большинстве предприятий плохо оплачивается. В

результате вполне может сложиться так, что технологии CALS вообще не потребуются российским предприятиям, потому что использовать их будет некому.

Сложная проблема: отсутствие нормативно-законодательной базы, позволяющей придать электронным документам такой же серьезный статус, какой имеет бумажная документация. Сейчас крайне проблематично, например, передать нашему военному ведомству технику без бумажной документации. Между тем ее объемы могут достигать нескольких тонн, если речь заходит, скажем, о кораблях ВМФ. Но это полбеды. Другая половина — в том, что далеко не всегда можно адекватно отразить электронную модель изделия или агрегата в виде бумажных документов.

Наконец, еще одна проблема: кооперация и координация взаимодействия предприятий и организаций, участвующих в разработке, производстве и сопровождении высокотехнологичной продукции с помощью CALS-технологий.

Лекция 9. Специализированные САПР. САПР в сварочном производстве

План

1. Специализированные САПР
2. САПР в сварочном производстве

1) Специализированные САПР

По мере развития САПР и адаптации их к задачам конкретных отраслей стали появляться сначала наборы дополнительных специализированных модулей к универсальным системам, затем и полностью специализированные САПР, ориентированные на эффективное выполнение проектных работ в специфических областях применения.

Со временем, помимо традиционной MCAD, сформировались целые самостоятельные подотрасли САПР, такие как архитектурно-строительная (AEC, Architecture Engineering and Construction), электронная (EDA, Electronic Design Automation), геоинформационная (GIS, Geolnformatic Systems) и др.

Ассортимент специализированных систем весьма обширен, рассмотрим наиболее показательные примеры.

AEC CAD - архитектурно-строительные САПР

История архитектурно-строительных приложений начинается с создания библиотек строительных элементов и специализированных команд в двумерных чертежных редакторах, в первую очередь AutoCAD. Их использование снижало трудоемкость выполнения проектных и рабочих чертежей зданий, мостов и других сооружений.

Так как в архитектурном проектировании особое значение имеет визуальное представление будущих сооружений, наряду с чертежными редакторами широко использовались и используются трехмерные дизайнерские пакеты, такие как 3D Max, Lightwave, Softimage и др.

Однако такой симбиоз недостаточно эффективен, так как практически отсутствует ассоциативная автоматическая связь между проектной документацией и виртуальным макетом здания для визуализации. Каждое изменение, вносимое в чертежи либо в макет, требует его ручного воспроизведения в параллельной системе. Кроме излишней трудоемкости, такой подход чреват ошибками, расхождением визуальных и проектных данных.

Поэтому на рубеже 80-90-х годов XX века появилась концепция виртуального здания, которая набирает все большую популярность. Наиболее типичными образцами продуктов, реализующих эту концепцию, можно назвать пакет ArchiCAD компании Graphisoft, семейство программ Revit компании Autodesk, комплекс АП Plan компании Nemetchek.

Концепция виртуального здания позволяет управлять информацией обо всем жизненном цикле здания. В отличие от простой трехмерной модели, виртуальное здание содержит комплексную информацию, это трехмерная цифровая база данных, которая отслеживает все элементы, составляющие проект: площади и объемы, описания комнат, цену материалов и готовых элементов и изделий: окон, дверей, коммуникаций и т. д.

Концепция виртуального здания предполагает новый подход к проектированию: архитектор занимается непосредственно дизайном проекта, а САПР автоматически формирует документацию. В то время когда проектировщик «возводит», программа создает единую базу данных трехмерной модели здания. Изменения, вносимые в проект, отображаются во всей отчетной документации: в планах этажей, разрезах, фасадах, сметных заданиях, 3D-модели и фотоизображениях. Интеллектуальные объекты (двери, окна, колонны, перекрытия и т. д.) постоянно взаимодействуют с другими элементами конструкции здания или сооружения: окно встраивается в стену, перекрытие опирается на колонну, под скат крыши сооружается несущая конструкция и т. д. В дальнейшем из базы может быть извлечена вся необходимая информация: подробные рабочие чертежи поэтажных планов, разрезов, фасадов, архитектурные и конструкторские чертежи узлов и фрагментов, сметные задания, спецификации окон, дверей и отделочных материалов, анимацию и сцены виртуальной реальности.

В результате виртуальное здание становится единым и универсальным инструментом организации коллективной работы всех участников создания и реализации проекта. Главный архитектор получает информацию о текущем состоянии проекта в независимом электронном формате (эту информацию он гарантированно сможет просмотреть, даже не располагая никакими системами САПР), отображает изменения, которые необходимо внести в проект, и передает их сотрудникам для дальнейшей работы.

Сметчики получают из общей проектной базы различные спецификации, ведомости, сметные задания. Конструкторы - трехмерную модель и параметры несущих конструкций для прочностных расчетов; инженеры - постоянно обновляемые актуальные чертежи поэтажных планов, узлов и фрагментов здания в заданном масштабе. Для строителей можно проработать графики работ, а в дальнейшем передавать на площадку чертежи и видеоролики, отображающие различные этапы строительства или демонтажа здания.

Работая с тем же виртуальным зданием, что и архитектор, агент по недвижимости имеет возможность легко получить точные параметры помещений и оценить их площадь, показать клиентам вид из любой точки и даже пригласить их совершить виртуальное путешествие по зданию. Дизайнеры интерьеров могут начинать работать на этапе концептуальной модели, используя тот же проект, что и архитектор.

После завершения этапа проектирования строителям выдаются спецификации, ведомости, отчеты, графики строительства, рабочие планы и другая информация.

Так как вся информация исходит из одного источника - виртуального здания, она всегда актуальна и соответствует текущему состоянию проекта. Информация об изменениях, вносимых любым из участников проекта, немедленно становится доступной его коллегам.

EDA-проектирование электронных устройств

EDA (Electronic Design Automation - Автоматизация проектирования электроники) - комплекс программных средств и библиотек стандартных элементов, обеспечивающий автоматизацию разработки электронных устройств, в первую очередь создания микросхем и печатных плат. Наиболее распространенными в России являются пакеты Pcad и Oread.

EDA-системы позволяют начать разработку с создания непосредственно принципиальной электрической схемы проектируемого устройства с использованием базы радиоэлектронных компонентов, промоделировать ее работу в различных режимах. Затем эта схема преобразуется в заготовку проектируемой печатной платы с различной степенью автоматизации. Современные программные пакеты позволяют выполнить автоматическую

расстановку элементов и автоматически развести дорожки на чертеже многослойной печатной платы, соединяя тем самым выводы радиоэлектронных компонентов в соответствии с принципиальной схемой.

Типичный состав EDA-комплекса:

• редактор принципиальных электрических схем**;**
• библиотека стандартных электронных компонент;
• редактор печатных плат;
• встроенные модули симуляции принципиальных схем и печатных плат;
• трансляторы данных;
• вспомогательные утилиты.

Модуль создания принципиальных схем представляет собой специализированный графический редактор, обеспечивающий выбор электронных компонент из библиотеки, размещение их на схеме и соединение линиями-проводниками.

Электрические схемы выполняются без соблюдения масштаба. Реальное расположение компонентов на монтажно-коммутационном поле не учитывается при рисовании электрических схем. В первую очередь рисунок схемы должен обеспечить компактность и ясность при чтении ее деталей. На электрической схеме изображаются символы компонентов, электрические связи между ними, текстовая информация, таблицы, буквенно-цифровые обозначения и основные надписи на форматке схемы. Поставляемые вместе с системой библиотеки электронных компонент обеспечивают как их графическое изображение на схеме, так и моделирование логики и электронных параметров.

Редактор печатных плат используется для размещения компонентов непосредственно на монтажно-коммутационном поле, а также и для ручной, интерактивной или автоматической трассировки проводников. В интерактивном режиме курсором отмечаются начало и конец сегмента проводника, который сразу же трассируется с учетом препятствий. При этом соблюдаются все ограничения на проведение трассы, установленные пользователем.

Благодаря ассоциативному сопряжению с модулем создания принципиальных схем редактор печатных плат может автоматически составить список соединений схемы и перенести на поле печатной платы изображения корпусов компонентов с указанием линий электрических соединений между их выводами. Затем вычерчивается контур платы, на нем размещаются компоненты и, наконец, производится трассировка проводников.

Важной компонентой современных редакторов печатных плат являются модули автоматической трассировки проводников. Автотрассировщики вызываются из управляющей оболочки редактора печатных плат, в котором производится настройка стратегии трассировки. Информацию об особенностях трассировки отдельных цепей можно с помощью стандартных атрибутов ввести на этапах создания принципиальной схемы или печатной платы.

Вспомогательные утилиты используются для перенумерации компонентов,создания отчетов в требуемом формате, автоматического создания компонент, расчета паразитных параметров печатных плат, оформления конструкторской документации, размещения на чертежах схем или печатных плат, различных диаграмм и таблиц, составления различных списков и отчетов, которые динамически обновляются, таблиц сверловки, данных о структуре платы, технологической и учетной информации, размещения на чертежах схем списков соединений, выводов подключения питания и другой текстовой информации.

Важнейшим элементом EDA-системы являются трансляторы данных, обеспечивающих обмен проектной информацией с другими электронными САПР либо с MCAD-системами для окончательной конструктивной компоновки электронных блоков в составе машиностроительных конструкций. В последнем случае транслятор создает трехмерную сборку в формате MCAD, состоящую из печатной платы и элементов. Возможно и решение обратной задачи - сохранение модели MCAD в формате EDA CAD. Эту возможность удобно использовать в тех случаях, когда габариты печатной платы

зависят от формы и размера корпуса прибора или отсека оборудования, в котором эта печатная плата будет эксплуатироваться.

Развитием технологии трансляторов между EDA- и MCAD-системами является мехатроника - система средств совместного проектирования и моделирования узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых модулей, машин и систем с интеллектуальным управлением их функциональными движениями.

Геоинформационные системы

Геоинформационные системы (ГИС) предназначены для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных географических данных и связанной с ними информации. Инструменты ГИС обеспечивают систематизированное хранение, поиск, анализ и редактирование цифровых карт, а также дополнительную информацию об объектах, например высоту здания, адрес, количество жильцов, расположение транспортных коммуникаций и т. п. ГИС включают в себя системы управления базами данных, сопряженные с редакторами растровой (например, аэрофотоснимков) и векторной (карты высот, коммуникаций, планов населенных пунктов) графики и аналитических средств. ГИС широко применяются в различных отраслях, в том числе напрямую не связанных с проектированием: картографии, геологии, метеорологии, землеустройстве, строительстве, управлении транспортом и т. п.

Отраслевая ориентация ГИС определяется решаемыми в ней задачами, среди них - инвентаризация ресурсов (в том числе кадастр), анализ, оценка, мониторинг, управление и планирование, поддержка принятия решений. Интегрированные ГИС совмещают функциональные возможности ГИС и систем цифровой обработки изображений (данных дистанционного зондирования) в единой интегрированной среде.

Наибольшее распространение получили так называемые масштабно-независимые ГИС, основанные на множественных представлениях пространственных объектов, и обеспечивают графическое или картографическое воспроизведение данных в любом из выбранных масштабов, на основе единого набора данных с наибольшим пространственным разрешением.

В практике проектирования ГИС получили широкое распространение в строительстве, проектировании дорожных сетей, магистральных трубопроводов и линий электропередач.

2) САПР в сварочном производстве

САПР СВАРКА — это система автоматизированного проектирования, позволяющая значительно повысить скорость разработки, а также качество конструкторской документации на сварные детали, узлы и изделия.

САПР СВАРКА обеспечивает повышение эффективности решения следующих задач:

- подбор сварного шва;
- создание обозначения сварного шва;
- изменение швов и их обозначений;
- классификация швов по типам;
- управление типами сварных швов;
- групповое изменение номеров и количества швов;
- построение таблицы сварных швов.

Интерфейсы САПР СВАРКА интегрированы с интерфейсами КОМПАС, что позволяет создать единую, неразрывную рабочую среду разработки для пользователя.

Применение роботов в сварочном производстве — путь эффективного решения проблем автоматизации сварочных операций. Прежде всего это связано с повышением качества выполнения работ, недоступного ручным технологиям. Понятны очевидные и весомые достоинства роботизированной сварки:

• высокая точность перемещений сварочного инструмента и траектории наложения сварных швов;

• высокая точность поддержания всех технологических параметров сварки;

• «неутомляемость» и способность работать круглые сутки.

По сравнению с другими путями автоматизации сварочных работ, такими, как применение автоматических многоточечных машин в контактной сварке, сварочных автоматов и автоматических установок при дуговой сварке или термическом резании, идея роботизации выгодно отличается гибкостью переналадки оборудования и технологии, в том числе и возможностью постоянного изменения программ при последовательной сварке весьма различных изделий.

Недостатки идеи роботизации сварочных технологий также имеются, и в большинстве практических случаев они делают нереальной нарисованную выше идиллическую картину. Эти недостатки прежде всего связаны с чрезвычайно высокой стоимостью сварочных роботов для дуговой и контактной сварки и другого оборудования, необходимого для их успешной работы в составе сварочных роботизированных технологических комплексов (РТК). Это управляемые двух - и трехстепенные манипуляторы изделий, гораздо более дорогой сварочный инструмент. Для успешной работы сварочных РТК предъявляются существенно более высокие требования к сварочным горелкам для дуговой сварки в защитных газах, механизмам подачи сварочной проволоки, к самим сварочным проволокам, качеству их покрытий, качеству намотки на катушки и т. д.

Другая группа проблем промышленного использования сварочной робототехники связана с большими затратами средств и времени на подготовку роботизированного сварочного производства. К ним можно отнести более высокие требования к проектированию сварной конструкции, предназначенной для изготовления с применением роботов, проектирование сборочно-сварочных приспособлений и сварочного инструмента, пригодных для работы в составе сварочных РТК для изготовления конкретного изделия. Много времени занимают программирование (обучение) сварочных роботов, оптимизация и синхронизация их работы применительно к жестким требованиям автоматических производственных линий.

Вместе с тем и первая, и, тем более, вторая группа проблем, препятствующих широкому использованию сварочной робототехники в отечественном сварочном производстве, может быть решена. Что касается чрезмерно высокой стоимости сварочных роботов, то это связано с тем, что легкие роботы для дуговой сварки в России не производят. Роботы для контактной сварки производят по лицензии фирмы KUKA, но системы управления поставляются из-за рубежа. В настоящее время имеется возможность организовать на отечественных заводах серийное производство легких сварочных роботов для дуговой сварки, термического резания, окраски. Разработаны и отечественные недорогие версии систем управления роботами, реализованные с использованием массовых и дешевых плат персональных компьютеров и работающие под управлением универсальных операционных систем.

Проблема резкого сокращения стоимости и сроков конструктивнотехнологической подготовки роботизированного производства успешно решается за счет возможного широкого применения рассматриваемых ниже систем компьютерного проектирования и моделирования работы РТК. Такие системы давно и широко применяются за рубежом, имеется успешный опыт их использования и на крупных отечественных заводах.

Возможность и необходимость широкого применения роботизированных сварочных технологий подтверждается опытом автомобильной промышленности, в которой сварочные роботы контактной сварки составляют основу кузовного производства. Многие сотни таких роботизированных рабочих мест имеются на каждом автомобильном заводе.

В роботизации дуговой сварки успехи гораздо более скромные, однако неожиданно появилось понимание того, что, как ни странно, многие сварные конструкции сегодня вообще не могут быть изготовлены иначе, чем с применением роботизированной дуговой сварки. Ранее некоторые такие конструкции могли быть изготовлены с использованием ручной (или полуавтоматической) сварки. При постоянном повышении требований точности размеров, стабильные сварочные деформации, обусловленные большим количеством сварных швов в принципе не могут быть обеспечены при работе сварщиков-ручников. В гл. 8 показано, что по сравнению с ручной сваркой роботизированные сварочные технологии позволяют многократно уменьшить разброс размеров сварных конструкций.

Основным потребителем промышленных роботов в настоящее время является автомобильная промышленность, где они преимущественно используются для точечной контактной (около 80 %) и дуговой сварки. Условия жесткой конкуренции требуют от производителей как повышения качества продукции, снижения ее себестоимости, так и сокращения сроков подготовки производства. В связи с этим в автомобилестроении широкое распространение получают универсальные и специализированные САПР, которые позволяют связать воедино и автоматизировать процесс разработки конструкции, подготовку производства и само производство. Благодаря этому на ведущих автомобильных фирмах сроки освоения новой модели (от дизайнерской модели до выпуска с конвейера) сократились до одного года — полутора лет.

При традиционном проектировании роботизированных производств, когда указанные САПР не используются, наибольшие затраты связаны с устранением ошибок в расположении роботов. Обычно такие ошибки выявляются уже после того, как оборудование изготовлено в металле. При этом оказывается, что некоторые точки (швы) являются недоступными для сварки вследствие столкновений технологического инструмента с деталью либо недостижимыми (при требуемой ориентации инструмента) в связи с ограничениями рабочего пространства робота. Поэтому в некоторых руководствах по проектированию РТК сварки рекомендуется предусмотреть целую сетку крепежных отверстий для основания робота, что позволяет корректировать его расположение на фундаменте при наладке. Как показывает опыт автомобильного завода БелАЗ, устранение ошибок в проектах РТК, созданных без применения специализированных САПР, может занимать до шести месяцев.

Большой трудоемкостью характеризуется и процесс программирования РТК, при котором технологические операции представляются в виде последовательности движений робота и позиционера. Обычно каждое элементарное движение определяется как переход из одной опорной точки траектории в другую. Опорные точки задаются шестью параметрами (три декартовы координаты и три угла ориентации либо шесть координат

звеньев). Для каждого участка траектории задаются также способ интерполяции (линейная или круговая в системе координат звеньев) и максимальные значения скорости и ускорения. Кроме того, в программу включаются команды управления технологическим инструментом и команды, определяющие способ сопряжения соседних участков траектории. При подготовке управляющих программ для РТК используют два основных метода — ручное обучение и автономное программирование. В первом случае подготовка программы производится непосредственно на РТК, в режиме on-line-, оператор при помощи пульта управления или задающей рукоятки последовательно переводит робот из одной опорной точки в другую, записывая в каждой из них информацию о координатах и выполняемых действиях. Во втором случае программа создается без использования робота (в режиме off-line), а координаты опорных точек рассчитываются по чертежу или математической модели.

Первые специализированные САПР роботизированных технологических комплексов появились примерно 30 лет назад. К ним относятся система PLACE (McDonnel Douglas) в составе UNIGRAPHICS, модули ROBOTICS в пакетах CATIA, CADDS и др. В это же время начались разработки подобных систем непосредственно в автомобильных компаниях (Renault) и фирмах-поставщиках роботов (KUKA, FANUC), в университетах и исследовательских центрах (Nottingham University/BYG Systems, University of Illinois, Silma Inc.). Постепенно эти системы прошли эволюцию от исследовательских пакетов, ориентированных на решение уникальных задач (например, моделирования копирующего манипулятора космического корабля Space Shuttle), до промышленных специализированных САПР, учитывающих особенности конкретных технологических процессов сварки, ок¬раски, резания и т. д. и поддерживающих все имеющиеся на рынке типы промышленных роботов и языки их программирования.

В настоящее время в зарубежной автомобильной промышленности наибольшее распространение получили пакеты RobCAD (фирмы Techno - matics Technologies), IGRIP (фирмы Deneb Robotics) и CimStation (фирмы Silma).

В СССР работы по созданию САПР РТК начались в конце 1980-х годов, когда фирма «Буран» предложила автомобильной промышленности САПР РТК сварки РОБОМАКС, а фирма «Авторобот» — пакет AutoRob, которые были ориентированы на IBM PC-совместимые компьютеры и графическую среду пакета AutoCAD фирмы Autodesk. При помощи указанных пакетов были решены задачи технологической подготовки роботизированного сварочного производства для новых моделей автомобилей ВАЗ, ГАЗ (пакет РОБОМАКС) и «Москвич» (АЗЛК, пакет AutoRob). В дальнейшем работы по совершенствованию пакета AutoRob были приостановлены, а пакет РОБОМАКС развивается в направлении как совершенствования существующих модулей, так и разработки новых (проектирование сварочных клещей, сборочно-сварочной оснастки и др.).

На заводах России имеются инсталляции мощного пакета RobCad американской фирмы Technomatics Technologies, включающего в себя обширную, свыше 100 моделей, библиотеку роботов, развитые функции проектирования сварочного инструмента, сварочной оснастки, различных роботизированных комплексов. Большинство таких же функций поддерживает отечественная разработка — программный комплекс РОБОМАКС, различные версии которого имеются на автомобильных заводах и на сварочных кафедрах ряда вузов. Знакомство с комплексом РОБОМАКС полезно для понимания возможностей мощных современных САПР, работающих на основе графического моделирования

динамики работы технологического оборудования. В связи с этим методику и технологию автоматизированного проектирования сварочных РТК рассмотрим на примере этого программного продукта, реализованного на платформах массовых моделей компьютеров в операционных средах Dos и Windows. Комплекс программных средств РОБОМАКС является инструментом для решения задач технологической подготовки сборочно-сварочного производства. Объектами РОБОМАКС являются РТК дуговой и точечной контактной сварки, а также линии точечной контактной сварки.

В РОБОМАКС используются понятия «проектирование изображения» и «подготовка образа». Под «проектированием» понимается создание объемного изображения объекта и готовых изображений комплектующих деталей с дорисовкой недостающих элементов. «Подготовка» — это нанесение на уже созданное изображение дополнительной информации (например, сварных швов) и обработка графической информации, создание математического образа изделия, с которым ведется вся последующая работа систем. Подготовка образов всех элементов комплекса обязательна перед началом работы расчетных программ.

Комплекс программных средств построен из нескольких систем, объединенных идеей сквозного проектирования: на входе — исходные данные и образы деталей, а на выходе — готовая документация проекта и управляющие программы работы оборудования.

Основной модуль — проектирование РТК — работает с базами данных и библиотеками

• сварочных роботов;

• управляемых манипуляторов изделия;

• сварочных клещей, горелок, резаков и другого инструмента;

• вспомогательных элементов окружения (например, ограждений, элементов оборудования, шкафов управления);

• специально подготовленных образов свариваемых конструкций, закрепленных в сборочно-сварочных приспособлениях.

Другие подсистемы служат для подготовки данных этих основных библиотек.

Подсистема, предназначенная для конструирования сварочной оснастки и формирования моделей, входящая в программный комплекс, но, как и все другие подсистемы, имеющая возможность автономного использования, подробно рассмотрена в гл. 6.

Подсистема «сварочный инструмент» предназначена для подготовки графических образов и формирования моделей сварочного инструмента, обеспечивающих доступность к зоне сварки и исключающих столкновения при заходе инструмента на свариваемый узел.

Подсистема «сварная конструкция» имеет целью создание образа сварного узла из образов поверхностей и деталей, импортированных из «внешнего» пакета (например, пакета CATIA). Детали собираются в узлы, наносятся сварные точки и швы и готовится математический образ. Однако возможна «сквозная» работа в среде AutoCAD с использованием пакета AutoSURF фирмы AutoDesk без импорта данных об образе сварного узла.

С использованием большого объема данных вспомогательных подсистем подсистема РТК предназначена для формирования компоновок сварочных постов или РТК сварки. Она обеспечивает выбор модели робота, манипулятора изделия, установку сварного узла вместе со сборочным приспособлением на манипулятор, определение взаимного положения робота и манипулятора изделия относительно системы координат РТК. Выполняется

трехмерное моделирование как объектов РТК, так и движений робота и манипулятора изделия со свариваемым узлом с учетом реально действующих ограничений, накладываемых сварочной технологией, оснасткой, приводами подвижности робота и манипулятора. Подсистема обеспечивает интерактивную работу с роботом при его обучении в составе РТК. Задание и выполнение команд управления роботом и манипулятором изделия в интерактивном режиме с графическим отображением их движений является необходимым условием эффективной работы пользователя с системой как при компоновке РТК, так и при его программировании. Моделирование обучения робота позволяет запомнить все положения робота относительно сварного узла и включить их в технологическую программу. Отладка технологических программ производится здесь же с использованием идеальной модели РТК. Это облегчает и делает более эффективной работу технологов-программистов. Последующую калибровку таких программ применительно к конкретному реальному технологическому комплексу осуществляют на основе небольшого числа измерений, проводимых с помощью самого робота на одном из сварных узлов.

Лекция № 10. Специальное оборудование для САПР

План

1. Плоттер
2. Устройства числового программного управления
3. Трехкоординатный 3D принтер

1) Плоттер

В силу особенностей задач, решаемых системами автоматизированного проектирования, для их эффективного использования применяется достаточно широкий спектр специфического периферийного оборудования (технического обеспечения САПР), как правило, не имеющего хождения в других отраслях использования компьютеров. Специфика САПР накладывает свои особенности даже на выбор стандартных компонентов оборудования.

Плоттер, или графопостроитель, - это устройство для автоматического вычерчивания с высокой точностью сложных чертежей, схем, рисунков, карт и другой графической информации на бумаге или другом носителе, например, плёнке или ткани.

Плоттеры появились как необходимое дополнение к 2D CAD-системам, так как традиционно чертежи исполняются на листах крупного размера, которые невозможно отпечатать на обычном принтере.

Плоттеры *по конструктивному исполнению* делятся:

- на рулонные (барабанные);
- планшетные (плоские).

Рулонные плоттеры работают на принципе передвижения материала (бумаги) с помощью ролика, обеспечивая тем самым продольную координату *X, а Y* обеспечивается поперечным движением каретки. В качестве рисующего элемента используются рисующие головки, а также перья различных видов. Главной особенностью этой технологии является возможность создания произведений ограниченной ширины, но практически неограниченной длины.

Рулонный растровый струйный плоттер-сканер

Во втором типе плоттеров - *планшетных* графопостроителях - бумага располагается на плоскости и неподвижна. Над плоскостью устанавливается рисующий блок, одновременно перемещающийся по двум координатам. Недостаток этого метода заключается в том, что требуется пространство, соответствующее всей расчерчиваемой области. Но достоинством этого решения является высокая точность позиционирования пера и соответственно точность самого рисунка, наносимого на бумагу. Рисующая головка плоттеров часто дополняется кассетными держателями с перьями разной толщины и цвета.

Кроме того, *по типу графики* плоттеры делятся:

- 1) на растровые;
- 2) векторные,

а *по типу рисующего инструмента:*

- 1) на струйные;
- 2) перьевые.

Вследствие совершенствования технологии струйной печати с высокой разрешающей способностью, удешевления компьютерной памяти и скорости обработки изображений сейчас широкое распространение получили *растровые струйные* плоттеры. При этом *векторные перьевые* плоттеры своих позиций не утратили.

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

Кроме того, существуют комбинированные *режущие плоттеры,* позволяющие по сколь угодно *сложному контуру* прорезать гибкие материалы на подложке - самоклеящиеся виниловые аппликационные и трафаретные пленки, тонкие фольги на гибкой диэлектрической основе и многое другое. Они эффективны для решения задач визуализации, а также изготовления гибких плат и шлейфов. Режущий плоттер зачастую обозначается ещё одним термином - *каттер* (англ, *cutter* - резак).

Каттеры бывают нескольких типов и различаются по габаритам и методам работы с материалом. Они бывают *планшетного* типа - в этом случае полотно фиксируется на носителе в статичном положении, а подвижный нож вырезает изображение по разметочному контуру, *рулонного* типа - материал протягивается через плоттер, а нож вырезает рисунок, двигаясь вправо-влево, и *лазерного* типа - его устройство идентично планшетному, с одним лишь исключением, что режет он с помощью лазера.

Режущий плоттер/каттер Graphtec

Графический язык HPGL. HPGL (или HP-GL) является основным языком управления плоттерами Hewlett-Packard и других фирм. Его название представляет собой аббревиатуру Hewlett-Packard Graphics Language (графический язык от Хьюлетт-Паккард). На данный момент он является стандартом «де-факто» практически для всех плоттеров.

2) Устройства числового программного управления

Цифровое производство - это повсеместное и постоянное применение цифровых моделей в процессе проектирования и эксплуатации производственных систем. При этом в виде цифровых моделей отображаются не только сами изделия (например, в виде двумерных или трехмерных CAD-чертежей), но и все современные средства производства, а также производственные и логистические процессы.

Итак, *гибкое автоматизированное производство* (ГАП), также обозначаемое англоязычным термином *CAM* (англ. *Computer Aided Manufacturing* - производство с помощью компьютеров), - это производство, основанное на технологическом оборудовании с числовым программным управлением.

Числовое программное управление (ЧПУ) - автоматизированная система управления, управляющая приводами технологического оборудования, включая станочную оснастку. Оборудование с ЧПУ - это станки, промышленные роботы, обрабатывающие центры и т. п.

Аббревиатура *ЧПУ* соответствует двум англоязычным - **NC** и **CNC,** отражающим эволюцию развития систем управления оборудованием:

- системы типа NC (англ. *Numerical Control* - числовое (цифровое) управление), появившиеся первыми, предусматривали использование жестко заданных схем управления обработкой - например, задание программы с помощью штекеров или переключателей, хранение программ на внешних носителях. Каких-либо устройств оперативного хранения данных, управляющих процессоров не предусматривалось;
- более современные системы ЧПУ, называемые **CNC** (англ. *Computer Numerical Control),* - системы управления, позволяющие использовать для модификации существующих и/или написания новых программ программные средства. Базой для построения современных CNC являются микроконтроллеры и/или микропроцессоры.

Несколько станков с ЧПУ могут объединяться в гибкую автоматизированную производственную систему (ГПС), которая, в свою очередь, может быть расширена гибким автоматизированным участком (ГАУ) и войти в состав автоматической линии (производства масштаба участка либо цеха), ГАП.

3) Трёхкоординатный 3 D-принтер

Одной из задач, решаемой в САПР (CAD), является задача быстрого прототипирования, для решения которой в последнее время всё чаще начинают применяться трёхкоординатные принтеры, называемые 3D-принтерами, которые также

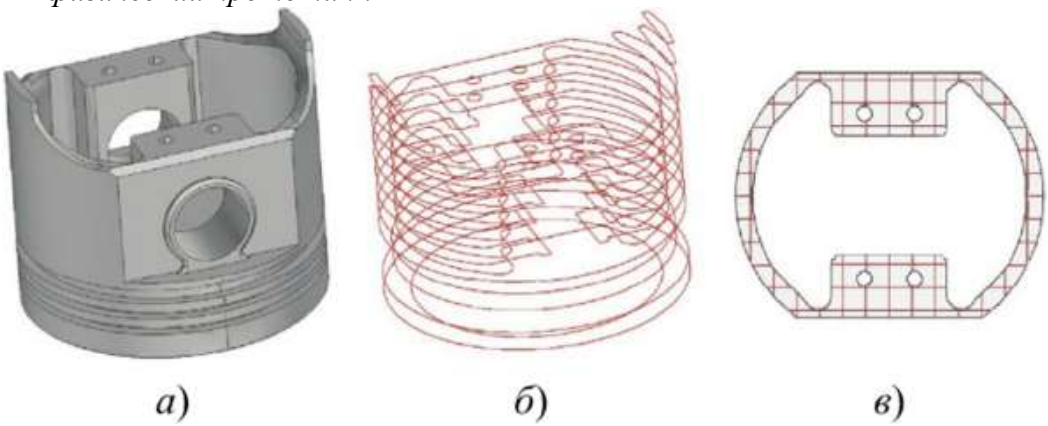
можно рассматривать как технологическое оборудование с числовым программным управлением.

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

Эти технологии начали развиваться в 80-х гг. XX в. 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. Этот процесс называется *слайсингом.* Построение детали происходит *послойно* до тех пор, пока не будет получен *физический прототип* .



Основные этапы подготовки данных для послойного выращивания: *а)* 3D-модель; б) разбиение на тонкие слои с заданным шагом (слайсинг);
в) формирование траектории для заполнения слоя

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.

Наиболее распространенной, недорогой и простой в использовании является *технология изготовления физической модели методом наплавления* (англ. *Fused Deposition Modeling - FDM).* 3D-принтеры, использующие такую технологию, называются прутковыми.

Главным элементом в прутковом 3 D-принтере является *экструдер,* в который поступает материал (пруток из прочного пластика). В экструдере материал расплавляется и выдавливается на нагретую площадку. Движение площадки и экструдера по осям осуществляется с помощью шаговых двигателей. Выдавленный расплавленный материал затвердевает очень быстро, что позволяет следом накладывать новый слой. После завершения печати уже достаточно твердую, но еще теплую деталь извлекают с рабочей поверхности.

Информационное обеспечение

Основная литература:

1. Шишмарёв В. Ю. Организация и планирование автоматизированных производств: учебник для среднего профессионального образования / В. Ю. Шишмарёв. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 318 с. *(образовательная платформа Юрайт https://urait.ru/)*

Интернет-ресурсы:

1. Информационно-аналитический журнал «CAD/CAM/CAE observser». [Электронный ресурс]. – Форма доступа: http://www.cadcamcae.lv/
2. Журнал «САПР и графика». [Электронный ресурс]. – Форма доступа: http://sapr.ru/
3. Учебные материалы АСКОН. [Электронный ресурс]. – Форма доступа: http://edu.ascon.ru/main/library/study_materials/
4. Система трехмерного моделирования КОМПАС. [Электронный ресурс]. – Форма доступа: http://kompas.ru/
5. Черчение для всех. Видеоуроки КОМПАС-3D. [Электронный ресурс]. – Форма доступа: http://veselowa.ru/

CADInstructor – обучающий центр. [Электронный ресурс]. – Форма доступа: http://cadinstructor.org/