

РОСЖЕЛДОР
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(РГУПС)

И.М. Дудкина



**Системы автоматизированного проектирования
(САПР)**

Учебное пособие

Ростов-на-Дону

2007

Дудкина Инна Михайловна. Системы автоматизированного проектирования. Учебное пособие. Ростов-на-Дону. Ростовский государственный университет путей сообщения, 2007 – 135 с.

Рассматриваются история развития и классификация САПР, основные принципы разработки систем автоматизированного проектирования, виды и способы описания геометрических моделей, взаимосвязь систем конструкторского и технологического проектирования. Значительное внимание уделяется этапам проектирования и сопровождения высокотехнологичного наукоемкого изделия на протяжении всего жизненного цикла. Рассматриваются национальные и международные стандарты создания и управления данными об изделии, готовые системы российских и зарубежных разработчиков, критерии выбора и методы построения «сквозной» САПР.

Пособие может быть использовано студентами специальностей 230201, 071900, 220300, при изучении дисциплин: «Системы автоматизированного проектирования», «Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ», «Разработка САПР», «Геометрическое моделирование в САПР», «Автоматизация конструкторского и технологического проектирования», а также при выполнении курсовых и дипломных работ.

Табл.

Ил.

Библиогр.Рецензенты:



Предисловие

Предлагаемое учебное пособие обобщает опыт преподавания автором дисциплины «Системы автоматизированного проектирования» для студентов специальности 23020165/071900 «Информационные системы в технике и технологиях», «Конструирование мехатронных модулей» для студентов специальности 220401 «Мехатроника» и 220402 «Робототехника». В создании данного учебного пособия помог многолетний опыт работы автора, как разработчика изделий специальной техники и товаров народного потребления, а также наукоемких изделий в области машиностроения.

Так как полноценное рассмотрение систем автоматизированного проектирования невозможно без знания предметной области, а именно, последовательности конструирования наукоемкого изделия, технологии его изготовления и контроля, обслуживания, ремонта и эксплуатации в течение жизненного цикла, а также методов геометрического и пространственного моделирования, методов групповой работы над проектом, то при становлении курса возник вопрос как наиболее органично составить материал, чтобы максимально повысить его усвоение студентами.

Был пересмотрен опыт преподавания данной дисциплины в других вузах страны, проанализированы учебники как отечественных, так и зарубежных авторов. Но, к сожалению, все они были не лишены недостатков, так как в способах проектирования, методах и технологии создания изделий постоянно происходят изменения. В последнее время за рубежом и в России радикально меняются тенденции управления и поддержки данных об изделии на основе CALS/PLM-технологий.

Предлагаемое учебное пособие в большей своей части представляет оригинальный материал собранный, проанализированный и систематизированный автором. Пособие включает также элементы, необходимые для более глубокого понимания, которые были опробованы в течение нескольких лет на кафедре «Вычислительная техника и автоматизированные системы управления» Ростовского государственного университета путей сообщения, а также на кафедре «Бизнес-системы и технологии» ГОУ ДПО «Институт управления и инноваций авиационной промышленности».

Надеюсь, что это учебное пособие позволит более эффективно осваивать материал курса «Системы автоматизированного проектирования».

Введение

Резервы интенсивного развития машиностроительных технологий сегодня практически исчерпаны. Прирост эффективности производства за счет совершенствования технологии производства существенно ниже, чем за счет использования информационных технологий (ИТ). В последние десятилетия главным фактором экономического роста промышленно развитых стран становится развитие информационных технологий. Такие технологии решают задачи интенсификации развития экономики за счет сведения к минимуму материальных и финансовых затрат в заданных условиях производства конкретной продукции и сопровождения ее в течение всего жизненного цикла, т.е. так называемые CALS/PLM/ИПИ – технологии.

Важным условием успешной модернизации отечественной промышленности, увеличения экспорта машинно-технической продукции, сохранения и расширения уже существующих сегментов рынка высоких технологий широкое развитие и внедрение CALS (Continuos Acquisition and Life cycle Support) как непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделий (ЖЦИ). CALS рассматривается как стратегия промышленности, направленная на эффективное создание, обмен, управление и использование электронных данных, поддерживающих ЖЦИ с помощью международных стандартов, технологий, реорганизации предпринимательской деятельности.

Современное состояние мирового рынка наукоемких изделий говорит о глобальном изменении характера этой продукции – преобладает процесс индивидуализации продукции. Сборка изделий выполняется в соответствии с заказами, которые формируют дополнительные требования и условия к изделию, делающего его часто эксклюзивным, не имеющим себе копий.

Уровень изменений базовой модели в соответствии с требованиями покупателя может привести к созданию модификации. Неспособность производителя изделий оперативно создавать модификации приводит к потере рынков продаж его товара. Создание модификаций изделий на основе базовых моделей требует применений новых технологий проектирования и производства изделий. Современные информационные технологии обеспечивают возможность компьютерного проектирования конструкций и компьютерного производства спроектированных изделий.

*"Умен, кто знает древность и разбирается в современности."
Ли Шан-Инь (812-858), "Цзацзуань"*

Лекция 1.

1. История развития и цели создания САПР.

План занятий:

- 1.1. Цели и предпосылки создания САПР.*
- 1.2. История развития САПР.*
- 1.3. Основные концепции развития систем в XXI веке:*
- 1.4. Виды обеспечения САПР.*

1.1. Цели и предпосылки создания САПР

Системы автоматизированного проектирования (САПР) – это человеко-машинные системы, использующие современные математические методы, средства электронно-вычислительной техники и связи, а также новые организационные принципы проектирования для понятий и простоты реализации наиболее эффективного проектного решения существующего объекта.

Главная цель создания САПР - повысить качество, снизить материальные затраты, сократить сроки проектирования и ликвидировать рост числа издержек при проектировании и постановке на производство новых изделий.

Немаловажное значение среди целей внедрения САПР имеет повышение качества проектных решений. Необходимо, чтобы накопленный положительный опыт находил отражение в базе знаний системы и был доступен для всех, в том числе и для новых сотрудников. Для достижения этой цели нужно предоставить непрограммирующим носителям конструкторского и технологического опыта возможность сохранять его в системе. Такую возможность и обеспечивают методы искусственного интеллекта.

Проектирование технологических процессов (ТП) занимает центральное место в подготовке производства изделий. Технологические процессы содержат информацию о трудовых и материальных нормативах, без которых невозможно планирование и управление производственными ресурсами. В середине XX века наша страна занимала лидирующие позиции в области разработки методологии и методов автоматизации проектирования ТП. В эти годы были созданы концепции проектирования типовых и групповых технологических процессов, сформировано понятие конструкторско-технологических элементов детали (которые впоследствии получили на Западе наименование features), разработано множество различных САПР ТП.

Целью создания САПР ТП (технологических процессов) заключается в экономии труда технологов. Для достижения этой цели необходимо располагать средствами автоматизации оформления технической документации, средствами информационной поддержки проектирования и автоматизации принятия решений. В своем историческом развитии САПР ТП постепенно расширяли арсенал своих средств. На первом этапе эти системы часто представляли собой специализированные текстовые редакторы, некоторые из которых были документоориентированными. С появлением баз данных появилась возможность поддерживать процесс ручного формирования ТП в таких редакторах в части поиска необходимых средств технологического оснащения.

К числу *вспомогательных целей* автоматизации проектирования относятся: уменьшение трудоемкости разработки программных средств, адаптации их к условиям эксплуатации при внедрении, а также их сопровождения, то есть модификации, обусловленной необходимостью устранения выявленных ошибок и (или) изменения функциональных возможностей (рисунок 1).

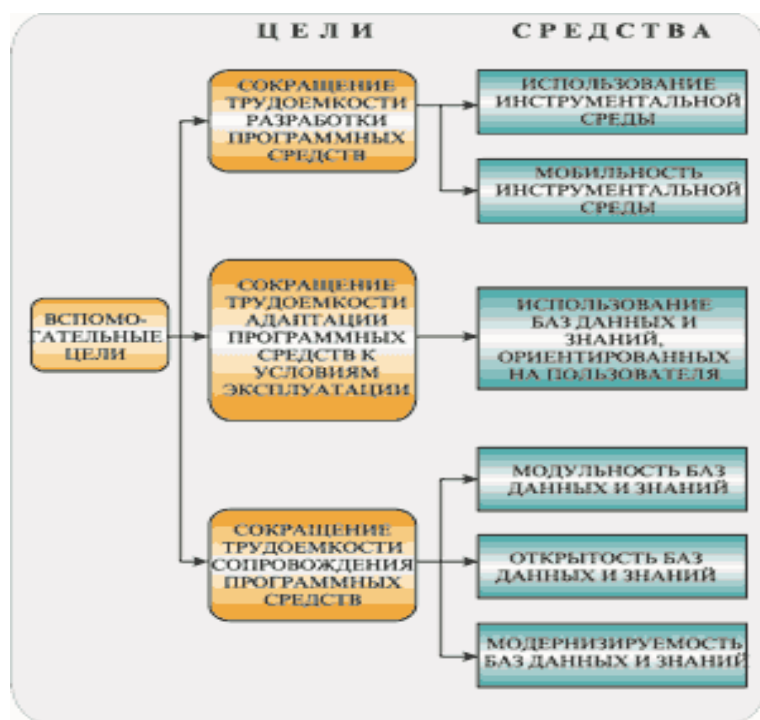


Рисунок 1. Вспомогательные цели автоматизации проектирования.

САПР как объект проектирования является сложной технической системой с такими свойствами:

- целенаправленность (создается для определенных конкретных целей);
- целостность (единая система связанных между собой элементов);
- членимость (или модульность);
- иерархичность (выделение элементов по составляющим системы);

- многоаспектность (расчет совокупности параметров во многих аспектах его природы);
- развиваемость.

Проектирование - целенаправленная последовательность действий по созданию описания объекта проектирования, достаточного для его изготовления и эксплуатации в заданных условиях. *Цель проектирования* - разрешение противоречий между условиями и рамками технического задания (оптимизация). *Качество проектирования* - совокупность свойств, обуславливающих достижение результата в условиях функционирования. *Качество функционирования САПР* - совокупность свойств, обуславливающих достижение требуемого результата в конкретных условиях функционирования. *Эффективность САПР* - отношение результатов к затратам на создание САПР.

1.2. История развития САПР.

История развития САПР неразрывно связана с историей развития ЭВМ, которая пережила 3 этапа:

I-й этап (до конца 70-х гг.) характеризуется проблемой обработки больших объемов данных в условиях ограниченных возможностей аппаратных средств - распространением ЭВМ серии IBM/360. Проблема этого этапа - отставание программного обеспечения от уровня развития аппаратных средств. В 70-х годах были получены отдельные результаты, показавшие, что область проектирования в принципе поддается компьютеризации. САПР впервые был внедрен в начале 1970-х годов крупными авиационными и автомобильными компаниями, оснастившими ими свои компьютеры. Задачей этих ранних, первых САД систем было ускорение самого производственного процесса.

II-й - этап (с начала 80-х гг.) - компьютер становится инструментом непрофессионального пользователя, а информационные системы - средством поддержки принятия его решений. В 80-х годах появились массовые системы и базовые программные продукты для них. Проблемы - максимальное удовлетворение потребностей пользователя и создание соответствующего интерфейса работы в компьютерной среде.

В 1981 году пользователи САД работали на графических терминалах, присоединенных к многокомнатным машинам IBM (американский прототип СЭВовских ЕС ЭВМ) и Control Data, или же мини-ЭВМ, таким как PDP/11 от Digital Equipment Corporation или Nova от Data General. Большую часть САД-систем продавали поставщики, предлагавшие одновременно аппаратное и программное обеспечение. Пятью крупнейшими той эпохи были Computervision, Applicon, Calma, Auto-Trol Technology и Intergraph. САД-системы стоили тогда очень дорого – более 90 тыс. долларов за рабочее место (по данным компании Dataquest).

Развитие программного обеспечения для проектирования шаблонов печатных плат и слоев микросхем сделало возможным появление схем высокой степени интеграции, ставших базой сегодняшних систем.

В 1981 году в США поступили в продажу первые персональные компьютеры (ПК) компании IBM, это началось с того, что 12 августа 1981 года на пресс-конференции в Нью-Йорке представители компании продемонстрировали компьютер для индивидуального пользования IBM PC. Для первых настольных систем требовались 20 Мбайт дисковой памяти, математический процессор, графическая карта и как можно больше (свыше 256 kb) оперативной памяти.

На протяжении 80-х годов инженеры освобождались от "больших машин". CAD-работа стала монопольной, переместившись на ПК, каждый из которых был оборудован своим собственным микропроцессором, жестким диском и видеокартой. Системы с единственным пользователем работали быстрее, чем многозадачные, да и стоили дешевле. Цена CAD-места за десятилетие снизилась более чем в 4 раза и стала ниже 20 тыс. долларов (по данным Dataquest).

Почти одновременно с началом эры ПК, примерно в 1983 году, CAD-рынок стал распадаться на специализированные сектора. Разработчики аппаратного и программного обеспечения работали уже на разные компании. Электрический и механический CAD разошлись в отдельные отрасли, да и производители персональных компьютеров разделились на два лагеря: одни предпочли архитектуру IBM PC на микропроцессорах Intel x86, другие сделали ставку на продукты Motorola, работавших под различными ОС, включая Unix от AT&T, ОС «Макинтош» от Apple и Domain OS от Apollo.

Приложения, ориентированные на 2D-графику, такие как AutoCAD от Autodesk и Microstation от Bentley, были разработаны для ПК. Производительность САПР на ПК была ограничена 16-битной адресацией /5/.

III-й этап (с начала 90-х гг.) - создание современной технологии межорганизационных связей и информационных систем. 90-е годы можно охарактеризовать, как период зрелости, когда были осознаны многие реальные задачи практики, исправлены некоторые из допущенных ошибок, и CAD-системы реально стали демонстрировать свою эффективность в высокотехнологичных производствах.

В настоящее время в мире разработано большое количество CAD/CAM/CAE-программных продуктов. Конкурентная борьба компаний-разработчиков программного обеспечения приводит к стремлению быстрее других разработать и поставить на рынок систему, снизить стоимость наряду с упрощением работы с программой и повысить качество продукта.

1.3. Основные концепции развития систем в XXI веке:

- *Разработка интеллектуальных систем*, использующих базы знаний, позволяют оказывать инженеру существенную помощь в принятии решений.
- *Разработка интегрированных систем* позволит реализовать совмещенное проектирование. Для его реализации необходимо использование единой концептуальной конструкторско-технологической модели данных.
- *Разработка индивидуальных систем*. Эта концепция направлена на минимизацию экономического показателя: отношения стоимости программно-технических средств к эффективности системы. Для достижения оптимума каждое рабочее место, имеющее определенное функциональное назначение, должно быть оснащено техническими средствами, обладающими производительностью, необходимой для этого назначения, а также необходимыми и достаточными программными средствами. Это означает, что персональные компьютеры должны иметь и персональные компьютерные средства.

1.4. Виды обеспечения САПР

САПР включают следующие виды обеспечения:

- технические (устройства передачи данных, сети, измерительные и другие устройства);
- математические (методы, модели и алгоритмы);
- программные (наличие программных пакетов, документы с текстами программ, программы на машинных носителях);
- информационные (документы, содержащие описание стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, материалов);
- методологические (документы, в которых отражены состав, правила отбора и эксплуатации средств автоматизации проектирования);
- лингвистические (языки проектирования, терминология);
- организационные (положения, инструкции, приказы, штатные расписания и другие документы, регламентирующие оргструктуру подразделений и их взаимодействие с комплексом САПР).

Лекция 2.

Место САПР в интегрированной информационной системе

План занятий:

2.1. Понятие «технология».

2.2. Понятие «информационные технологии», информационная система.

2.3. Понятие «изделие».

2.4. Жизненный цикл изделия.

2.5. Концепция CALS/PLM и CALS-технологии.

2.6. Международные стандарты управления.

2.7. Интегрированная информационная система организации.

2.1. Понятие «технология»

Технология при переводе с греческого (techne) означает искусство, мастерство, умение, а это не что иное, как процессы. Под *процессом* следует понимать определенную совокупность действий, направленных на достижение поставленной цели. Процесс должен определяться выбранной человеком стратегией и реализоваться с помощью совокупности различных средств и методов.

Под *технологией материального производства* понимают процесс, определяемый совокупностью средств и методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья или материала. Технология изменяет качество или первоначальное состояние материи в целях получения материального продукта.

Есть и другая трактовка этого понятия. *Технология* — это совокупность управленческих, научно-исследовательских, опытно-конструкторских и инженеринговых процессов, включающая также «человеческий потенциал», «являющаяся фундаментом продуктивной деятельности общества». Она содержит набор отраслевых технологий, таких как промышленные (в том числе машиностроительные), транспортные, аграрные, банковские, ресурсо-образующие, биологические, предпринимательские, коммуникационные, оборонные, а сегодня также и гуманитарные (социальные, политические), информационные.

Технологии, отвечающие этому определению, относят к отраслевым технологиям. Отраслевые машиностроительные технологии направлены на создание материальных объектов, характеризующихся, как известно, высокой наукоемкостью с длительным жизненным циклом.

Цель технологии материального производства - выпуск продукции, удовлетворяющей потребности человека или системы. Поэтому принципиально новым и чрезвычайно важным моментом является распространение функций машиностроительных технологий на проектирование (моделирование) и реализацию полного жизненного цикла изделия (ЖЦИ), включающего не только материальный (изготовление), но и нематериальный этап (замысел, проект, план), а также последующие этапы (потребление и утилизация).

2.2. Понятие «Информационные технологии»

Информация является одним из ценнейших ресурсов общества наряду с такими традиционными материальными видами ресурсов, как нефть, газ, полезные ископаемые и другое, а зна-

чит, процесс ее переработки по аналогии с процессами переработки материальных ресурсов можно воспринимать как технологию. Тогда справедливо следующее определение.



Рисунок 2. Информационная технология как аналог технологии переработки материальных ресурсов.

Информационная технология - процесс, использующий совокупность средств и методов сбора, обработки и передачи данных (первичной информации) для получения информации нового качества о состоянии объекта, процесса или явления (информационного продукта).

Цель информационной технологии - производство информации для ее анализа человеком и принятия на его основе решения по выполнению какого-либо действия.

Информационная система – это совокупность средств создания информационной инфраструктуры (инфокоммуникаций), системного программного обеспечения, прикладного программного обеспечения». Основная цель информационной системы - организация хранения и передачи информации.

2.3. Понятие "изделие"

Рекомендации по стандартизации Р50.1-2000 (терминологический словарь) /1/ определяет изделие конечное, как заключительная комбинация материалов, предметов, программных и иных компонентов, готовая к использованию по назначению. Например, станок, электропоезд, автомобиль, судно, танк, самолет и т.д.

Международный стандарт STEP определяет изделие как «вещь или сущность, произведенную естественными или искусственными процессами». Это не совсем так. Для этого введем некоторые понятия:

- первоначальный этап жизненного цикла изделия связан с понятием *концепция изделия*, которое является идеей об изделии и отражает потребности заказчика. Представление об изделии "как требуется" определено потребностями задания, поставившего вопрос о создании изделия, и наделено требуемыми функциональными возможностями (*требованиями к изделию*: например ожидаемыми свойствами, возможностями, эффективностью и прочим);

- процесс проектирования, основанный на требуемых функциональных возможностях, в свою очередь определяет физически реализуемые объекты или представление об изделии "как

разработано". В данном случае мы рассматриваем понятие *проект изделия*. Набор связанных между собой проектов затем используется для производства большого количества физических изделий (*образцов изделия*);

- конфигурация каждого из этих *образцов изделия* на основе идентификации частей или компонентов (например, идентификация с помощью серийного номера или номера партии) определяет представление об изделии "как построено";

- весь последующий этап жизненного цикла каждый *образец изделия* поддерживается, ремонтируется, части или компоненты заменяются новыми в результате изменений конфигурации или сбоев. Вся информация, относящаяся к этим действиям, определяет представление об изделии "как поддерживается".

В итоге, мы получаем, что в самом широком смысле, изделие состоит из суммы составляющих:

концепция изделия + требования к изделию + проект изделия + образец изделия.

2.4. Жизненный цикл изделия

Жизненный цикл изделия (продукта), как его определяет стандарт ISO 9004:2000 - это совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до удовлетворения этих потребностей и утилизации продукта.

В общем случае жизненный цикл изделия может включать следующие этапы:

- проведение маркетинга;
- постановка задачи, планирование;
- концептуальное проектирование, анализ изделия;
- разработка рабочей конструкторской документации;
- конструкторско-технологическая подготовка производства;
- заказ и закупки материалов и комплектующих для изготовления изделия;
- производство изделия;
- испытания и контроль качества;
- упаковка и отгрузка;
- поставка и распространение;
- обслуживание и эксплуатация;
- утилизация и переработка.

В каждом конкретном случае строится своя модель жизненного цикла изделия.

2.5. Концепция CALS/PLM и CALS-технологии.

Впервые работы по созданию интегрированных систем, поддерживающих жизненный цикл продукции, были начаты в 80-х годах в оборонном комплексе США. Новая концепция была востребована жизнью как инструмент совершенствования управления материально-техническим обеспечением армии США. Предполагалось, что реализации новой концепции, получившей обозначение CALS (Computer Aided Logistic Support - компьютерная поддержка процесса поставок), позволит сократить затраты на организацию информационного взаимодействия государственных учреждений с частными фирмами в процессах формализации требований, заказа, поставок и эксплуатации военной техники (ВТ). Позже концепция CALS приобрела более глобальный характер.

В развитых странах координация деятельности в области внедрения CALS-технологий осуществляется рядом национальных и региональных органов (например, Американским управляющим промышленным комитетом в области CALS (US ISG), Промышленным советом Объединенного Королевства в области CALS (UK CIC), Европейской промышленной группой в области CALS, Промышленным форумом по CALS в Японии).

В нашей стране работы по внедрению CALS-технологий проводятся медленно, без должной координации. При этом следует подчеркнуть, что они основываются на накопленном многолетнем опыте в области автоматизации, прежде всего в оборонном комплексе, а также наукоемкой продукции народнохозяйственного назначения, поддерживаемой мощной нормативной базой отечественных систем стандартов ЕСПД, СРПП, ЕСКД, ЕСТД и т.д.

CALS (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support): концепция и идеология информационной поддержки жизненного цикла продукции на всех его стадиях, основанная на использовании единого информационного пространства (интегрированной информационной среды), обеспечивающая единообразные способы информационного взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков продукции (включая государственные учреждения и ведомства), поставщиков (производителей) продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала, реализованная в форме международных стандартов, регламентирующих правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными.

CALS-технологии: информационные технологии описания изделий, производственной среды и процессов, протекающих в этой среде. Данные, порождаемые и преобразуемые этими информационными технологиями, представляются в виде, оговоренном CALS-стандартами, и служат для обмена или совместного использования различными участниками жизненного цикла продукции.

CALS-стандарты: набор стандартов, описывающих правила электронного представления данных об изделиях.

Ключевая идея CALS – совместная обработка данных о продукте на всех этапах его жизненного цикла.

Основная цель CALS – снижение себестоимости, временных затрат и повышение качества за счет интеграции информации и автоматизации процессов. В последнее время все чаще вместо термина CALS применяется термин PLM (Product Life-cycle Management) — «управление жизненным циклом изделия»), учитывающим процессы, исполнителей, этапность производства и открытым для интеграции данных из других систем и других предприятий.

Основными стандартом CALS является ГОСТ Р ИСО 10303 серия стандартов: Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. *STEP* – общее наименование серии стандартов ИСО 10303 на обмен данными об изделии (от Standard for Exchange of Product Model Data).

Согласно STEP (ИСО 10303) предъявляются следующие требования к стандарту представления данных:

- поддержка множества прикладных областей;
- наличие методологии расширения стандарта;
- наличие методологии тестирования приложений на соответствие стандарту;
- регламентация способов представления данных;
- регламентация способов доступа к данным.

2.6. Международные стандарты управления в автоматизированных системах.

Разработаны и общепризнанны международные стандарты управления, в соответствии с которыми строится интегрированная информационная система организации (рисунок 3):

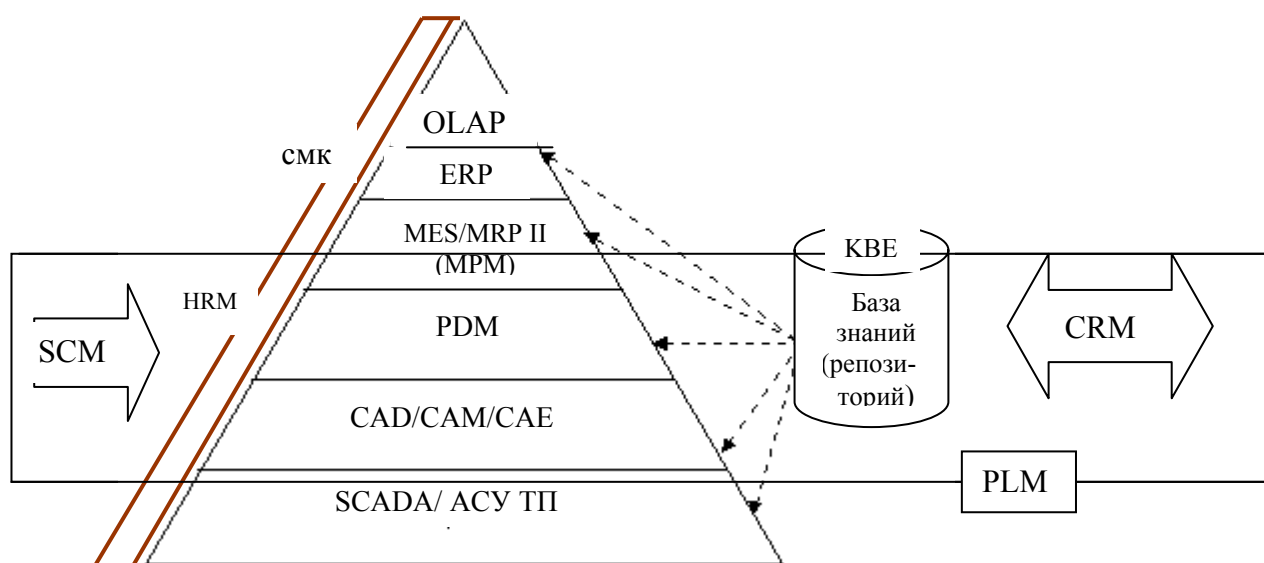


Рисунок 3. Международные стандарты управления.

SCADA (Supervisor Control And Data Acquisition) – системы сбора и контроля данных технологического оборудования;

CAD/CAM/CAE (Computer Aided Design, Computer Aided Manufacturing, Computer Aided Engineering) – автоматизированные системы конструкторского и технологического проектирования, инженерных расчетов;

PDM (Product Data Management) - программные средства управления данными об изделии (изделиях);

MES (Manufacturing Execution System) – системы диспетчирования производства;

MRP (Material Requirements Planning) – система планирования потребности в ресурсах. Позволяет управлять движением материальных ресурсов на производстве (появился в 70-х годах);

MRP-II (Manufacturing Resource Planning) – система планирования производственных ресурсов. К стандарту MRP добавлены элементы производственного планирования, обратной связи и моделирования бизнес-процессов (80-е годы). В этот стандарт входят MPM-системы (Manufacturing Process Management) – системы управления процессами производства, включающие планирование и моделирование процесса производства с использованием обрабатывающих центров с ЧПУ, роботов и т.п.;

ERP (Enterprise Resource Planning) - планирование ресурсов предприятия. К системе класса MRP-II добавлены модули финансового планирования, системы управления проектами, системы менеджмента качества (90-е годы);

(Knowledge Base Engineering) - программные средства управления базами знаний;

OLAP (On-Line Analytical Processing) – оперативный анализ данных и системы принятия решений и другие.

CRM (Customer Relationship Management) – системы управления взаимоотношениями с клиентами, включающие в себя продукты, начиная от центров обработки вызовов до систем формирования индивидуальных заказов;

SCM (Supply Chain Management) - системы управления цепочками поставщиков;

CMK – система менеджмента качества. (Quality Management System);

HRM – (Human Ressource Management) управление человеческими ресурсами.

Если MRP, MRP-II, ERP-системы ориентированы на внутреннюю организацию предприятия, то CRM и SCM-системы "выходят за пределы" отдельного предприятия и включают полный цикл - от проектирования будущего изделия с учетом требований заказчика до гарантийного и сервисного обслуживания после продажи.

На каждом этапе построения интегрированной системы предприятия создаются модели и собираются данные об изделиях, процессах, которые объединяются в базу знаний и хранятся в так называемых репозиториях.

2.7. Интегрированная информационная система организации.

В интегрированной информационной системе (ИИС) информация создается, преобразуется, хранится и передается от одного участника жизненного цикла к другому при помощи программных средств, объединенных в блок «Инструментарий». В ИИС осуществляется систематическое и организованное накопление и использование знаний. При помощи специального «инструментария» выявляется, структурируется и накапливается информация, содержащая знания, которые уже используются или могут быть использованы в деятельности организации. В зависимости от прав доступа в ИИС происходит распределение информации среди персонала из единой базы знаний КВЕ (Knowledge Base Engineering), менеджеры по направлениям проводят оперативный анализ данных, результаты анализа высшее руководство организации использует для принятия решений.

Возросшие потребности интенсификации труда проектировщиков были поддержаны стремительным развитием информационных технологий. Наряду с развитием программно-аппаратных средств увеличилось количество методологических исследований в области автоматизации проектирования. В этот же период развиваются концепции интегрированных систем управления производством, систем управления проектными данными и САПР становится не отдельно функционирующей системой, а частью интегрированной информационной системы предприятия.

Получил развитие процесс гармонизации отечественной нормативно-технической базы с европейскими и международными нормами. Электронные форматы представления проектных данных стали нормой отечественных САПР (IGES, STEP, AP203/214, VDA-FS, SET, DXF). Появилась возможность эффективной взаимосвязи автоматизированных систем научных исследований (АСНИ), автоматизированных систем управления производством (АСУ), автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП) и др. Сравнение задач отечественных и зарубежных систем автоматизированного проектирования выявило следующие соответствия (таблица 1):

Таблица 1

Российские стандарты управления	Международные стандарты управления
– САПР или САПР-К (конструктора)	CAD – Computer Aided Design;
– АСТПП или САПР-Т (технолога)	CAM – Computer Aided Manufacturing;
– АСНИ	CAE – Computer Aided Engineering;
– АСУ ТП	SCADA (Supervisor Control And Data Acquisition)
– АСУ	PDM – Produkt Data Management;
– АСУП	MRP, MRP-II (Manufacturing Resource Planning)
–	ERP – Enterprise Resources Planning
ИПИ - Информационная поддержка жизненного цикла изделия (ИПИ-технологии)	CALS- Continuous Acquisition and Life-Cycle Support

Программные продукты CAD/CAM/CAE/PDM. Эта аббревиатура практически вытеснила аббревиатуру САПР. Буквальный перевод аббревиатуры выглядит соответственно: «проектирование с помощью компьютера», «производство с помощью компьютера», «инжиниринг с помощью компьютера», «управление данными изделия».

Лекция 3

Основные этапы разработки и изготовления изделия: научные исследования, конструирование, технологическая подготовка производства.

План занятий:

3.1. Основные этапы разработки и изготовления изделия.

3.2. Последовательность разработки и изготовления изделий с применением САПР.

3.1. Основные этапы разработки изделия

Качество любого изделия определяется сочетанием его технических, эксплуатационных и художественно-эстетических характеристик, которые в свою очередь зависят от конструкторско-технологических параметров и производственных факторов. Качество изделия, наряду с условиями эксплуатации, предопределяют протяженность его «времени жизни», т. е. периода от изготовления до выхода из строя. Протяженность жизненного цикла изделия определяется четырьмя основными этапами: проектированием изделия, подготовкой производства, изготовлением и эксплуатацией /2/. На первых трех этапах формируется потенциальный уровень протяженности жизненного цикла. Все этапы этого периода взаимосвязаны и находятся в единой системе.

Этап проектирования начинается с выработки концепции нового изделия, которая уточняется, анализируется и после проектной проработки материализуется в виде конструкторской документации. Для организации производства разрабатывается технология изготовления изделия, осуществляется материальное и календарное планирование программы его выпуска. Этап производства заканчивается контролем качества продукции. Затем изделие проходит промышленные испытания и попадает на рынок сбыта.

При создании новых объектов выделяют следующие этапы:

- *этап научно-исследовательских работ (НИР),*
- *этап опытно-конструкторских работ (ОКР),*
- *этап рабочего проектирования /4/.*

Непосредственно к процессам создания новых товаров относятся прикладные научно-исследовательские работы (НИР). Фундаментальные и поисковые НИР обычно не входят в комплекс работ по созданию и освоению новых товаров. Порядок проведения научно-исследовательских работ (НИР) прикладного характера регламентируется ГОСТ 15.101.-80.

Основные этапы НИР:

- 1) разработка технического задания (ТЗ) НИР;
- 2) выбор направления исследования;
- 3) теоретические и экспериментальные исследования;
- 4) обобщение и оценка результатов исследований.

Опытно-конструкторские работы (ОКР).

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). ОКР — важнейшее звено материализации результатов предыдущих НИР. На основе полученных результатов исследований создаются и отрабатываются новые товары.

Основные этапы ОКР (ГОСТ 15.001-73):

- 1) разработка ТЗ на ОКР;
- 2) техническое предложение;
- 3) эскизное проектирование;
- 4) техническое проектирование;
- 5) разработка рабочей документации для изготовления и испытаний опытного образца;
- 6) предварительные испытания опытного образца;
- 7) государственные (ведомственные) испытания опытного образца;
- 8) отработка документации по результатам испытаний.

Этап рабочего проектирования:

- 1) доработка рабочей документации для изготовления и испытаний установочной партии изделий;
- 2) испытания и сертификация изделия из установочной партии.
- 3) доработка документации для серийного производства.

Оценка эффективности НИР и ОКР

Вероятностный характер результатов НИОКР усложняет оценку экономической эффективности и ведет к поэтапному их определению с нарастающей степенью точности. На ранних стадиях выполнения проектных работ расчеты носят прогнозный характер и включают: технико-экономический анализ ожидаемых результатов; выбор базы для сравнения и приведения вариантов к сопоставимому виду; расчет предпроизводственных и капитальных затрат в сфере производства и эксплуатации; расчет и анализ показателей экономической эффективности. При постановке изделий на производство рассчитывается годовой экономический эффект и экономическая эффективность при эксплуатации новых изделий. Методы расчета годового экономического эффекта зависят от того, различается ли в сравниваемых вариантах годовая производительность изделий. При экономической оценке нового изделия рассчитываются также срок окупаемости дополнительных капиталовложений и рентабельность инвестиций.

Новым содержанием наполнилось понятие «моделирование». Его предпочитают широко использовать как эквивалент понятия «проектирование».

При проектировании изделия осуществляются следующие взаимосвязанные процессы:

Моделирование /1/- неформальная процедура, в значительной степени определяемая опытом, интуицией и талантом проектировщика; следует рассматривать как метод мышления, как средство формулирования понятий целей и возможностей; звено при переходе от содержательного к формальному описанию процесса функционирования проектируемой системы с учетом воздействия окружающей среды. Моделирование всегда было основой интеллектуальной деятельности общества. Все мы мыслим пространственными образами, но до недавнего времени, проектируя новые изделия, вынуждены были трансформировать эти мысленные образы в «плоские» двухмерные чертежные изображения, обедняя и искажая их природу. Компьютерная графика при помощи объемного моделирования открывает перед конструктором неограниченные возможности воспроизведения в виртуальном пространстве всего многообразия окружающего мира и позволяет встраивать в него виртуальные модели своих мысленных образов будущих конструкций, манипулируя ими как реальными материальными объектами.

Чертежно-графические работы (эскизное и техническое моделирование и рисование) –

творческий процесс, который выполняется конструктором при создании графического облика изделия.

Конструирование – включает в себя конструкторско-технологическую проработку схемного решения, полученного в результате процесса создания облика изделия, которое можно изготовить.

Отработка на технологичность – часть работ, направленная на обеспечение заданного уровня технологичности и выполняемая на всех стадиях разработки изделия. Различают *производственную технологичность* – технологичность конструкции изделия, характеризующая его приспособленность к сокращению затрат ресурсов и времени на техническую подготовку производства и процессы изготовления в условиях конкретной производственной среды; *эксплуатационную технологичность* – технологичность конструкции изделия, характеризующая его приспособленность к сокращению затрат, ресурсов и времени в эксплуатации, на техническое обслуживание, текущий ремонт, диагностирование и утилизацию; *ремонтная технологичность* – технологичность конструкции изделия, характеризующая его приспособленность к сокращению затрат ресурсов и времени на все виды ремонта (кроме текущего).

Технологичность конструкции изделия [1] – это совокупность свойств изделия, определяющих оптимальные затраты ресурсов при его производстве и эксплуатации для исходно заданных показателей качества, объемов выпуска и условий выполнения работ. Качество изделия характеризуется кроме технологичности конструкции его функциональностью, надежностью, эргономичностью, эстетичностью, экономичностью, безопасностью, экологичностью.

Технологическая подготовка производства и изготовление изделия.

После получения положительных результатов испытания опытного образца дорабатывается конструкторская документация, по которой осуществляется запуск изделия в производство. Подготовка производства, как этап жизненного цикла, является критической стадией между проектированием и производством. Высокая длительность подготовки производства ведет к увеличению сроков запуска в производство новых изделий. Ошибки и изменения на данном этапе сильно отражаются на себестоимости и сроках выпуска изделий. Важно произвести изделие правильно с первого раза, создать типовые шаблоны производственных процессов и типовые технологические процессы для последующего повторного использования.

3.2. Последовательность разработки и изготовления изделий с применением САПР.

Традиционно сложилось так, что при проектировании 25-30% времени инженера-проектировщика уходит на процедуры обычного манипулирования информацией, ее поиск,

извлечение, ожидание копий чертежей, архивирование новых данных и т. д. По различным оценкам, большинство инженеров-проектировщиков тратят только 20% своего рабочего времени на непосредственное проектирование изделий. В то же время, примерно до 35% их рабочего времени расходуется на поиск и верификацию данных, относящихся к разрабатываемому проекту и его версиям, а также выполнение различных вычислений и чертежей.

Интегрированная информационная система предприятия обеспечит накопление знаний и опыта, информационную поддержку для принятия ключевых проектных решений. Основой интегрированной информационной системы является сквозная САПР, которая охватывает конструкторов, технологов, дизайнеров, инженеров-расчетчиков, а также управление полным жизненным циклом изделия, что повысит эффективность разработки и производства новых изделий.

Решение задач по выполнению проектов должно включать такие виды работ, как:

- разработка формализованного технического задания (ФТЗ);
- уточнение цели создания проекта и ожидаемого эффекта;
- определение и формирование видов работ, необходимых для выполнения конкретного проекта в целом;
- формирование групп исполнителей, действующих в соответствии с ФТЗ;
- непосредственная оценка характеристик рассматриваемых вариантов проекта;
- подготовка целостной информации для принятия решений;
- контроль выполнения проекта на различных уровнях детализации, обеспечивающий согласованность деятельности всех групп исполнителей по результатам и срокам их получения как при работе с основным изделием, так и технологической оснастки для его изготовления.

Сквозная САПР подразумевает параллельную разработку и взаимодействие всех участников работы над новым изделием, включая современные методы проектирования: /6/.

Разработка идеи или концепции. Результат работы - тезисное изложение требований, предъявляемых к будущему изделию, результаты маркетинговых исследований, определение положения изделия в линейке существующих, данные об изделиях других производителей, с которыми приходится конкурировать.

- *Глобальная проработка дизайна и конструкции.* На этом этапе работают промышленный дизайнер, конструктор, менеджер. Результат работы - поисковые эскизы, эскизы конструкции. Продумывается и комплектация будущего изделия стандартными деталями.
- *Разработка детального проекта.* Работают дизайнер, инженер-расчетчик, конструктор изделия. Результат - компьютерная 3D-модель будущего изделия, комплект конструкторской документации (КД).

- *Проектирование оснастки и выпуск конструкторской документации.* Работают конструктор оснастки, технолог. Результат - полная КД на оснастку и технология изготовления.
- *Изготовление оснастки.* Работает целое производство со всеми мастерами, рабочими и технологами, в том числе и специалисты по написанию программ для станков с ЧПУ. Результат - оснастка, соответствующая КД.
- *Производство изделия.* Работают специалисты по литью пластмасс, технологи, сборщики и пр.

Основные требования и порядок разработки конструкторской документации изложены в Единой системе конструкторской документации (ЕСКД), основные требования и порядок разработки технологической документации изложены в Единой системе технологической документации (ЕСТД).

Лекция 4

Нормативная база. Основные определения в области проектирования и подготовки производства.

План занятий:

- 4.1. *Международная система стандартизации*
- 4.2. *Национальные системы стандартизации.*
- 4.3. *Российская национальная система стандартизации.*
- 4.4. *Основные определения в области проектирования в стандартах CALS.*

4.1. Международная система стандартизации

Международная стандартизация подразумевает под собой деятельность международных организаций по стандартизации, результатом которой является разработка и публикация международных стандартов, руководств, рекомендаций, технических отчетов и другой научно-технической продукции. На сегодняшний момент существуют три таких организации: Международная организация по стандартизации - ИСО (ISO), Международная электротехническая комиссия - МЭК (IEC), Международный союз электросвязи - МСЭ (ITU). Именно эти организации признаны всеми странами и имеют полномочия издавать международные стандарты, называемые также стандартами де-юре или формальными стандартами. Таким образом, формальными стандартами являются международные стандарты ISO, IEC и рекомендации ITU. Сферы интересов этих организаций тесно переплетаются посредством организационных и технических деталей, что в значительной степени способствует целостности и гармонизации разрабатываемых ими стандартов. Благодаря тому, что стандарты де-юре разрабатываются и

сопровождаются на хорошо регламентированной систематической базе, их совокупность можно считать системой международных стандартов.

I. Официальные международные организации по стандартизации:

ISO - International Organization for Standardization- Международная организация по стандартизации; *IEC* - International Electrotechnical Commission. Стандарты МЭК. Международная электротехническая комиссия; *ITU* - International Telecommunication Union- Международный союз электросвязи; *ICC* - International Code Council (Международный Совет по нормам и правилам).

II. Региональные организации стандартизации:

CEN (European Committee for Standardization) Европейский комитет по стандартизации.

Стандарты CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) Европейский комитет по стандартизации в электротехнике.

ETSI (European Telecommunications Standard Institute) Европейский институт по стандартизации в области телекоммуникаций.

EASC (EuroAsian Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification) Евразийский международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.

4.2. Национальные системы стандартизации.

ANSI (American National Standards Institute) - Американский Институт Национальных Стандартов обслуживает как администратор и координатор частного сектора Соединенных Штатов произвольную систему стандартизации в течение 80 лет. ANSI не разрабатывает самостоятельно Американские Национальные стандарты (ANS), он только способствует их разработке путем согласования между квалифицированными группами. ANSI – одна из нескольких организаций стандартов, работающих в области обмена данными об изделии.

MIL - Военные стандарты, утверждаемые Министерством обороны США.

AFNOR (Association Francaise de Normalisation) - Французская ассоциация стандартизации.

BSI (British Standards Institute) - Британский институт стандартов.

DIN (Deutsches Institute fur Normung e.v.) Германский институт национальных стандартов.

JSA (Japanese Industrial Standards Committee) Японская ассоциация стандартов.

4.3. Российская национальная система стандартизации.

Основные требования и порядок работ многих направлений определены государственными стандартами. Так ГОСТ 1.XXX ..- Государственная система стандартизации.

В России основные требования и порядок разработки конструкторской документации изложены в Единой системе конструкторской документации - ЕСКД - ГОСТ 2.XXX...

Основные требования и порядок разработки технологической документации изложены в единой системе технологической документации - ЕСТД – ГОСТ 3.XXX... Однако, технология проектирования и разработки изделий в последнее время значительно изменилась, что потребовало изменения, отмены и актуализации многих ГОСТов.

В условиях рыночной экономики и при стремлении России к широкой интеграции в международное сообщество остро встает вопрос о нормативном обеспечении такой интеллектуальной продукции, как техническая (конструкторская, технологическая и т.п.) документация, которая в новых условиях хозяйствования становится ценным объектом купли-продажи.

В нашей стране требования, правила, нормы выполнения и применения КД на продукцию установлены в стандартах и других нормативных документах Единой системы конструкторской документации (ЕСКД). Этот комплекс межгосударственных стандартов, действующий в Российской Федерации и странах-членах СНГ, распространяется, как известно, на все виды изделий и конструкторских документов как гражданского, так и военного назначения на нормативную, учетно-регистрационную, технологическую, программную и другие виды документации, а также на научно-техническую и учебную литературу.

В Федеральном законе "О техническом регулировании" (далее - ФЗ) провозглашен принцип добровольности применения стандартов, в том же ФЗ установлены принципы технического регулирования, основным из которых является принцип применения единых правил установления требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации. В связи с этим, стандарты ЕСКД следует считать прямым предметом технического регулирования, так как они обеспечивают техническую и информационную совместимость и взаимозаменяемость продукции, установление нормативных требований к безопасности продукции, которые отражаются в конструкторской документации (проектной и рабочей), например, в стадийности разработки, комплектности, требованиях к чертежам, схемам, текстовым документам, техническим условиям, эксплуатационным и ремонтным документам (руководствам по эксплуатации, формулярам, паспортам и т.д.).

Только применение стандартов ЕСКД в полном объеме делает возможным высококачественную разработку, изготовление, контроль, приемку, поставку, хранение, транспортирование, эксплуатацию, ремонт и утилизацию изделий машиностроения и приборостроения на всей территории Российской Федерации и в странах СНГ, так как в этих стандартах содержатся необходимые правила, требования и нормы, обеспечивающие весь жизненный цикл изделия.

Исходя из сказанного, логически напрашивается вывод, что невыполнение требований стандартов ЕСКД может привести к рассогласованию стадий и этапов жизненного цикла изде-

лия, к несопоставимости информации в различных видах документов, и в итоге - к непредсказуемым последствиям.

В настоящее время комплекс ЕСКД состоит из 161 стандарта, 6 рекомендаций и Классификатора ЕСКД. Стандарты разделены по группам следующим образом:

- группа 1 "Основные положения" – 17 стандартов;
- группа 2 "Классификация и обозначение изделий и конструкторских документов" – 1 стандарт и 4 классификатора;
- группа 3 "Общие правила выполнения чертежей" – 20 стандартов;
- группа 4 "Правила выполнения чертежей различных изделий" – 28 стандартов;
- группа 5 "Правила изменения и обращения конструкторской документации" – 5 стандартов;
- группа 6 "Правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации" – 8 стандартов;
- группа 7 "Правила выполнения схем" – 66 стандартов, из которых 10 распространяются на общие требования и правила выполнения схем, 56 – на условные графические изображения (УГО) в схемах;
- группа 8 "Правила выполнения документов при макетном проектировании" – 4 стандарта;
- группа 9 "Прочие стандарты" – 8 стандартов.

Базовый (основополагающий) комплекс ЕСКД образуют 22 стандарта (см. приложение А). Среди них обращают на себя внимание ГОСТ 2.111-68, устанавливающий правила и требования нормативного контроля КД на всех стадиях и этапах ее выполнения для обеспечения высокого качества документации, ГОСТ 2.104-68, в котором установлено, что в конструкторских документах обязательными являются подписи разработчика и нормоконтролера. Подпись последнего во многом аналогична подписи технического контроля на выпускаемую продукцию (изделия), так как свидетельствует о соответствии КД всем нормативным требованиям. Особое место в ЕСКД занимает классификационная система обозначения изделий и конструкторских документов, установленная ГОСТ 2.201-80 и Классификатором изделий и конструкторских документов машиностроения и приборостроения (Классификатор ЕСКД, регистрационный номер ОК 012-93). Эта система устанавливает единые принципы, структуру и содержание обозначения изделий и конструкторских документов основного и вспомогательного производства всех видов изделий (деталей, сборочных единиц, комплексов и комплектов) всех отраслей техники гражданского и военного назначения на всех стадиях и этапах жизненного цикла. В связи с этим обеспечивается однозначность информации об изделии, сопоставимость этой информации, что

дает возможность эффективного решения ряда задач научно-технического и практического характера.

Последние годы в связи с бурным развитием компьютерной техники во все сферы деятельности вторгаются современные информационные технологии, электронный взаимообмен информацией и документацией, так называемые CALS (ИПИ)-технологии. Не мог этот процесс не коснуться и конструкторской документации.

В отечественной практике все больше стало появляться конструкторских документов в электронном представлении. Электронная форма представления документации фактически стала обязательной для отечественного и международного рынков, непременным условием стабильной конкурентоспособности продукции.

В настоящее время эти работы выполняет ВНИИНМАШ совместно с заинтересованными организациями. Для реализации изменений, пересмотра базовых стандартов ЕСКД, разработки новых стандартов в составе ТК 51 "Система конструкторской документации" функционирует рабочая группа, включающая авторов стандартов ЕСКД (ВНИИНМАШ), ряда стандартов в области ИПИ-технологий (НИЦ CALS-технологий "Прикладная логистика") и специалистов промышленности.

Проводимые работы открывают пути для применения ИПИ-технологий на всех стадиях жизненного цикла изделий. На базе единой методологии будет происходить формирование и применение конструкторских баз данных для разработки различных видов КД. Принята единая методология одновременного использования обеих форм КД – на бумажных и электронных носителях. (ГОСТ 2.051 - электронный документ, ГОСТ 2.052 - электронная модель изделия, электронная модель сборочной единицы, электронный макет). В обновленных документах использованы правила и требования международных стандартов (ИСО, МЭК) в области CALS (ИПИ)- и других информационных технологий, единая терминология в области КД.

4.4. Основные определения в области проектирования в стандартах CALS.

Госстандартом России на основе международного стандарта ИСО 10303 разработаны «Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции». Терминологический словарь, часть 1 – стадии жизненного цикла (Р50.1.031.2001) дает следующие определения:

- *документ электронный*: информационный объект, состоящий из двух частей:
- реквизитной, содержащей идентифицирующие атрибуты (имя, время и место создания, данные об авторе и т.д.) и электронную цифровую подпись;

- содержательной, включающей текстовую, числовую и/или графическую информацию, которая обрабатывается в качестве единого целого. При необходимости документ электронный может приобретать различные формы визуального отображения: на экране

или на бумаге (см. ГОСТ Р 51141);

- *конструкторские данные об изделии*: совокупность информационных объектов (ИО), порожденных в процессе проектирования и разработки изделия, содержащая сведения о составе изделия, о геометрических моделях изделия, его компонентов и их технических характеристиках, об их отношениях в структуре изделия, о результатах расчетов и моделирования, о допусках на изготовление деталей и т.д. ;

- *технологические данные об изделии*: совокупность ИО, порождаемых на стадии технологической подготовки производства и ассоциированных с ИО, описывающими изделие и его компоненты. Содержит сведения о способах изготовления и контроля изделия и его компонентов в процессе производства (в том числе входного контроля покупных изделий и материалов). Включает описание маршрутных и операционных технологий, нормы времени и расхода материалов, управляющие программы для станков с ЧПУ, а также данные для проектирования приспособлений и специального режущего и мерительного инструмента и т.д.;

- *полномасштабное проектирование*: реализация согласованной детальной программы проектирования, включающей создание моделей или опытных образцов, проведение необходимых испытаний, целью которых является постановка изделия на производство и ввод его в эксплуатацию с выпуском всей необходимой документации и обеспечением информационной поддержки ЖЦИ;

- *структура изделия*: описание отношений между компонентами изделия, обычно представляемое в виде древовидного или сетевого графа, вершинами которого являются компоненты, а отношениями – ребра, соединяющие вершины. Различают два вида структур:

- функциональную структуру, формально описывающую энергетические и информационные связи между компонентами изделия (обычное представление – блок-схема);

- физическую структуру, отображающую геометрические, кинематические, электрические и иные связи (отношения) между компонентами изделия;

- *конфигурация*: термин, объединяющий понятия структуры и состава изделия и предполагающий, что конкретные компоненты в составе обладают определенными значениями описывающих их атрибутов;

- *базовая конфигурация*: конфигурация изделия, утвержденная в установленном порядке в качестве основной (эталонной). Обычно это хронологически первая утвержденная конфигурация. В процессе ЖЦИ базовая конфигурация может изменяться;

- *конструкторская подготовка производства (ПП)*: совокупность процессов и процедур, имеющая целью создание комплекта конструкторских документов – проекта изделия. В ходе этих процессов порождается и помещается в интегрированную информационную среду (ИИС) множество ИО, содержащих данные о структуре и составе изделия и о всех его компонентах;

- *концептуальное (эскизное) проектирование*: стадия конструкторской ПП, выполняемая при помощи CAE/CAD-системы (CAE –Computer Aided Engineering, CAD – Computer Aided Design), в ходе которой разрабатывается облик изделия (в форме геометрической 3D-модели) и создаются ИО, содержащие компоновочные, структурные, принципиальные схемы изделия, выполняются предварительные проектировочные расчеты и моделирование;

- *конструирование* (изготовление рабочей конструкторской документации): стадия конструкторской ПП, выполняемая при помощи CAD-системы, в ходе которой создаются 3D-модели всех оригинальных деталей и их 2D-проекции (чертежи), оформляются спецификации и ведомости материалов, комплектующих и нормализованных изделий, выполняются проверочные расчеты и моделирование. Результаты работ оформляются в виде ИО, помещаемых в ИИС;

- *технологическая ПП*: совокупность процессов и процедур, выполняемых с помощью САМ-систем (САМ – Computer Aided Manufacturing), имеющая целью создание комплекта технологических документов: технологических маршрутов и операционных карт механообработки, сборки (монтажа), контроля; норм времени на выполнение технологических операций; управляющих программ для оборудования с числовым программным управлением; проектов оснастки и специального инструмента и т.д. Результаты работ оформляются в виде ИО, помещаемых в ИИС, и ассоциированных с ИО, описывающими изделие и его компоненты.

Из приведенных выше определений видно, что меняется технология разработки изделия, конструкторской и технологической подготовки производства при поддержке всего жизненного цикла изделия.

Лекция 5

Классификация САПР.

Архитектурно-строительные и геоинформационные системы.

План занятий:

5.1. Классификация САПР.

5.2. Архитектурно-строительные САПР.

5.3. Геоинформационные системы (ГИС).

5.3.1. Определение и области применения геоинформационных систем.

5.3.2. Примеры ГИС и цели ее внедрения.

Какие бывают САПР.

Все существующие САПР делятся на две большие группы: ***специализированные и универсальные.***

Как правило, любая САПР это комплекс программ (соответственно с многовариантной конфигурацией на вашем рабочем месте).

Специализированные САПР могут использоваться как автономно, так и включаться в состав универсальных систем. Причем наиболее удачные из них часто как-бы присоединяются разработчиками универсальных САПР, для чего создаются специальные программные модули интерфейса.

5.1. Классификация САПР по назначению.

Классификация САПР по назначению систем:

- *Машиностроительные САПР* – разработка широчайшего спектра изделий: от создания аэрокосмических систем до проектирования различных бытовых предметов.
- *САПР изделий электронной техники* – проектирование принципиальных и монтажных схем, печатных плат, интегральных микросхем, автотрассировка.
- *Электротехнические* – разработка принципиальных схем и схем подключения электротехнического оборудования, его пространственная компоновка, ведение баз данных готовых изделий.
- *Архитектурно-строительные* – трехмерное проектирование архитектурно-строительных конструкций, расчет специальных конструкций, типовые статические расчеты строительных конструкций, ведение баз данных стандартных элементов, планирование территорий под строительство.
- *Оборудование промышленных установок и сооружений* – создание принципиальных схем установок, пространственная разводка трубопроводов и кабельных трасс, проектирование систем отопления, водоснабжения, электроснабжения, вентиляции и кондиционирования, ведение баз данных оборудования, трубопроводной арматуры, готовых электротехнических изделий.
- *Геоинформационные* – оцифровка данных полевой съемки, анализ геодезических сетей, построение цифровой модели рельефа, создание в векторной форме карт и планов, ведение земельного и городского кадастров, ведение электронного картографического архива, и многие другие.

5.2. Архитектурно-строительные САПР.

Сегодня серьезный архитектурный проект, создается не одним и даже не группой проектировщиков, - это работа, по меньшей мере, крупной проектной организации и часто нескольких организаций (фирм), нередко расположенных на значительном удалении друг от друга. В связи с этим процесс создания архитектуры и сама архитектура приобретают специфические черты и требуют соблюдения определенных условий.

Архитектурные САПР можно, условно, разбить на группы:

1. САПР для проектирования архитектуры (*ARC+*, *DecjDesigner*, *ALLPLAN*, *Project Studio*, *Microstation*);
2. Дизайн интерьера (*DecoDesign*, *ARC+*, *Project Studio*, *ALLPLAN*, *Microstation*);
3. Каркасные дизайнерские системы (*AMAPI STUDIO*, *3D Studio MAX*);
4. Системы для проектирования промышленных предприятий и промышленной зоны. (*AutoPlant*, *Plant 4D*, *Microstation*, *ARC+*).

В настоящее время разработаны российские и зарубежные системы для автоматизированного проектирования в этой области.

5.3. Геоинформационные системы (ГИС).

5.3.1. Определение и области применения геоинформационных систем.

В наиболее общем смысле геоинформационные системы (ГИС) - это инструменты для обработки пространственной информации, обычно привязанной к некоторой части земной поверхности, и используемые для управления ею (М. ДеМерс).

Несмотря на то, что карты используются тысячи лет, сравнительно недавно, около 40 лет назад, графическая и описательная информация были объединены для создания первой Географической информационной системы (ГИС). Этот принцип является одним из важнейших основополагающих принципов ГИС. Географическая информационная система – это возможность быстрого доступа к большим массивам географической и содержательной (экологической) информации, автоматической подготовки выборок данных для анализа и подготовки административных и природоохранных решений.

Сегодня можно назвать следующие крупные области применения ГИС: управление земельными ресурсами, земельные кадастры; проектирование и планирование в градостроительстве, архитектуре, промышленном и транспортном строительстве; дистанционное зонирование; моделирование процессов в природной среде, управление природоохранными мероприятиями; мониторинг состояния окружающей среды; маркетинг, анализ рынка; архео-

логия; медицина; комплексное управление и планирование развития территории, города; сельское хозяйство.

Одно из распространенных определений ГИС звучит следующим образом: «Географическая информационная система определяется как программно-аппаратный комплекс, способный вводить, хранить, обновлять, манипулировать, анализировать и выводить все виды географически привязанной информации».

Структура ГИС, как правило, включает четыре обязательные подсистемы:

- ввода данных, обеспечивающую ввод и/или обработку пространственных данных, полученных с карт, и т.д.;
- хранения и поиска, позволяющую оперативно получать данные для соответствующего анализа, актуализировать и корректировать их;
- обработки и анализа, которая дает возможность оценивать параметры, решать расчетно-аналитические задачи;
- представления (выдачи) данных в различном виде (карты, таблицы, изображения, блок-диаграммы, цифровые модели местности и т.д.)

5.3.2. Примеры ГИС и цели ее внедрения.

Цели внедрения ГИС «Лесное хозяйство»: определение освоенности лесных массивов рубками.

ФКЦ «Земля» разработал ГИС «Хозяйство». Основные цели ее внедрения для:

- оценки и прогноза экономических показателей производства продукции растениеводства (валового объема товарной продукции, выручки и прибыли от реализации продукции, затрат на внесение удобрений и пр.);
- оценки объема финансирования, необходимого для производства основных товарных культур и воспроизводства основных средств (приобретения новой техники, проведения почвоохранных мероприятий);
- получения характеристик состояния сельхозугодий (тип растительного покрова, содержание питательных веществ в почве и пр.), влияющих на уровень плодородия и систему обработки почвы;
- получения серии тематических карт, характеризующих эффективность производства по полям в разные месяцы и годы.

Рынок информационных технологий развивается стремительными темпами, появляются новые технологии, некоторые из них становятся стандартами de facto. В настоящее время происходит становление нового технологического стандарта — платформы .NET. Компании, наиболее быстро реагирующие на изменение тенденций в секторе IT, переводят решения

прикладных задач на новую платформу. Эти процессы коснулись и сектора геоинформационного программного обеспечения. MapInfo Corp., являясь одной из крупнейших на рынке геоинформационных систем, остается в то же время наиболее гибкой, предлагающей своим клиентам решения на самых современных платформах.

На базе системы MapInfo разработана ГИС в решении проблем атомной энергетики. Основные функции: проектирование размещения объектов атомной отрасли, мониторинг объектов атомной отрасли и прилегающих к ним территорий, выявление районов с оптимальными геоэкологическими свойствами для конкретных объектов.

ГИС *"Кижский архипелаг"* - на базе системы MapInfo разработана как многофункциональная база географической и содержательной информации. Цель мониторинга природы Кижских шхер состоит в получении данных о состоянии природной среды в охранной зоне музея-заповедника «Киж», в оценке текущего ее состояния и в прогнозе ее изменений в ближайшей и отдаленной перспективе.

ГИС *"Бассейн Ладожского озера"* предназначена для использования при перспективном и текущем планировании развития производства в регионе, для разработки прогностических моделей влияния возрастающей антропогенной нагрузки на функционирование экосистемы Ладожского озера, для использования в качестве справочного материала при решении широкого диапазона научных, хозяйственных и природоохранных задач, а также при организации туризма и другой рекреационной деятельности.

Созданная с применением «БелГИС» разработчиком - ФГУП ВИОГЕМ, Белгород - электронная карта г. Белгорода состоит из нескольких слоев (рельеф, кварталы, магистрали, здания, гидросеть, лесные массивы и т.д.), что позволяет генерализовать информацию и отображать только ту нагрузку, которая необходима для той или иной цели. Использование электронной карты позволяет осуществлять просмотр инженерных сетей на местности, работу с технологическими схемами коммуникаций, учет местоположения и контроль текущего состояния технологического оборудования, оперативное принятие решений в аварийных ситуациях, поиск подъездных путей и маршрутов эвакуации, подготовку согласований между различными муниципальными службами.

Эффективное управление любым территориальным образованием невозможно без качественного информационного обеспечения на основе САПР и ГИС.

Электронные САПР.

План занятий:

6.1. Назначение и основные направления моделирования в ECAD

6.2. Ядро электронных САПР

6.3 Классификация электронных САПР по разновидности и сложности объектов проектирования.

6.1. Назначение и основные направления моделирования в ECAD

Примерно в 1983 году системы автоматизированного проектирования стали расслаиваться на специализированные сектора. Электрический и механический САД разошлись в отдельные отрасли. Подавляющее большинство современных изделий и устройств сочетают в своей конструкции механическую и электрическую составляющие. Механические детали и узлы описывают конструктивно-силовую схему и дизайн изделия, в то время как провода отвечают за снабжение электроэнергией, а встроенная электроника - за выполнение вычислительных операций и функций управления. И механика, и электрика неразрывно связаны друг с другом, т.к. отсутствие или неверная работа одной из составляющих приведет к выходу из строя другой. Бурный прогресс в микроэлектронике, обеспечивающей элементную базу современных электронных систем, обуславливает высокие темпы развития наукоемкой техники, возможность совершенствования ее архитектуры.

Электронные САПР или ECAD (Electronic Computer Aided Design) предназначены для разработки электронных модулей, устройств и блоков изделий. Современные нанотехнологии позволяют создавать СБИС и УБИС с десятками и сотнями миллионов транзисторов на кристалле, разработку которых возможно выполнить только с применением современных ECAD.

Исторически сложилось так, что автоматизация проектирования в радиоэлектронике началась с разводки печатных плат. Эта работа проще поддается математическому моделированию и представляет собой плоскую задачу трассировки (или квазиплоскую, если плата многослойная). Однако процесс конструирования изделий электронной техники не ограничивается только разводкой. Условно можно разбить электронные САПР по нескольким направлениям проектирования:

- моделирование смешанных аналого-цифровых устройств;
- моделирование и синтез логики для ПЛИС;

- схемотехническое и электромагнитное моделирование СВЧ-устройств;
- поведенческое моделирование на уровне структурных схем;
- проектирование печатных плат;
- анализ электромагнитной совместимости;
- тепловое моделирование;
- средства подготовки печатных плат к производству;
- проектирование топологий интегральных схем;
- проектирование электротехнических схем и чертежей.

Наиболее распространенной задачей проектирования является проектирование аналого-цифровых устройств. Все современные электронные САПР предполагают ввод проекта в редакторе принципиальных схем, после чего генерируется список соединений, необходимый для работы программы моделирования.

6.2. Ядро электронных САПР

В качестве счетного ядра электронных САПР почти во всех программах используется программа SPICE, разработанная в университете Беркли, США. Различные версии этого алгоритма были в разное время заимствованы производителями программного обеспечения для использования в своих продуктах. Для моделирования аналоговых устройств в основном используется версия SPICE 3, а для моделирования цифровых устройств - версия XSPICE. Эта версия была разработана специально для моделирования цифровых устройств, описанных списком соединений, причем сами модели компонентов описываются на языке SimCode. В силу использования единого вычислительного алгоритма программы различных производителей представляют собой лишь графические оболочки, предоставляющие пользователю доступ к функциям программы SPICE, а также некоторые дополнительные возможности обработки полученных данных.

6.3. Классификация электронных САПР по разновидности и сложности объектов проектирования:

Условно электронные САПР по сложности объектов проектирования делятся на «легкие», «средние» и «тяжелые».

К категории "легких", относятся программы CircuitMaker компании Protel, модуль SIM 99 SE, входящий в состав продуктов Protel 99 SE компании Protel. Они имеют собственный редактор схем, являются легко настраиваются и без труда адаптируются к нуждам конкретного разработчика.

Средние САПР имеют символьный редактор для создания библиотеки символов; схемный редактор, обеспечивающий создание принципиальной схемы; технологический редактор, предназначенный для редактирования топологии печатной платы.

К «средним» ECAD относятся программы:

- PSPICE A/D, компании Cadence;
- ViewAnalog компании Innoveda PSPICE A/D;
- OrCAD компании Cadence;
- Protel 99 SE компаний Protel;
- P-CAD компании Protel (P-CAD фирмы "Personal CAD System). Она позволяет не

только моделировать, но и оптимизировать схемы по различным критериям.

К категории «тяжелых» - интегрированных ECAD-систем принадлежат программные продукты фирмы: Mentor Graphics, Synopsys, Cadence Design Systems.

Одной из наиболее популярных **систем функционально-логического синтеза** является LeonardoSpectrum HDL Synthesis фирмы Mentor Graphics. Это синтезатор логических схем заказных СБИС и БИС/СБИС ПЛ возможных форматов: «VHDL», «Verilog», «EDIF» и др. (VHDL-Very high speed integrated circuits Hardware Description Language и Verilog – это международные языковые стандарты, позволяющие увязывать между собой **этапы маршрутов сквозного системного и функционально-логического проектирования вычислительной аппаратуры** с использованием различных САПР; EDIF-Electronic Design Interchange Format – это формат для передачи данных на этап конструкторского проектирования).

Другой известной разработкой фирмы Mentor Graphics является система ModelSim, выполняющая моделирование проектируемых устройств на регистровом и вентильном уровнях.

Разбиение на категории также весьма условное. Базируясь на **основных направлениях проектирования, можно обозначить следующие категории продуктов:**

- моделирование схем;
- моделирование и синтез логики для ПЛИС;
- схемотехническое и электромагнитное моделирование устройств;
- проектирование печатных плат;
- анализ электромагнитной совместимости;
- тепловое моделирование;
- средства подготовки печатных плат в производстве;
- проектирование топологий БИС;
- проектирование электротехнических устройств.

Целью и результатом работы систем автоматизированного проектирования (САПР) является создание проекта. Под проектом понимают создание описания изделия, достаточное для его промышленного изготовления без участия авторов.

Проект в САПР содержит текстовую информацию об электронном изделии и несколько видов чертежей: схему электрическую принципиальную, изображение печатной платы, сборочный чертеж печатной платы с установленными на нее элементами.

*В качестве счетного ядра почти во всех ECAD используется программа **SPICE**, разработанная в университете Беркли, США. Для моделирования аналоговых устройств в основном используется версия SPICE 3 и выше, а для моделирования цифровых устройств - версия XSPICE. Эта версия была разработана специально для моделирования цифровых устройств, описанных списком соединений, причем сами модели компонентов описываются на языке SimCode.*

Другой важной задачей проектирования является синтез логической схемы для последующей ее реализации на программируемых логических интегралах SE программы Fusion/SpeedWave, Fusion/VSCi, Fusion/ViewSim, ViewPLDA (www.peakfpga.com). Как правило, в продуктах, предназначенных для этих целей, используется задание функционирования работы схемы на одном из языков описания аппаратуры (HDL), например, VHDL или Verilog.

Пакет SystemView компании Elanix (www.elanix.com), *позволяющий моделировать логические схемы и упаковывать их в ПЛИС* фирмы Xilinx (www.xilinx.com). Однако уровень моделирования проекта здесь принципиально другой - эта программа предназначена для моделирования систем на уровне структурных схем. *Здесь используются поведенческие модели, позволяющие оценить работоспособность проекта на вентильном, а не на схемотехническом уровне.*

Принципиально иной уровень сложности задач решают системы проектирования СВЧ устройств. Как правило, для получения характеристик объемных структур здесь требуется решение уравнений Максвелла, а для моделирования линейных и нелинейных схем привычных моделей и методов, используемых ядром SPICE недостаточно. Для этих целей разработаны программные продукты:

- интегрированный пакет Microwave Office 2004 компании AWR;
- систему полного электромагнитного моделирования CST Microwave Studio компании CST;
- систему полного электромагнитного моделирования QuickWave-3D компании QWED;
- систему полного электромагнитного моделирования EMPIRE компании IMST;

Электромагнитное моделирование планарных СВЧ- устройств выполняется методом моментов Галеркина. Модуль моделирования структурных схем, изначально разработанный компанией ICUCOM (www.icusom.com), прекрасно интегрирован в среду и имеет самый большой набор библиотек моделей.

Редактор топологий представляет собой не просто графическую среду прорисовки топологий СВЧ- устройств, но и мощный инструмент технологической подготовки к производству.

Наиболее широко представлена *линия продуктов для проектирования печатных плат*. Как правило, это сквозные системы проектирования, где разработка проекта начинается с прорисовки принципиальной схемы и заканчивается генерацией управляющих файлов для оборудования изготовления фотошаблонов и сверления отверстий. Здесь следует отметить следующие продукты:

- Пакет P-CAD компании Protel;
- Пакет CircuitMaker компании Protel;
- Пакет Protel 99 SE компании Protel;
- Пакет OrCAD компании Cadence;
- Пакет PCB Design Studio компании Cadence

Программа CircuitMaker, позволяет разрабатывать платы, содержащие до шести сигнальных слоев и до двух слоев металлизации. Наряду с весьма удобным и гибким редактором схем, а также программой моделирования этот продукт может оказаться весьма полезным для использования в учебном процессе.

Более мощной является *система P-CAD* (www.pcad.com). Она является логическим продолжением продуктов ACCEL EDA американской фирмы ACCEL Technologies, поглощенной компанией Protel в начале 2000 года. Компании Protel понадобился почти год, чтобы приблизить функциональность этого продукта к уровню собственной программы Protel 99 SE. Сейчас эти продукты имеют много общего: между ними существует полный двунаправленный транслятор, одинаковы состав и структура библиотек элементов, идентичны модули моделирования, автотрассировки и анализа целостности сигналов, имеется интерфейс с программой авторазмещения и автотрассировки SPECCTRA компании Cadence.

Точность прорисовки примитивов на платах составляет 0.001 мил или 0.025 мкм, что на два порядка выше, чем в любой другой системе проектирования.

Сопоставимым по функциональности можно назвать пакет *OrCAD* (www.orcad.com). Редактор печатных плат OrCAD Layout имеет три различные конфигурации с разными функциональными возможностями. В проекте платы здесь может присутствовать до 50 слоев, 26 из которых могут быть сигнальными. Имеются встроенные средства авторазмещения и авто-

трассировки, а также интерфейс с программой SPECCTRA. Однако главным модулем в этом пакете является не редактор печатных плат, а редактор принципиальных схем OrCAD Capture CIS, оснащенный единственной в своем роде системой управления базами данных компонентов. Система CIS (Component Information System) была разработана для обеспечения всем пользователям пакета OrCAD доступа через сеть Интернет к централизованным базам данных компонентов, расположенным на сайте www.spincircuit.com. Гибкость системы CIS позволяет организовать корпоративные базы разрешенных к применению компонентов и работать в локальных сетях, а также использовать процедуры автоматизированного нормоконтроля.

Самым мощным и дорогим решением для проектирования печатных плат является другой пакет компании Cadence - PCB Design Studio (www.pcb.cadence.com). В качестве редактора печатных плат здесь используется программа Allegro, позволяющая разрабатывать многослойные и высокоскоростные платы с высокой плотностью размещения компонентов. В качестве штатного модуля авторазмещения и автотрассировки здесь используется программа SPECCTRA (www.specctra.com), управляемая обширным набором правил проектирования и технологических ограничений. Собственных средств анализа целостности сигналов здесь, как и в OrCAD, нет - эту функцию выполняет поставляемый отдельно модуль SPECCTRAQuest SI. В качестве средств построения проектов здесь предлагаются: OrCAD Capture CIS для сравнительно простых задач и Concept HDL для сложных иерархических или многовариантных проектов.

Тепловой анализ печатных плат:

- Программа BETAsoft-Board компании Dynamic Soft Analysis;
- Программа Sauna компании Thermal Solutions;
- Программа АСОНИКА-Т (программный продукт совместной разработки специалистов Красноярского государственного технического университета (КГТУ) и Московского института электротехники и математики (МИЭМ);

Программа BETAsoft-Board компании Dynamic Soft Analysis (www.betasoft-thermal.com) моделирует тепловые процессы на печатных платах. Для анализа тепловых процессов в кристаллах предлагается другая программа BETAsoft-MCM.

Целью моделирования является получение тепловых полей конструкций РЭС 3-го и 4-го уровней конструктивной иерархии (температур конструктивных узлов, элементов и потоков хладоносителя в сети каналов конструкции стойки).

Другая ***программа теплового анализа*** Sauna компании Thermal Solutions (www.sauna.com) ***позволяет моделировать поведение не только плат, но и блоков и шкафов***. Здесь присутствуют обширные библиотеки компонентов и материалов. Имеется специ-

альный графический редактор, позволяющий прорисовывать конфигурацию оборудования. Система дает возможность назначать специальные рабочие циклы с учетом включения и выключения внешних источников питания.

Важным этапом проектирования печатных плат является *подготовка уже разработанного проекта к производству*. Под этим подразумевается *генерация управляющих файлов для изготовления фотошаблонов*, станков для сверления отверстий, оборудования для автоматического тестирования плат.

Важная задача проектирования - **разработка топологий схем**. Крупные компании используют здесь продукцию фирм Cadence. Однако ориентировочная цена одного рабочего места здесь превышает сотни тысяч долларов. Большинство мелких фирм на постсоветском пространстве используют программы российско-украинской компании OT_TO Software Group (www.iptelecom.net.ua/~otto), которая разработала редактор топологий OT_TO 2000. Этот пакет занял пустующую нишу "средних" САПР для проектирования БИС.

Системы для электротехники. Сейчас многие компании, выпускающие механические САПР, предлагают решения для этих целей. Все механические САПР представляют собой мощные системы моделирования и черчения с использованием компьютера. Все графические объекты в таких системах не имеют электрического смысла, а поэтому здесь затруднена обработка информации, связанная со списком соединений. Особенность систем для электротехники заключается в том, что первичной здесь должна быть именно электрическая информация. Здесь предлагаются такие продукты, как:

- Модуль Elektra-CAD компании Desktop EDA для пакета Protel 99 SE;
- Пакет WSCAD компании WSCAD Electronic;
- Пакет PCschematic ELautomation компании DpS CAD-cente

Модуль Elektra-CAD компании Desktop EDA (www.desktop-eda.com.au) представляет собой встраиваемое решение пакета Protel 99 SE по расширению его функциональности. Этот модуль добавляет в стандартный редактор принципиальных схем, ряд функций, библиотек и панелей инструментов, направленных на создание электротехнических схем. Однако здесь отсутствуют такие важные для электротехники функции, как *генерация таблиц кабелей* и многое другое. Прорисовка механических чертежей возможна только в рамках редактора схем, что не всегда удобно из-за используемой здесь системы измерения.

Пакет WSCAD 4.2 немецкой компании WSCAD Electronic (www.wscad.com) разрабатывался специально для решения электротехнических задач. Помимо функций разработки электротехнических схем здесь имеются возможности прорисовки механических чертежей. Главным достоинством этого продукта является наличие полностью русифицированного ин-

терфейса с адаптацией под российские стандарты, а также технической документации на русском языке.

Датская компания DpS CAD-center ApS (www.dps.dk) предлагает собственное решение в этой области. Ее продукт PCschematic ELautomation хотя и не русифицирован, но представляет собой очень мощную систему. Здесь применена оригинальная система хранения разнообразной проектной информации, будь то схемы, чертежи или текстовая документация. Программа легко настраивается для соответствия национальным стандартам. Специальная система обеспечивает доступ к информации, хранящейся в специальных базах данных компонентов и изделий различных производителей. Имеется документация на русском языке, разработанная дистрибутором данного продукта латвийской компанией Colla (www.colla.lv).

Лекция 7

Машиностроительные САПР

План занятий:

7.1. Классификация машиностроительных САПР по уровням

7.2. Общие требования к САПР: Ядро геометрического моделирования, параметризация, ассоциативность, фичерсы, навигатор, работа с большими сборками.

7.1. Классификация машиностроительных САПР по уровням.

Условно все САПР можно разделить на три уровня: **нижний** или их еще называют «легкие» САПР, **средний** или «средние» САПР и **верхний** уровень или «тяжелые» САПР. Деление на уровни условное, так как во-первых, существует тенденция перенесения функциональности с верхнего уровня на нижние, во-вторых, выделяется функциональность, присущая САПР любого уровня, - ведение архивов, управление разработкой проектов и структурой изделий, обработка накопленных бумажных материалов, массовый выпуск и размножение конструкторской документации и т.п.

Нижний уровень или «легкие» САПР служат для выполнения почти всех работ с двумерными чертежами и имеют ограниченный набор функций по трехмерному проектированию. Область их работы – создание чертежей отдельных деталей. Стоимость таких САПР \$500- \$2000 за рабочее место. Работают они на персональных компьютерах под управлением операционной системы Windows 95/98/2000/XP/NT/Vista. Характерные представители таких САПР – AutoCAD (Autodesk), T-FlexCAD LT, 2D (Топ Системы), Компас LT (Аскон).

Средний уровень САПР по своим возможностям полностью охватывают «легкие» САПР плюс позволяют работать со сборками. Количество компонент в сборке САПР среднего уровня может достигать до 10000. Имеется возможность работать со сложными поверхностями, описываемыми кривыми второго порядка. По некоторым параметрам они не уступают «тяжелым» САПР, а в удобстве работы даже превосходят. Обязательным условием является наличие функции обмена данными (или интеграции) с автоматизированными системами технологической подготовки производства. Стоимость САПР среднего уровня \$2000-\$20000 за рабочее место, так как это уже не просто программы, а программные комплексы, состоящие из нескольких модулей проектирования, библиотек стандартных элементов и стандартных решений, справочников для инженерных расчетов. Работают эти системы на персональных компьютерах под управлением операционной системы Windows 2000/XP/NT. Характерные представители таких САПР – Inventor (Autodesk), Solid Edge (EDS), Solid Works (IBM).

Верхний уровень или «тяжелые» САПР применяют для решения наиболее трудоемких задач – моделирования поведения сложных механических систем в реальном масштабе времени, оптимизирующих расчетов с визуализацией результатов, расчетов температурных полей и теплообмена, дизайн поверхностей любой сложности. Обычно в состав системы входят как графические модули, так и модули для проведения расчетов и моделирования, постпроцессоры для станков с ЧПУ. Количество компонент в сборке «тяжелых» САПР практически не ограничено при использовании соответствующего оборудования. Все «тяжелые» САПР являются интегрированными интеллектуальными системами и содержат базы знаний. Стоимость таких программных продуктов \$20000 и более за рабочее место.

Для «тяжелых» САПР наиболее характерно использование рабочих станций IBM, Hewlett-Packard, DEC, Sun Microsystems, Digital Alpha AXP. В качестве операционной системы наиболее часто используется Windows NT и Unix. Примерами «тяжелых» САПР могут служить такие программные продукты, как CATIA (IBM), Unigraphics (EDS), Pro/Engineer (PTC).

7.2. Общие требования к САПР

На функциональную оценку возможностей САПР влияют специфичные требования конкретного предприятия, но есть и некоторые общие моменты.

Ядром всех современных САПР является модуль геометрического моделирования, который дает возможность построить корректное описание моделируемого продукта, что является базой для всех основных задач, решаемых в рамках системы. Современная САПР обязана иметь возможность моделировать геометрию твердого тела. Сегодня трудно встретить

систему, которая бы не имела или не декларировала бы наличие методов твердотельного моделирования. Однако функциональные возможности методов построения твердого тела в двух системах могут сильно отличаться друг от друга. Следует обращать внимание на функциональную полноту, возможность решать топологические сложные задачи: перекрывающиеся скругления переменного радиуса, построение тонкостенного тела с изменением топологии, взаимосвязь методов построения поверхностей и твердого тела, возможность параметризации и изменения модели.

Ассоциативность. Между всеми компонентами жизненного цикла изделия должны поддерживаться устойчивые и управляемые причинно-следственные связи. Любой элемент описания продукта, процесса или ресурса должен хранить при себе свое происхождение и условия существования. Это основная, радикальная мера для сокращения затрат на выпуск новых, конкурентоспособных товаров. Первыми задачу интеграции поставила на первое место компания PTC, изначально сделав в своем продукте Pro/Engineer (1988 год) ставку на полную ассоциативность всех видов данных об изделии на основе единой структуры базы. Аналогичные подходы применяют и другие производители.

Параметризация. Средства параметрического моделирования реализованы во всех системах среднего и верхнего уровня. Процесс параметрического моделирования можно описать следующим образом: в ходе построения система накапливает конструкционные параметры и соотношения между ними, а также формирует протокол (историю) создания геометрии, позволяя простым изменением параметров легко модифицировать и регенерировать модель. Параметрическая модель создается интерактивно, без какого-либо программирования (за исключением задания формул), и это вполне по силам пользователю. На данный метод опирается табличная параметризация, где параметры типовых деталей сведены в таблицу, а генерация нового экземпляра производится путем выбора из таблицы типоразмеров. Параметризация полезна не только для моделирования, она также автоматизирует итерационную отладку конструкций. Работая в среде параметрического конструирования, пользователь указывает изменяемые параметры, задает связывающие условия, определяет целевую функцию и запускает процесс оптимизации. Можно оптимизировать такие параметры, как масса, объем, площадь поверхности, моменты инерции, центр тяжести.

Фичерсы. Появление в практике такого важного способа моделирования, как фичерсы (feature), можно связать с компанией PTC. Фичерсы - отверстия, фаски, скругления, ребра жесткости и пр., в отличие от элементарных объектов твердотельного моделирования, являются привычными для пользователей, и работа с такими макрообъектами, очевидно, более выгодна. Фичерсы - это применение объектной ориентированности в CAD. Для того чтобы

добавить отверстие к уже существующей геометрии, достаточно выбрать элемент меню "отверстие" и указать его расположение. После этого оно остается привязанным к грани при любом ее перемещении - фичерсы помнят о своем окружении. Фичерсы тесно связаны с параметризацией. Кроме того, что они сами по себе параметризованные объекты, они могут быть созданы, как параметрики.

Достижением современного периода можно считать методы построения поверхностей произвольной формы на основе **В-сплайнов - NURBS**, ставшие стандартом для проектирования сложных поверхностей. В процессе становления 3D CAD-систем В-сплайны стали основой поверхностей свободной формы. Причины популярности сплайнов: они создают плавные кривые, позволяют описывать криволинейные поверхности с очень высокой точностью и компактно. Сам термин сплайн (spline) произошел от названия бамбуковых тростей, использовавшихся для создания корпусов кораблей и самолетов во времена, когда еще не было компьютерных технологий.

Сплайн - гладкая кривая, которая проходит через две или более контрольных точек, управляющих формой сплайна. Два из наиболее общих типов сплайнов — кривые Безье (Bezier curves) и В-сплайны (B-spline curves). Типичным Примером сплайнов являются также неоднородные рациональные В-сплайны (Non-Uniform Rational B-Spline — NURBS). Сплайны состоят из вершин (vertices) и сегментов (segments). Каждая вершина сплайна имеет касательные векторы (tangents), снабженные на концах управляющими точками, или маркерами (handles).

Маркеры касательных векторов управляют кривизной сегментов сплайна при входе в вершину, которой принадлежат касательные векторы. В зависимости от свойств касательных векторов различают следующие типы вершин: С изломом (Corner), Сглаженная (Smooos), Безье (Bezier) и Безье с изломом (Bezier Corner).

Большие сборки. Несколько лет назад в большинстве CAD-систем было трудно построить сборку из нескольких десятков компонентов. Сейчас возможна работа со сборками из тысяч и десятков тысяч деталей. Пользователи теперь могут разместить отдельные детали на экране и получить электронное представление изделия - без фатальных сбоев системы или существенного замедления ее работы.

Области, которым требуются большие сборки, - это автомобильная, аэрокосмическая промышленность и машиностроение. Автомобили и самолеты состоят из более чем миллиона деталей, полиграфические прессы занимают площади в тысячи квадратных метров и содержат сотни тысяч компонентов. Даже под сборки, например двигатель, - это многие тысячи деталей. Большие и постоянно увеличивающиеся в размере сборки требуются для того, что-

бы избежать изготовления физического прототипа. Если путем компьютерного моделирования сборки проектировщик может зафиксировать нестыковку, он сэкономит на стоимости изготовления физического прототипа. Сегодня многие поставщики CAD-систем верхнего уровня выпустили средства, поддерживающие одновременный доступ пользователей к деталям и сборкам /4/.

Необходимыми атрибутами моделирования сборок является **графический навигатор**, взаимосвязь геометрических моделей, возможность построения элементов и взаимная ориентация компонентов в контексте сборки. Создание сборочной модели, состоящей из многих сотен и тысяч деталей, открывает возможность построения полной цифровой модели изделия. Современные САПР обычно не ограничивают количество компонентов, участвующих в сборке. Однако чудес не бывает: чем больше в сборке деталей, тем больше вычислительных ресурсов требуется от рабочей станции. И рано или поздно они будут исчерпаны. Хорошая САПР должна обладать специальными функциями, которые дают возможность бороться с подобными проблемами: фильтры загружаемых компонентов, возможность переключения между полным и упрощенным представлением геометрии.

Гибкость и универсальность системы считается важным качеством САПР. Производитель часто не знает, что именно он будет делать через пару месяцев, что за клиент к нему обратится и какого типа файлы ему дадут. Производственники должны быть очень гибкими, а важной частью этого является наличие программных средств, обеспечивающих такую гибкость. Также необходима интероперабельность, способность работать с разными типами данных.

Многие САПР имеют в своем составе модули инженерного анализа, которые должны иметь удобный интерфейс, возможность быстрого проведения многовариантных расчетов. Однако система анализа не может быть всеобъемлющей. Всегда существуют расчетные задачи, для решения которых необходимо привлечение специальных расчетных программ, не входящих в САПР. Необходимо оценить **удобство передачи данных** в виде расчетной сетки и твердотельной геометрической модели в те системы анализа, которые планируется использовать.

Моделирование изделий: геометрическое, функциональное

План занятий:

- 8.1. Понятие о геометрической модели проектируемого объекта.
- 8.2. Параметрическое проектирование детали.
- 8.3. Каркасное моделирование
- 8.4. Твердотельное моделирование.
- 8.5. Поверхностное моделирование.
- 8.5.1 Понятие кубических сплайнов
- 8.5.2. Аппроксимирующие уравнения пространственных кривых: Фергюссона, Эрмита, Безье, В-сплайны, рациональные выражения, NURBS.
- 8.5.3. Понятие линейчатых поверхностей. Аппроксимирующие уравнения поверхностей Кунса, Безье, В-сплайнов, NURBS.
- 8.6. Гибридное моделирование
- 8.7. Функциональное моделирование

8.1. Понятие о геометрической модели проектируемого объекта.

Геометрический моделлер - основной его лозунг можно было бы сформулировать так: «в проекте изделия нет ничего неопределенного (беспризорного), неуправляемого и непригодного к анализу». Геометрический объект – это часть спецификации продукта (подмножество его определения), описывающая его форму. Электронная геометрическая форма отличается от физического прототипа формы тем, что:

- ее можно копировать в другие электронные формы без потерь качества;
- ее можно интерпретировать в формообразующие процессы (например, механообработку);
- она безусловна (независима от способа ее графического представления);
- она стабильна (ее качество не зависит от внешних условий);

- она непрерывна (любая точка на ее поверхности имеет однозначные координаты, вектора нормалей и их производные);
- она может иметь воспроизводимую историю своего происхождения.

Геометрия имеет спецификацию своего определения. В нее могут входить:

- объемное или не имеющее объема тело как результат булевых операций над составляющими его формами;
- объемное или не имеющее объема тело как результат применения определенного метода его построения;
- аргументы построения тела в виде геометрических элементов;
- аргументы построения тела в виде численных параметров с размерностями и без них, логических и арифметических;
- плоские параметрические эскизы с геометрическими отношениями между элементами;
- контролеры, приводящие в действие определенные функции на основе выполнения (невыполнения) условных правил;
- результаты абсолютного или относительного анализа, предназначенные для использования как аргументов в других функциях;
- скрипты (программы), участвующие в работе методов как исполнительный программный код.

Геометрия может иметь заместительные и представительные формы с различной степенью подробности ее представления на экране монитора. Базовых форм две – режим визуализации (Visualization Mode) и инженерное представление продукта (Design Mode). Геометрия представляется пользователю (выводится на экран) по ролевому принципу: В графическом окне Вы увидите только то, что нужно для выбранной Вами роли. И наоборот, Ваша роль (как набор используемых Вами функций) может быть установлены выбором соответствующих разделов спецификации продукта. Таким образом, в оперативную память компьютера и графического адаптера будет загружаться минимальный необходимый для данной работы объем данных. Это не препятствует, однако, возможности догрузить чтонибудь дополнительно по необходимости.

Все детали и представляющие их геометрические формы, различаются по их принадлежности к конструктивно - технологическому классу. Эти классы обобщают в одну категорию все множество деталей, имеющих устойчивые конструктивные и технологические при-

знаки – вид заготовки, способ материализации формы, производственную оснастку и характерные физические процессы. Их геометрическое определение, соответственно, может иметь свои термины, методы и аргументы построения. Например, листовая деталь из алюминиевого сплава, формуемая в резину, имеет свою особую спецификацию, отличную от, например, механической детали или электрокабеля.

С точки зрения геометрического моделиера, различия в классах деталей отражаются только на составе спецификации геометрического определения. Создать новый класс деталей – значит ввести новую спецификацию его описания.

8.2. Параметрическое проектирование детали.

Основные принципы параметрического моделирования: геометрические и размерные ограничения; использование замкнутых плоских контуров и пространственных траекторий; использование способов формообразования детали: вращение, сдвиг, выдавливание, отсечение сложной поверхностью; приемы комбинирования деталей; использование типовых компонентов; применение рабочих плоскостей и осей симметрии; использование локальных параметрических размеров; работа с табличными деталями; расчет массо-инерционных характеристик детали.

Существует два вида параметризации – **жёстко привязанная** к порядку построения геометрии (Pro/Engineer и MSC/NASTRAN для Windows), и **гибкая**, позволяющая в любой момент времени переопределять связи, изменять порядок создания элементов в уже построенной модели (UG/SOLID MODELING, I-DEAS Master Series). Иногда допускается использование обоих видов параметризации (Unigraphics).

Решение задачи параметризации по силам практически только компьютеру. Варианты поведения компьютера в различных ситуациях могут быть следующими:

- *Система определена:* компьютер молчит, пользователь счастлив. Обычно это бывает на самом начальном этапе, когда система моделирования сама расставляет связи и параметры так, как считает это необходимым.
- *Система недоопределена:* пакет моделирования обычно молча подставляет недостающие параметры исходя из текущих значений координат и размеров. Некоторые интеллектуальные системы, такие как Pro/Engineer и SolidEdge, подставляют более сложные связи (параллельность, перпендикулярность, совпадение точек и т.п.). Обычно эта ситуация не вызывает проблем и возникает тогда, когда пользователь удаляет какой-либо параметр или связь. Неприятный момент здесь заключается лишь в том, что компьютер автоматически создает новые связи в непредсказуемых порой для пользователя местах. Если система решает, что нужно восстановить тот параметр,

который только что был удален, то такой параметр пользователь в принципе не может удалить.

- *Система переопределена.* Это типичный случай, когда пользователь хочет добавить необходимые ему связи или параметр. Чтобы восстановить баланс, система должна удалить какие-либо связи. Иногда системы выдают предупреждение и дают пользователю возможность выбрать, какие связи удалить, но иногда они делают это автоматически. В этой ситуации легко потерять важные связи, и важный размер может непредсказуемо изменить свое значение. Чтобы не допустить ошибку, приходится в уме «проигрывать» всю последовательность действий компьютера и проверять результат. Это сводит на нет все преимущества параметризации. Таким образом, параметризация оказывается полезной только на начальных этапах работы конструктора, когда схема параметризации еще достаточно проста. Если количество параметров начинает превышать некоторое значение (это значение составляет 10-50 параметров в зависимости от типа конструкции), то трудозатраты на согласование схемы параметризации становятся неоправданно большими, и проще не использовать параметризацию вообще.

Одно из *очень полезных применений параметризации* – *создание библиотек стандартных элементов.*

Методы исследования: в системах геометрического моделирования используются три типа геометрических моделей конструируемых объектов:

- ▶ каркасные (проволочные);
- ▶ поверхностные;
- ▶ твердотельные.

8.3. Каркасные модели появились первыми. Конструктивными элементами каркасной модели являются ребра и вершины. Основным преимуществом каркасных моделей является простота, но с их помощью можно моделировать ограниченный класс объектов с использованием в качестве аппроксимирующих поверхностей плоскостей и поверхностей второго порядка. При использовании таких моделей возможны различные интерпретации одной модели, поскольку известны только ребра и вершины. В современных системах геометрического моделирования каркасные модели используются при отображении конструируемых объектов, как один из методов визуализации.

8.4. Твердотельное моделирование - моделирование геометрии твердого тела методом Вреп. Метод получил название от сокращения термина Boundary Representation – описание тела с помощью представления границ или точного аналитического задания граней, ог-

раничивающих тело. Этот метод позволяет создать точное, а не приближительное представление геометрии тела.

Для твердотельной модели конструктивными элементами являются вершины, ребра и грани. *Грань* - это часть поверхности твердого тела, как правило, ограничивается ребрами. *Ребро* - это линия пересечения соседних граней. *Вершина* - точка, которой оканчиваются ребра. В системах твердотельного моделирования используется два основных способа представления сложных тел:

1. *Граничное представление тел*, B-REP, Boundary Representation.

Тело определяется как совокупность ограничивающих его поверхностей (рисунок 4).

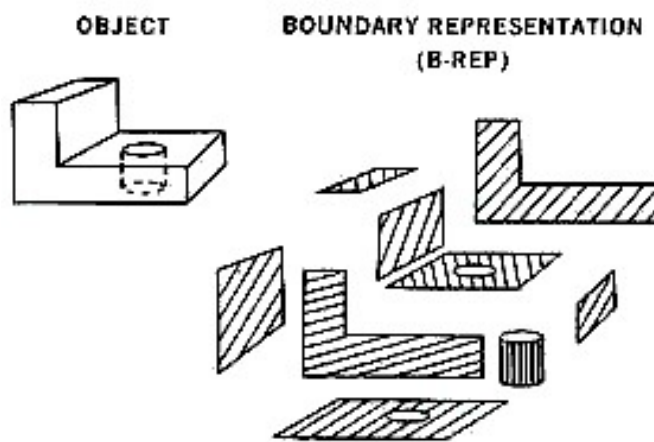


Рисунок 4. Граничное представление тел

2. *Конструктивная твердотельная геометрия, структурное представление тел*, CSG (Constructive Solid Geometry).

Тело определяется как совокупность составляющих его более простых тел, объединенных между собой с помощью операций геометрического объединения, пересечения и вычитания (рисунок 5).

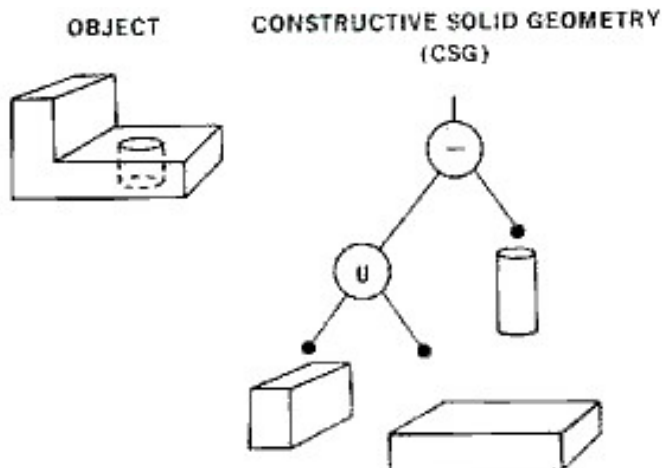


Рисунок 5. Конструктивная твердотельная геометрия

Геометрическое тело - любая ограниченная часть пространства вместе с ее границей.

Геометрическое тело математически описывается в виде системы неравенств:

$$f_i(x; y; z) \leq 0, i=1...n \quad (1)$$

В случае применения знака равенства мы получим систему уравнений, описывающих поверхность, которая определяет границу между внешним и внутренним подпространством:

$$f_i(x; y; z) = 0, i=1...n \quad (2)$$

Таким образом, модель считается твердотельной, если все поверхности, описывающие ее форму, однозначно (без зазоров и пересечений) делят пространство на два подпространства — внутреннее и внешнее. Причем внутреннее подпространство заполнено материалом тела.

Основными типами кривых, применяемых на сегодняшний день в CAD-системах, являются:

- **Spline** – сплайны. Кривая, четвертая производная которой равна нулю.
- **Bezier curve** - кривая Безье. Гладкая кривая, состоящая из серий по четыре контрольные точки, которые в разной мере определяют ее направление.
- **B-spline** (Bezier-spline). Кривая формируется по отношению к 3D-полилинии (т.е. ломаной линии).
- **C-spline** - сплайн, который образуется путем прохождения через все контрольные точки.
- **NURBS** - Non-Uniform Rational B-Spline(s). Неоднородный рациональный B-spline.
- **Voxel** (Volume elements) воксельные поверхности. Voxel - это элемент объема, который относится к целому объему, как пиксель (точка) относится к плоскости.

Основные отличия твердотельного и поверхностного моделирования: точное аналитическое описание базовых элементов формы и приближенное представление сложных поверхностей; логические операции над твердыми телами; дерево построения сложных твердотельных моделей; возможности параметризации и редактирования твердотельных моделей проектируемых объектов.

8.5. Твердотельное моделирование

Технологии твердотельного моделирования: базовые элементы формы, логические операции над ними, добавление типовых элементов. Технология: плоский контур, наложение ограничений, формирование тела, комбинирование над телами, возможности редактирования сложных тел, использование дерева построения.

Твердые тела создаются при помощи процедур выталкивания, вращения, кручения, выталкивания по пути и т.п., производимых над плоскими объектами (замкнутыми контурами), подготовленными в эскизах. Для создания более сложных моделей необходимо использовать выбор типа производимой операции: объединение, вычитание, пересечение. То есть, модель на экране будет представлять результат выбранного типа операции над существующим и вновь создаваемым объектом.

Пространственное каркасно-поверхностное моделирование

Пространственное моделирование начинается с каркаса. Стандартный набор объектов - точки, прямые, окружности, плоскости, а также сплайны и кривые второго порядка позволяют формировать произвольные пространственные линии, проводить глобальную и местную модификацию кривых, осуществляя компоновку и электронное макетирование сложных конструкций.

Пространственный каркас служит основой для создания поверхностей произвольной формы, моделируемых бикубическими сплайнами. Поверхности строятся по одиночным и составным кривым, с продольными границами и без них, с возможностью сглаживать участки поверхностей в зоне стыков. Реализовано построение эквидистант, расчет сечений произвольными плоскостями, построение разверток и работа с ними. Методы формирования поверхностей, отработанные в авиационной промышленности, могут применяться для проектирования поверхностей автомобилей, кораблей, корпусов бытовых приборов, штампов, пресс-форм и других изделий сложной формы.

Созданные поверхности могут быть переданы в программу фрезерной обработки

8.6. Поверхностная модель, кроме вершин и ребер содержит грани (прямоугольные или треугольные), необходимые для аппроксимации поверхностей. Поверхности создаются с помощью операций над плоскими кривыми, подготовленными в эскизах. В APM Studio возможно формирование поверхностей следующими командами: сфера, выталкивание по нормали и по произвольной кривой, вращение, контурная плоскость и др. Криволинейные поверхности можно задавать набором произвольных поперечных сечений.

Для создания более сложных поверхностей можно использовать следующие операции над готовыми поверхностями: пересечение, скругление, простановка фасок, сшивка поверхностей, удаление существующих граней и т.д.

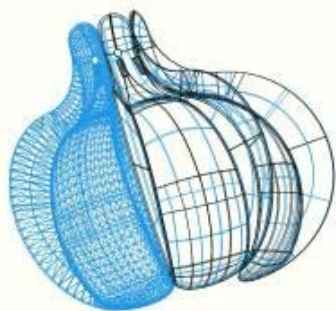
Поверхностная модель позволяет описывать иногда достаточно сложные поверхности. Такую возможность часто добавляют к каркасным моделям для описания поверхностей изделия, которые невозможно автоматически определить по каркасной модели. Однако такая гибридная модель (каркасная плюс поверхностная) не обеспечивает однозначности, которая позволяла бы определить, ограничивают ли заданные поверхности некоторый объем.

Поверхностная модель во многих случаях соответствует нуждам промышленности (авиационная промышленность, машиностроение, автомобилестроение, энергетическое машиностроение и т.д.) при описании сложных форм и работе с ними. Возможны различные виды задания поверхностей (плоскости, поверхности вращения, линейчатые поверхности). Используются различные математические модели аппроксимации поверхностей (методы Кунса, Безье, В-сплайны).

При моделировании конструкций, расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) которых производится с помощью МКЭ, используются стержневые, пластинчатые и объемные (твердотельные) конечные элементы.

Создание поверхностной модели

Для создания сложных геометрических объектов используются стандартные процедуры. Прежде всего это операции «Выталкивание» и «Поворот вокруг оси». Они применяются при



формировании осесимметричных и постоянных по длине поверхностей. На тот случай, если в качестве образующих выступают отличающиеся друг от друга геометрические объекты, предусмотрена функция «Выталкивание по сечениям» (рисунок 6). В качестве пути может выступать как кривая, находящаяся в одной плоскости, так и кривая, принадлежащая одновременно

Рисунок 5. Конструктивная твердотельная геометрия

нескольким плоскостям. Создание пространственных кривых стало возможным благодаря реализации такого рабочего пространства, как трехмерный эскиз.

Поверхностное моделирование предоставляет возможность легкой работы с поверхностями и кривыми любой сложности, что дает возможность получать производственные чертежи с истинными контурами, для вычисления и расчета соотношения масс и структуры деталей для сборок. Поверхности могут быть разрезаны, разбиты или соединены в то время,

как отдельные кривые могут быть подвергнуты редактированию, расщеплению или другому изменению. Ориентация участков поверхности и их соединения исправляются автоматически для получения сглаженной копии. Проектировщик прямо из модели может легко подготовить файл для станка с ЧПУ.

Пример пространственного каркасно-поверхностного моделирования

Система автоматизированного проектирования "Сударушка" - развитие системы ГЕМОС (геометрическое моделирование обводов самолета), разработанной специалистами Российской авиационной промышленности в ОКБ им.А.С.Яковлева в 1989-1994 годах.

"Сударушка" включает в себя программы для выпуска чертежей, пространственного моделирования, задания поверхностей сложной формы, систему подготовки управляющих программ для фрезерных станков с ЧПУ, гравировки, для листовой штамповки и высечки, для прочностных расчетов методом конечных элементов, для аэродинамических расчетов, и другие программы, а также для проектирования деревянных домов. Пространственное моделирование начинается с каркаса. Стандартный набор объектов - точки, прямые, окружности, плоскости, а также сплайны и кривые второго порядка позволяют формировать произвольные пространственные линии, проводить глобальную и местную модификацию кривых, осуществляя компоновку и электронное макетирование сложных конструкций. Пространственный каркас служит основой для создания поверхностей произвольной формы, моделируемых бикубическими сплайнами. Методы формирования поверхностей, отработанные в авиационной промышленности, могут применяться для проектирования поверхностей автомобилей, кораблей, корпусов бытовых приборов, штампов, пресс-форм и других изделий сложной формы. Созданные поверхности могут быть переданы в программу фрезерной обработки.

Система EdgeCAM разработана компанией Pathtrace Engineering Systems и является разработкой в области создания управляющих программ обработки на станках с ЧПУ токарной, фрезерной и электроэрозионной групп.

Получение модели детали в EdgeCAM - возможности поверхностного проектирования (рисунки 6):

- Линейчатые поверхности (Ruled Surfaces);
- Поверхности Сдвига (Tabulated Cylinder);
- Простые поверхности (Primitive Surfaces) - сфера (Sphere), параллелепипед (Slab), конус (Cone), цилиндр (Cylinder);
- Поверхности Вращения (Surface of Revolution);
- Лоскутные поверхности Кунса (Coons Patch Surface);
- Поверхности течения (Flowed Surfaces);

- Поверхности по сечениям (Lofted Curves);
- Подобные поверхности (Offset Surface);
- Поверхности скругления (Fillet Surface), включая поверхность сглаженного угла (Corner Blend);
- Сплайновые поверхности (Spline Surfaces);
- Bi-Сплайновые поверхности и поверхности Безье (B-Spline & Bezier Surfaces).

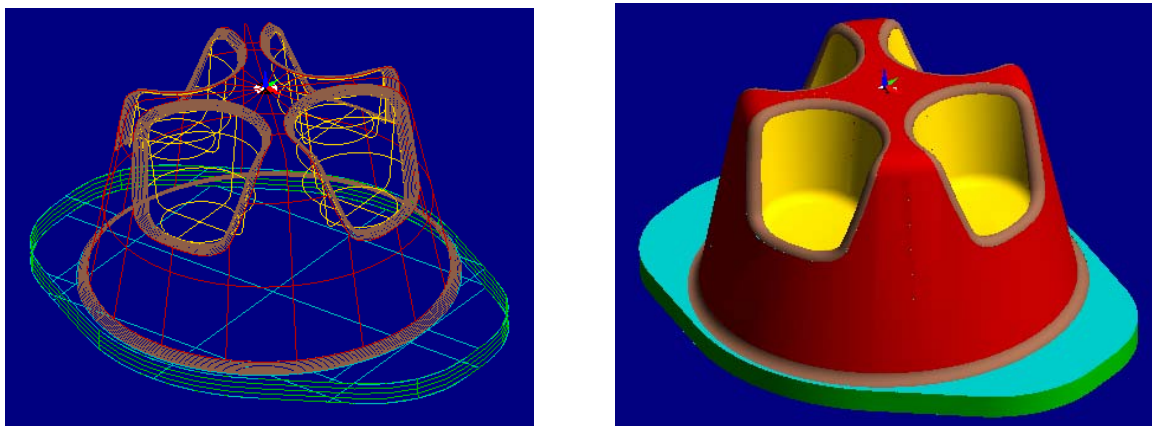


Рисунок 6. Поверхностное проектирование

8.7. Гибридное моделирование. Гибридное моделирование (CADD 5, UG/Solid Modelling, Euclid, CATIA) позволяет сочетать каркасную, поверхностную, твердотельную геометрию и использовать комбинации жестко размерного (с явным заданием геометрии) и параметрического моделирования. Конечно, лучше бы использовать единственную стратегию моделирования для всех продуктов, но, во-первых, часто приходится применять ранее наработанные данные либо данные, импортируемые из других систем, а они могут иметь разные представления. Во-вторых, в какие-то моменты эффективнее работать с проволочными моделями или геометрией 3D, описанной поверхностью. Часто бывает проще иметь различные представления для разных компонентов. Например, листовое покрытие выгоднее моделировать поверхностью, а для трубопроводов использовать осесимметричное представление /4/.

8.8. Функциональное моделирование. В Ноябре 2001 компания ImpactXoft разработала систему IXSPeeD, основанную на новой идеологии моделирования - «Функциональное моделирование», основанной не на геометрии, а на функциональных особенностях детали. IXSPeeD также позволяет совместную разработку изделия в реальном времени по сети и internet (даже в пределах одной детали, а не сборки) при очень малых скоростях соединения. Во всех перечисленных случаях создаваемая функциональная модель позволяет сформировать описание работы (функционирования) создаваемой системы и проанализировать, с её помощью, реальность предстоящих улучшений, величины необходимых затрат и другие ха-

рактеристики создаваемой, или подвергающейся модернизации, системы. А также грамотно скоординировать работу подсистем. Выводы, следующие из такого анализа, позволяют принять решение о целесообразности реализации проекта системы и определить его результаты.

Лекция 9

Методы и средства разработки графических приложений.

План занятий:

9.1. Аппроксимация кубическими сплайнами методом наименьших квадратов (МНК).

9.2. Интерполяция функции кубическими сплайнами.

9.3. Сглаживание кубическими сплайнами

9.1. Аппроксимация кубическими сплайнами методом наименьших квадратов (МНК).

Во многом данный алгоритм похож на алгоритм аппроксимации обобщенным МНК, так что я рекомендую прочитать описание того алгоритма перед тем, как продолжить. Все термины, используемые ниже, описаны в рекомендуемой статье, так что я не буду описывать их ещё раз.

Итак, нам надо аппроксимировать по МНК функцию, заданную набором N точек x_i , значений функций в них и сопоставленных им весов. В качестве базисных функций мы используем кубические сплайны, полученные при разбиении отрезка $[A, B]$ (отрезок выбирается программистом) на $M-1$ равных частей. Такие сплайны образуют линейное пространство размерности M , что позволяет выбрать в них M базисных функций и применить к решению задачи линейный МНК.

Замечание №1

Следует отметить, что отрезок $[A, B]$ должен включать в себя все заданные точки x_i . Если хотя бы одна из точек не будет лежать на отрезке, качество аппроксимации заметно ухудшится. Обычно имеет смысл брать $A = \min(x_i)$, $B = \max(x_i)$. Наличие точек, располагающихся близко к краям отрезка крайне желательно для получения качественной аппроксимации.

Алгоритм

Для решения задачи надо прежде всего построить M базисных сплайнов. Можно легко доказать, что на отрезке $[0, M-1]$ можно выбрать в качестве базиса такую систему сплайнов $S_j(x)$, что:

$$S_j(i) = 0 \text{ при } i \neq j$$

$$S_j(i) = 1 \text{ при } i = j$$

Пример такой системы приведен на графике рисунок 7 ($M = 4$):

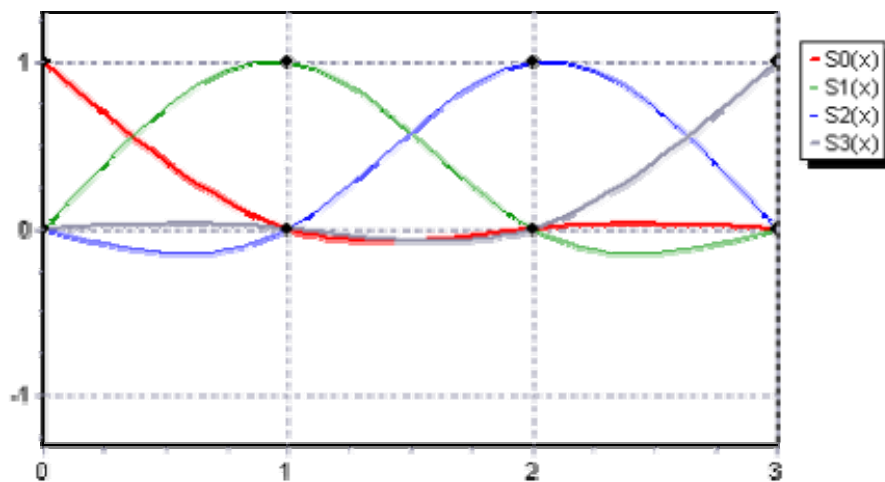


Рисунок 7. Система сплайнов

После того, как базисная система найдена - а её поиск является единственной особенностью данного алгоритма - остается только вычислить значения базисных сплайнов в точках x_i и провести вычисления согласно обобщенному МНК.

9.2. Интерполяция функции кубическими сплайнами.

Интерполяция кубическими сплайнами - это быстрый, эффективный и устойчивый способ интерполяции функций, который является основным конкурентом полиномиальной интерполяции. В его основе лежит следующая идея - интервал интерполяции разбивается на небольшие отрезки, на каждом из которых функция задается полиномом третьей степени. Коэффициенты полинома подбираются так, что на границах интервалов обеспечивается непрерывность функции, её первой и второй производных. Также есть возможность задать граничные условия - значения первой или второй производной на границах интервала. Если значения одной из производных на границе известны, то задав их, мы получаем крайне точ-

ную интерполяционную схему. Если значения неизвестны, то можно задать вторую производную на границе равной нулю и получить достаточно хорошие результаты.

Теперь о математической части. Пусть заданы точки x_1, x_2, \dots, x_n и соответствующие им значения y_1, y_2, \dots, y_n функции $f(x)$. На каждом из отрезков $[x_i, x_{i+1}]$, $i=1, 2, \dots, n-1$ функцию приближаем при помощи полинома третьей степени:

$$S(x) = y_i + c_{1i}(x-x_i) + c_{2i}(x-x_i)^2 + c_{3i}(x-x_i)^3, x_i < x < x_{i+1}$$

Для вычисления коэффициентов c_{1i}, c_{2i}, c_{3i} , $i = 1, 2, \dots, n-1$ решается система линейных уравнений, построенная из условия непрерывности производной $S'(x)$ в узлах сетки и дополнительных краевых условий на вторую производную, которые имеют вид:

$$2*S''_1 + b_1 * S''_2 = b_2$$

$$b_3 * S''_{n-1} + 2*S''_n = b_4$$

здесь возможны два случая. Случай первый, когда известны значения первой производной в краевых точках ($y'_1 = y'(x_1)$, $y'_n = y'(x_n)$), тогда следует положить:

$$b_1 = 1, b_2 = (6/(x_2-x_1)) * ((y_2-y_1)/(x_2-x_1)-y'_1),$$

$$b_3 = 1, b_4 = (6/(x_n-x_{n-1})) * (y'_n - (y_n-y_{n-1})/(x_n-x_{n-1}))$$

Случай второй, когда известны значения второй производной ($y''_1 = y''(x_1)$, $y''_n = y''(x_n)$), тогда полагаем:

$$b_1 = 0, b_2 = 2*y''_1$$

$$b_3 = 0, b_4 = 2*y''_n$$

9.3. Сглаживание кубическими сплайнами

Сглаживание кубическими сплайнами - это особый инструмент сглаживания для 2М диаграмм рассеяния, который обычно создает гладкое обобщение отношения между двумя переменными на диаграмме рассеяния. *Сглаживание кубическими сплайнами* часто используется в обобщенных аддитивных моделях для оценивания неуточненной (непараметрической) функции предикторных переменных, которая наилучшим образом прогнозирует (преобразованные) значения зависимой переменной.

Глобальная и кусочно-полиномиальная интерполяция. Пусть функция $f(x)$ интерполируется на отрезке $[a, b]$. Метод решения этой задачи с помощью единого многочлена $P_n(x)$ для всего отрезка называют *глобальной полиномиальной интерполяцией*. В вычислительной практике такой подход применяется редко в силу различных причин. Одна из причин в необ-

ходимо задать стратегию выбора узлов при интерполяции функции f многочленами все возрастающей степени n .

Теорема Фабера. Какова бы ни была стратегия выбора узлов интерполяции, найдется непре-

рывная на отрезке $[a, b]$ функция f , для которой $\max_{x \in [a, b]} |f(x) - P_n(x)| \rightarrow \infty$ при $n \rightarrow \infty$. Таким образом, теорема Фабера отрицает существование единой для всех непрерывных функций стратегии выбора узлов.

Лекция 10

Стандарты в графических системах САПР

План занятий:

10.1. Эволюция графических стандартов

10.1.1. Классификация

10.1.2. Графические системы класса 2D

10.1.3. Графические системы класса 3D

10.1.4. Стандарты обмена данными

10.2. Нейтральные форматы хранения и обмена геометрических 3D-данных.

10.3. Краткое описание форматов.

10.1 Эволюция графических стандартов

Стандартизация в машинной графике направлена на обеспечение мобильности и переносимости прикладных программ, унификацию взаимодействия с графическими устройствами и обеспечение возможности обмена графической информацией между различными подсистемами. Использование стандартов позволяет сократить сроки разработки графических систем и увеличить их жизненный цикл. Сегодня в практике использования средств МГ применяется большое количество стандартов, различающихся по назначению и функциональным возможностям. Они имеют разную степень официальности - от фактических до международных стандартов. В статье производится попытка классификации графических стандартов и сравнения их функциональных возможностей.

Отправной точкой в работах по стандартизации графических средств следует считать 1976 год. Именно тогда во французском городе Сейлак собралось первое совещание по обсуждению графических стандартов. С этого момента графическими стандартами занимаются в различных национальных и международных организациях по стандартизации, связанных с использованием компьютеров: ISO, ANSI, NBS, DIN, ANFOR, ECMA и др. Кроме того, большое влияние на стандартизацию оказывают крупнейшие фирмы производители аппаратуры и программного обеспечения. С 1987 года деятельность по графическим стандартам возглавляет и координирует 24-й подкомитет первого объединенного технического комитета - ISO/IEC JTC1/SC24.

Эволюция графических стандартов отражает процесс развития средств машинной графики от векторной графики до систем виртуальной реальности. Перечислим проекты, оставившие наиболее заметный след в двадцатилетней истории графических стандартов:

Core - Core Graphics System

GKS - Graphical Kernel System

MGKS - Minimal GKS

GKS-N - New Graphical Kernel System

CKS-3D - 3D Graphical Kernel System

PHIGS P - rogrammer's Hierarchical Interactive Graphics System

VDI - Virtual Device Interface

CGI - Computer Graphics Interface

PS - Adobe Systems PostScript Language

DPS - Adobe Systems Display Postscript System

NeWS - SUN Microsystems Network Extensible Window System

X Window - MIT X Window System

Windows - Microsoft Windows System

XGKS - X+ GKS

PEX - PHIGS+ X

OpenGL - SGI Graphical Language

10.1.1.Классификация

В основе разработки графических стандартов лежит принцип виртуальных ресурсов, позволяющий разделить графическую систему на несколько слоев - прикладной, базисный и аппаратнозависимый. При этом каждый слой является виртуальным ресурсом для верхних

слоев и может использовать возможности нижних слоев с помощью стандартизованных программных интерфейсов. Кроме того, графические системы могут обмениваться информацией с другими системами или подсистемами с помощью стандартизованных файлов или протоколов. В соответствии с этими соображениями первоначально были выделены три основных направления стандартизации - *базисные графические системы, интерфейсы виртуального устройства, форматы обмена графическими данными*.

Стандартизация базисных графических систем направлена на обеспечение мобильности прикладных программ и основана на концепции ядра, содержащего универсальный набор графических функций, общих для большинства применений.

Наиболее известными проектами по *стандартизации базисных систем* являются Core System (Core Graphics System), GKS (Graphical Kernel System), GKS-3D, PHIGS (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System), PHIGS+. Основное направление развития этих проектов заключалось в усилении изобразительных возможностей для визуализации геометрических объектов (2D, 3D, удаление скрытых линий и граней, полутонная закрашка, текстурирование и пр.). Стандарт на базисную графическую систему включает в себя функциональное описание и спецификации графических функций для различных языков программирования.

Концепция виртуального устройства начала разрабатываться с момента появления аппаратно-независимых графических систем. Интерфейс виртуального устройства разделяет аппаратно-зависимую и аппаратно-независимую части графической системы. Он обеспечивает заменяемость графических устройств (терминальную независимость), а также возможность работы с несколькими устройствами одновременно. Интерфейс виртуального устройства может существовать в форме программного интерфейса и/или протокола взаимодействия двух частей графической системы. Наиболее четко концепция виртуального устройства представлена в проекте CGI (Computer Graphics Interface).

Развитие этой концепции совпало с активным перемещением графических средств на персональные компьютеры и графические станции. При этом основными интерактивными устройствами стали растровые дисплеи, а устройствами для получения твердых копий - растровые принтеры. Это привело к необходимости выделения отдельного набора растровых функций, позволяющих использовать функциональные возможности растровых устройств.

Сегодня, наиболее развитые проекты PEX и OpenGL неплохо совмещают основные достижения как геометрического так и растрового направления.

10.1.2. Графические системы класса 2D

GKS - стандарт ISO на базисную графическую систему. Впервые опубликован в 1982 году. Принят в качестве международного стандарта в 1985 году. Разработаны спецификации GKS для языков C, Fortran, Pascal, Ada. В соответствии или с учетом стандарта GKS разработано большое количество графических систем, например GKS-3D и PHIGS.

- Функции управления обеспечивают работу с несколькими логическими рабочими станциями ввода/вывода. Одной из категорий рабочих станций является метафайл. Поддерживается таблица состояния системы, а также таблицы конфигурации и состояния рабочих станций. Имеется более 100 функций опроса возможностей и текущего состояния системы.

- Функции ввода поддерживают логические устройства ввода координат, линий, чисел, текстовых строк, а также устройства выбора и указания. Устройства ввода могут работать в режимах запроса, опроса и обработки событий.

MGKS или MiniGKS - сокращенные варианты GKS без сегментации и с минимальным количеством функций опроса. Эти проекты прошли мимо внимания разработчиков стандартов но были поддержаны многими разработчиками конкретных графических систем.

GKS-N или New GKS, проект обсуждавшийся в ISO (1989 год) направлен на улучшение функциональных характеристик GKS. Заметно явное влияние проекта CGI. Последующих публикаций не было.

PostScript (Adobe Systems, 1985) - язык описания страниц для растровых печатающих устройств. Отличительная особенность - широкие изобразительные возможности при минимальном наборе графических функций.

CGI - проект стандарта (ISO, 1986) на интерфейс виртуального устройства. CGI ориентирован не на прикладных, а на системных программистов, занимающихся разработкой графических систем. Функциональные возможности CGI сформированы с учетом разработанных ранее проектов GKS и CGM (Computer Graphics Metafile). Заметно влияние проектов PostScript и X Window System.

X Window System - многооконная графическая система, разработанная в Массачусетском Технологическом институте. Первые публикации появились в 1986 году. Одна из основных целей разработки - обеспечение сетевой прозрачности и возможности использования широкого спектра цветных и монохромных графических станций.

- Система разделена на две части, клиент и сервер, взаимодействующие с помощью X-протокола. Прикладному программисту предоставлена библиотека базисных функций X Lib и надстроенная над ней библиотека инструментальных средств X Toolkit.

Microsoft Windows - многооконная надстройка над операционной системой MS DOS на IBM PC. Версия Windows NT трансформировалась в полноценную операционную систему. Обеспечивает многозадачный режим. Графические функции системы аналогичны имеющимся в X Window, однако в параметрах функций нет идентификатора дисплея. Поддерживается метафайл.

NeWs (Sun Microsystems, 1987) и **Display Postscript** (Adobe Systems, 1990) - многооконные графические системы, в основе которых лежит PostScript. Обладают эффективными графическими возможностями, унаследованными от языка PostScript. В системе NeWS появились 3D траектории.

10.1.3. Графические системы класса 3D

Core System - первый проект (ANSI) по стандартизации базисной графической системы. Функциональное описание было опубликовано в 1977 году. На этот проект были замкнуты усилия многих разработчиков графических средств в течение последующих 5 лет. Построен на концепции рисующего элемента (2D и 3D) и обеспечивает работу только с линиями, маркерами и текстами. Для управления параметрами проектирования используется аналогия с камерой. Поддерживается сегментация. После появления стандартов GKS-3D и PHIGS проект Core System потерял свою актуальность.

GKS-3D - расширенный вариант GKS (ISO, 1987), позволяющий работать с трехмерными графическими объектами. В этот проект включены следующие дополнительные (по отношению к GKS) возможности:

- Функции вывода дополнены семью 3D-примитивами. Введены 3D-преобразования 3D-нормализация, видовое преобразование, 3D-преобразование рабочей станции. Видовое преобразование позволяет производить параллельное и центральное проецирование.

XGKS, GEX - проекты объединения систем X Window и GKS/GKS-3D. Обсуждались в литературе по стандартизации, но не получили дальнейшего развития.

PHIGS - альтернативный по отношению к GKS-3D стандарт (ANSI-1986, ISO-1989), обеспечивающий возможность интерактивных манипуляций с иерархически структурированными графическими объектами.

PHIGS+(или PHIGS-PLUS) - проект расширения PHIGS (ISO/ANSI Draft 1990), направленный на обеспечение основных требований прикладных программ в области - освещения, полутоновой закрашки и эффективного описания сложных поверхностей.

PEX (MIT X Consortium) - проект расширения системы X Window для поддержки PHIGS+. Первоначальная версия XPHIGS 1.0 - 1987 год, последняя версия PEX 6.0 - 1992 год. Одна из двух систем (другая - OpenGL), обеспечивающих наиболее развитые на сегодняшний день инструментальные средства для построения реалистичных изображений.

OpenGL - стандарт, предложенный компанией Silicon Graphics в 1993 году, регламентирующий интерфейс прикладного программиста. По функциональным возможностям OpenGL имеет собственные развитые средства для работы с растровыми изображениями.

10.1.4. Стандарты обмена данными

Стандарты обмена графическими данными можно условно разделить на следующие группы:

- ***графические метафайлы,***
- ***проблемно-ориентированные протоколы,***
- ***растровые графические файлы.***

Графический метафайл представляет собой описание изображения в функциях виртуального графического устройства (в терминах примитивов и атрибутов). Он обеспечивает возможность запоминать графическую информацию единым образом, передавать ее между различными системами и интерпретировать для вывода на различные устройства. Характеристики метафайла определяются его функциональными возможностями и способом кодирования информации.

Метафайл обычно разрабатывается как составная часть какой либо графической системы. При этом его функциональные возможности однозначно соответствуют возможностям этой системы. Способ кодирования выбирается в по с одному из следующих критериев:

- минимальность объема кодированной информации,

- минимальность времени для кодирования и декодирования,
- наглядность (возможность чтения и редактирования).

В зависимости от выбранного способа кодирования метафайл может использоваться в качестве средства хранения и передачи изображений, протокола взаимодействия отдельных подсистем, языка описания изображений.

GKSM - GKS Metafile

CGM - Computer Graphics Metafile

NAPLPS - North American Presentation Level Protocol Syntax

HPG - Hewlett Packard Graphics Language

PostScript - Adobe Systems' Language

WMF - Microsoft Windows MetaFile

GEM - GEM Draw File Format

PIC - Lotus Graphics File Format

SLD - AutoCad Slide File Format

GKSM - стандарт de-facto на графический метафайл в рамках системы GKS (приложение "Е" к стандарту GKS). По функциональным возможностям GKSM полностью соответствует системе GKS, поэтому он легко интерпретируется в соответствующих стандартах систем GKS. Кодирование в GKSM текстовое, что позволяет просматривать и редактировать метафайл GKS.

CGM - стандарт ISO на графический метафайл. Функционально CGM соответствует стандарту CGI.

NAPLPS - стандарт на представление графических данных в сетях VIDEOTEX. Основными требованиями при разработке этого протокола были следующие: возможность передачи графической информации в потоке алфавитно-цифровых данных, минимальность объема передаваемых данных, минимальность усилий для интерпретации и возможность вывода изображений на простейшие устройства. Обеспечение этих требований привело к тому, что был разработан эффективный способ упаковки графической информации **в семи- или восьмибитные коды ASCII**. Эти же требования привели к ограничению функциональных возможностей протокола, что не позволяет получить высокое качество изображений при использовании современных графических устройств.

HPG - стандарт компании Hewlett-Packard на протокол взаимодействия с графическими устройствами (в первую очередь графопостроителями), выпускаемыми этой фирмой. Он содержит небольшое количество графических функций, легко читается и интерпретируется. В некоторых графических системах на персональных компьютерах HPGL используется в качестве графического метафайла.

PostScript - является языком описания страниц для электронных печатающих устройств, в первую очередь лазерных принтеров. Он обеспечивает возможность получения высококачественных документов на устройствах разного разрешения. PostScript обладает широкими возможностями для описания сложных изображений. Он становится незаменим при передаче тексто-графических документов, предназначенных для воспроизведения на печатающих устройствах с высоким разрешением.

WMF, GEM, PIC, SLD и др. - это локальные стандарты на метафайл в рамках соответствующих программных систем. Прикладные или проблемно-ориентированные графические протоколы обеспечивают наиболее эффективный способ хранения и передачи графических данных в прикладных системах. Кодирование информации в этих протоколах производится без потери семантики и в наиболее сжатой форме, что обеспечивает минимальность объема хранящейся или передаваемой информации и допускает свободу в выборе различных способов графического представления данных.

Сегодня в части стандартизации прикладных графических протоколов наиболее проработанной является область машиностроительных и электронных САПР. Здесь уже имеется ряд отраслевых и международных стандартов:

IGES - Initial Graphics Exchange Specification

SET - Standard d'Exchange et de Transfert

PDDI - Product Data Definition Interface

MAP - Manufacturing Automation Protocol

VDAFS - Verband der Deutschen Automobilindustrie-Flachen-Schnittstelle

PDES - Product Data Exchange Standard

STEP - Standard for Exchange Product Model Data

EDIF - Electronic Design Interchange Format

DXF - Autocad Data eXchange Format

В других отраслях существуют пока только локальные стандарты, используемые в рамках одной или нескольких организаций.

Растровые графические файлы стали активно применяться для хранения и транспортировки графической информации, в системах обработки данных и подготовки научно-технической документации, использующих персональные компьютеры, а также лазерные и струйные печатающие устройства. Основными характеристиками растровых файлов являются метод упаковки (сжатия) информации и тип поддерживаемой цветовой модели.

Первоначально растровые файлы содержали только статические изображения.- В последнее время появились проекты по стандартизации форматов динамических (анимационных) изображений. Сегодня используется уже большое количество разнообразных форматов растровых файлов. Некоторые из них (например GIF, TIFF, PCX) получили широкое распространение и поддержку., другие ждут общественного признания, третьи поддерживаются только их разработчиками.

GIF - CompuServe Graphics Interchange Format

TIFF - Aldus & Microsoft Tag Image File Format

PCX - ZSoft PC Paintbrush format

RLE - CompuServe & Teletext Run Length Encoded

BMP - Microsoft Windows BitMaP

LBM - Deluxe Paint format

PIC - Pictor/PC Paint forma

MAC - MacPaint format

IMG - Gem Paint format

CUT - Dr. Halo Cut files

TGA - Targa format

JPEG - Joint Photographic Experts Group

MEPG - Moving Pictures Experts Group

FLC - AutodeskAnimator

AVI - Microsoft Animation Video GIF формат разработан в CompuServe Incorporation для хранения и транспортировки растровых изображений. Поддерживаемая цветовая модель - индексированные цветные изображения. Использует метод кодирования LZW (Lempel, Ziv & Welch), дающий высокий коэффициент сжатия. Позволяет содержать в одном файле несколько изображений, не связанных между собой. Поддерживается многими разработчиками графических систем. TIFF разработан фирмами Aldus и Microsoft главным образом для настольных издательских систем. Распространенность этого формата обусловлена его гибкостью в части поддерживаемых способов кодирования и цветовых моделей изображения.

TIFF поддерживает двух-уровневые (bi-level), монохромные (gray-scale), индексированные цветные (paletted color), и полные цветные (full RGB) изображения. Для кодирования различных изображений или его частей могут применяться различные методы, в частности LZW. Кроме того TIFF содержит метрические характеристики изображения - размер, плотность и пр. Предусмотрена возможность записи в один файл нескольких изображений и/или копий одного изображения с различными метрическими характеристиками. PCX формат распространен на ПК и поддерживается множеством графических редакторов и настольных издательских систем.

JPEG - стандарт ISO, ориентированный на цифровое описание (сжатие и кодирование) фотоизображений. Он предусматривает возможность частичной потери информации без визуального ухудшения качества изображения.

MPEG - стандарт ISO, предназначенный для кодирования динамических изображений и связанной с ними звуковой информации.

BMP, LBM, PIC, IMG, CUT, FLC и множество других форматов являются локальными стандартами на представление растровых изображений в рамках соответствующих программных систем.

Рассмотренные графические стандарты отражают процесс развития машинной графики от векторных систем к системам генерации реалистичных изображений. Следующее поколение стандартов будет связано уже с развитием систем мультимедиа, гипермедиа и виртуальной реальности, в которых графическая информация объединяется с любой другой /8/.

10.2. Нейтральные форматы хранения и обмена геометрических 3D-данных.

Нейтральные форматы хранения и обмена геометрических 3D-данных приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Нейтральные форматы хранения 3D-данных							
Формат	VDA-FS	STEP (ISO)	IGES (ISO)	VRLM	Parasolid	ACIS SAT	Open HFS
Версия	2.0	AP214	5.3	2	13 binary	7.0	6.0
Размер, Mb	52,420	16,285	10,252	2,301	0,339	1.240	0,0595

10.3. Краткое описание форматов.

VDA – (Verband der Automobilindustrie – File Standard) стандартный файл обмена сложной поверхностной геометрией в немецкой автомобильной промышленности. Преиму-

щества – если система поддерживает этот формат, то на все 100%. Недостаток очень большой размер и избыточность хранимой информации.

STEP – (ISO/IEC 10303 Standard for the Exchange of Product Model Data) - серия форматов изначально разработанный компанией Dassault (Catia) для хранения информации о сборке и структуре изделия. В соответствии с названием стандарта STEP определяет “нейтральный” формат представления данных об изделии в виде информационной модели. Данные об изделии включают в себя: состав и конфигурацию изделия; геометрические модели разных типов; административные данные; специальные данные. Геометрия отдельной детали описана прикладными протоколами AP203, AP214. На сегодня STEP ISO признан международным стандартом, но пока мало поддерживается разработчиками ПО.

IGES (International Graphics Exchange Standard)– разрабатываемый Национальным институтом стандартов и технологий США(NIST) - наиболее распространённый формат для хранения геометрии сложных поверхностей достаточно громоздок. Многие системы не поддерживают все возможности этого формата, что создает сложности при обмене данными. IGES ISO – признан международным стандартом.

Общим недостатком VDA-FS, STEP, IGES является их текстовый формат и как следствие большой размер и потребность к вычислительным мощностям компьютера для трансляции в CAD–систему. Загрузка модели большой сложности в этих форматах занимает иногда десятки минут и не всегда завершается успехом.

VRML – (Virtual Reality Modelling Language) – это уже не просто формат, а язык моделирования виртуальной реальности.

Стандарт на язык VRML 1.0 одобрен в январе 1998 г. Международной организацией по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO). Как графический формат базируется на подмножестве Open Inventor File Format фирмы Silicon Graphics. Позволяет описывать трехмерные интерактивные объекты (миры), с которыми средствами WWW могут взаимодействовать пользователи. Так же как и язык HTML, VRML не зависит от платформы, поддается расширению и не нуждается в высокой пропускной способности каналов связи. Для просмотра VRML - файлов необходимо иметь специальный VRML - браузер, либо дополнительный модуль к стандартному браузеру. На смену ему приходит новый, основанный на VRML формат X3D. Формат X3D призван стать основой представления подвижных сцен в 3D и средств визуальных 3D коммуникаций.

Parasolid u SAT – коммерческие форматы (www.parasolid.com, www.spatial.com) – на них базируются большинство (75 %) современных CAD/CAM/CAE систем.

Parasolid основан на профессиональном расширении STEP - PROSTEP, дополнен для работы со сложной геометрией и оптимизирован под существующие аппаратно-программные платформы. Поддерживает огромные сборки в сотни тысяч компонентов. Дальнейшее развитие SAT, в связи с покупкой компании разработчика фирмой Dassault неизвестно.

HSF – (HOOPS Stream Format www.openhsf.org) - новый открытый, базирующийся на XML и компактный формат обмена визуальной 3D-информацией между различными инженерными приложениями. Широко принят разработчиками для визуализации 3D моделей (более 200 современных систем: SolidWorks, Catia, Unigraphics и т.д.). Основными отличиями формата является его чрезвычайной компактность и очень малый объём вычислений для вывода оптимизированной геометрии на экран компьютера передачи графической информации средствами Internet. Широко известно, что на одного конструктора в MCAD индустрии приходится до 10 человек, которым нужно просто просматривать созданные детали для приобретения, поставки и т.д. (инженеры из других подразделений, менеджеры, партнёры, поставщики, заказчики, продавцы, технические публикации. Эти участники могут использовать CAD, Digital Mock-up, PDM, Simulation, CAM, CAE, View & Mark-up и другие приложения. Такое движение визуальных данных сделало необходимым создание этого нового формата. OpenHSF - открытый формат использующийся для передачи цифровых моделей на этапах от концепции, разработки, анализа, производства, маркетинга, электронной коммерции, поддержки и утилизации – то есть всего жизненного цикла продукта. OpenHSF не зависит от пакета и платформы и может хранить 2D/3D визуальные представления не связанные с конкретным разработчиком. Кроме геометрической информации хранится конечно-элементное представление, свойства и текстуры материала, информация о расчётах и т.д.

Все, описанные выше, форматы **не хранят параметрическую информацию** о построении. При передаче геометрии из одной CAD-системы в другую, получаем не параметризованную модель, которую сложно редактировать. Поэтому **необходимо создание нового формата или параметрического языка представления 3-мерной геометрии, базирующегося на логике построения деталей**. Это позволит осуществить мечту многих пользователей CAD систем о качественном обмене информацией между системами, с возможностью ее простого редактирования. Это также позволит пользователям быть более независимыми при выборе программных средств. Этот формат будет очень компактен и полезен для архивного хранения информации в системах документооборота PDM и пересылке по электронной почте.

Классификация САПР по ядру геометрического моделирования.

План занятий:

11.1. Частные ядра геометрического моделирования.

11.2. Ядра, доступные в исходном коде.

11.3. Лицензионные ядра геометрического моделирования.

Ядро — это набор математических функций, который предназначен для точного математического представления трехмерной формы изделия и управления этой моделью. Полученные с его помощью геометрические данные используются системами автоматизированного проектирования (CAD), технологической подготовки производства (CAM) и инженерного анализа (CAE) для разработки конструктивных элементов, сборок и изделий. Проектировщик получает доступ к функциям ядра из соответствующей САПР через графический пользовательский интерфейс. Таким образом, ядро имеет очень важное значение. Не зря его иногда называют “двигателем” системы проектирования. Именно оно определяет ее функциональные возможности и производительность. Ядро обрабатывает команды, сохраняет результаты и осуществляет вывод на дисплей /10/.

11.1. Частные ядра геометрического моделирования:

Наиболее “старыми” являются частные ядра, которые создаются и развиваются только для использования с конкретной системой проектирования. Именно на них были основаны первые САПР, появившиеся еще на заре компьютерной эры. И сейчас многие компании придерживаются такого же подхода. В их числе поставщик тяжелой САПР — Dassault Systems, разработчики систем среднего класса — think3 и VX Corporation, отечественные фирмы — АСКОН, “ГеММа”, “Кредо” и др.

У своего ядра есть немало преимуществ. Во-первых, тесная интеграция с интерфейсом приложения расширяет проектировщику доступ к функциям ядра и тем самым упрощает его работу. Например, он может сколько угодно раз выполнять операции отката или повторного выполнения задания. Во-вторых, разработчик САПР может делать ядро под собственные нужды, создавая только ту функциональность, которая требуется для конкретной системы. В-третьих, у него есть возможность быстро устранять ошибки и оптимизировать свой продукт по скорости работы и по объему данных. “Собственное ядро — гибко и управляемо,

изменения вносятся в него настолько оперативно, насколько это требуется самому создателю САПР”, — объяснил Евгений Бахин, директор по стратегическому развитию компании АСКОН.

Кроме того, нельзя забывать финансовый фактор. При использовании покупного ядра его стоимость закладывается в цену продукта. Более того, даже за написание модулей импорта-экспорта в форматы готовых ядер нужно платить. От этого избавлены владельцы своего механизма. Если применяется собственное ядро, то его доля в цене САПР, как правило, оптимальна и не зависит от изменений лицензионной политики стороннего разработчика.

Частное ядро Thinkdesign kernel является основой CAD-системы think3, разработанное компанией think3 Inc (США), ядро VX Overdrive компании Varimetrix Corp. - для разработки САМ – систем, ядро системы Компас 3D компании АСКОН, разработаны и применяются исключительно в указанных собственных системах.

11.2. Ядра, доступные в исходном коде:

Ядро Open CASCADE компании Matra Datavision. Open CASCADE v3.1 выпущен в ноябре 2000 года, ядро SMLib компании Solid Modeling Solutions – ядра, доступные в исходном коде и используются и дорабатываются компаниями-разработчиками CAD/CAM-систем.

11.3. Лицензионные ядра геометрического моделирования

Parasolid – ядро геометрического моделирования от компании UGS PLM Solutions Corporation, США. Его достоинства: 100 % параметрическое (основанное на дереве построения); гибридное моделирование (эскизы, булевские операции, примитивы, типовые элементы); простое добавление собственных элементов; конструктор свободен в выборе между поверхностью и телом; сохранение ассоциативных связей при изменении топологии; прямое моделирование.

Продукты, разработанные на ядре Parasolid, создают более 50% оборота от продажи CAD/CAM среднего уровня по всему миру. В мире более чем 870000 пользователей используют 240 продуктов на базе Parasolid, более 25% 3D-данных в формате Parasolid.

Среди CAD - систем, использующих геометрическое ядро Parasolid, нужно отметить следующие: Solid Edge (EDS), SolidMAN (ALTEA), Solid Builder (Andor), MicroStation/J и MicroStation Modeler (Bentley Systems Inc.), True SolidMaster (CADMAX Corp.), PEPS Solid Cut (Camtek), ICAD (Fujitsu), Anvil Express (MCS Inc.), DesignWave и Pro/Desktop (PTC), Solid Works (Solid Works Corp.), TopCad (Topcad SA), VISI-CAD (Vero International Software Srl.), T-FLEX CAD 7.0 (Top Systems).

Геометрическое ядро Parasolid применяется в следующих CAM – системах: CAMCORE Solid (Andor), MasterCAM (CNC Software Inc.), Esprin 98 (DP Technology Corp.), FeatureCAD (Engineering Geometry Inc.), Feature Recognition Toolkit (Geometric Software Solutions Co. Ltd.), Virtual Gibbs (Gibbs&Associates), TopCam (Topcad SA), VISI-CAM (Vero International Software Srl.), T-FLEX CAM 7.0 (Top Systems).

ACIS 3D Geometric Modeler ядро твердотельного моделирования, разработанное компанией Spatial Technology Inc./Dassault Systemes, от компании IBM (США). Компания Dassault Systemes, которая входит в IBM, приобрела технологию твердотельного моделирования ACIS 3D у компании Spatial.

Ядро пространственного моделирования ACIS применяется в следующих программных продуктах: AutoCad (Autodesk. Inc.), Cimatron (Cimatron Corp.), AMD 4 (AMD Corp.), ADEM (Omega Adem Technologies Ltd.), CADKEY (CADKEY Corporation) и других.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили два геометрических ядра: ACIS и Parasolid. Особняком стоят системы CATIA и Pro/ENGINEER, использующие свой математический аппарат. При этом считается, что ядро ACIS больше ориентировано на поверхностное моделирование, а Parasolid — на твердотельное. В базовой функциональности эти ядра сейчас практически не применяются — разработчики сами дописывают требуемые им функции. На Parasolid базируются такие известные системы, как UGS NX, Solid Edge и SolidWorks. На ACIS основаны многие специализированные САМ-системы. Типичными представителями в этом классе являются Cimatron и ADEM. Убежденным приверженцем ядра ACIS является AutoCAD. Исторически сложилось так, что на сегодняшний день САД-системы на основе ядра Parasolid обладают большей функциональностью, чем системы на ACIS.

Основными потребителями высокоуровневых решений всегда были и остаются аэрокосмическая, автомобильная и судостроительная промышленность, для которых характерно использование листовых деталей. Моделирование листовых деталей твердотельной геометрией не всегда возможно и целесообразно, ведь для этого требуется как минимум в два раза больший объем оперативной памяти компьютера (верхняя/нижняя плюс боковые поверхности вместо одной). Поэтому высокоуровневые САПР на равных работают с твердотельным и поверхностным представлением модели. Поставщики тяжелых САПР утверждают, что выбор высокоуровневой системы — исключительно политическое решение. Действительно, функциональность высокоуровневых систем схожа, хотя это утверждение очень легко опровергнуть.

Лекция 12 Технологии проектирования высокотехнологичных изделий в системе автоматизированного интегрированного производства

План занятия:

- 12.1. Технология нисходящего проектирования.*
- 12.2. Технология восходящего проектирования*
- 12.3. Технологии сквозного проектирования*
- 12.4. Технология последовательного проектирования*
- 12.5. Технология последовательного проектирования*
- 12.6. Технология параллельного автоматизированного проектирования*
- 12.7. Объектно-ориентированная технология проектирования*
- 12.8. Инженерная технология WAVE (What if Alternative Value Engineering)*

Для реализации современной компьютерной технологии проектирования и производства должны применяться системы автоматизированного проектирования технологической подготовки производства и инженерного анализа (CAD/CAM/CAE) высшего уровня, а также системы управления проектом (PDM — Product Data Management), в основе которых лежат комплексные системы поддержки принятия решений. Последние, во-первых, поддерживают весь цикл создания изделия от концептуальной идеи до реализации, а во-вторых (и это самое главное), создают проектно-технологическую среду для одновременной работы всех участников создания изделия с единой виртуальной электронной моделью этого изделия.

Процесс проектирования представляет собой достаточно сложную систему с большим числом участников, множеством параллельных, пересекающихся и встречных связей между ними, большими объемами циркулирующей информации. Одной из задач работы по созданию единого информационного пространства является упорядочение и формализация этих связей и информации, на основе которых уже решаются задачи управления проектами. При разработке высокотехнологичных изделий в настоящее время могут применяться несколько технологий проектирования. Некоторые из них уже широко применяются, а некоторые находятся на стадии разработки и внедрения. Рассмотрим более подробно варианты применения этих технологий.

12.1. Технология нисходящего проектирования начинается с унификации маршрутов проектирования, т.е. выбирается унифицированный маршрут, он разбивается на проектные процедуры, и эти процедуры также унифицируются. Происходит последова-

тельная пошаговая детализация выполняемого проекта, при этом на каждом этапе детализации должны быть рассмотрены альтернативные варианты решения и выбраны наилучшие, которые затем реализуются в виде проектов низшего уровня [1]. Подход позволяет унифицировать решения, как в рамках отдельной задачи, так и в предметной области. Методология нисходящего [6] проектирования предполагает, что инженеры начинают работать над проектом на высоком уровне абстракции, что позволяет им исследовать различные возможные варианты проекта на начальных этапах цикла проектирования и выбирать конкретные технические решения по проектируемым модулям и системам еще до выполнения конкретных коммутационно-монтажных процедур. При работе с такими проектами как разработка высокотехнологичных изделий, технологии нисходящего проектирования, дает особенно эффективные результаты для больших систем, содержащих много блоков, каждый из которых описывается на своем уровне сложности. Достоинства такого подхода очевидны - простота реализации, отсутствие необходимости постоянного согласования результатов отдельных этапов проектирования. Недостатки технологии нисходящего проектирования заключаются в последовательности реализации проекта, что приводит к дополнительным временным затратам в случае необходимости внесения каких-либо изменений - вся процедура должна будет повторяться сначала.

12.2. Технология восходящего проектирования - проектирование объекта как сложной иерархической системы, при котором выполнение процедур получения описаний низших иерархических уровней предшествует выполнению процедур получения описаний более высоких иерархических уровней (проектирование "снизу-вверх"). В этом случае заранее не документируется, для каких задач будут использоваться проектные процедуры, а просто формируется инструментарий для автоматизации проектных процедур по созданию отдельных разрабатываемых модулей общего проекта. В последствии все эти модули объединяются в единый проект. Объекты, проектируемые на каждом уровне при рассматриваемой технологии, должны стать типовыми, предназначенными для многих применений. При восходящем проектировании, функциональные характеристики элементов известны, а требования к ним носят предположительный характер и их пытаются удовлетворить.

Данный вид технологии находит всё меньшее применение в чистом виде для полного цикла проектирования по следующим причинам. Хотя каждый отдельный модуль спроектирован и разработан наилучшим образом, трудно достичь общей эффективности проекта, который представляет собой простое объединение проектов низшего уровня, создание которых не было подчинено единой глобальной цели. Однако современные CAD/CAM/CAE-

системы полностью от неё не отказываются и наряду с применением новых технологий позволяют использовать технологии восходящего и нисходящего проектирования отдельных узлов.

12.3. Технологии сквозного проектирования обеспечивают взаимосвязь каждого предыдущего этапа разработки с последующим и эффективную передачу завершённых проектных решений каждой стадии на все следующие ступени. В этом случае происходит формирования на начальной стадии проектирования аналитической информации об объекте. Информация носит прогностический характер и, основываясь на ней, можно начинать выполнение последующих этапов проектирования, не дожидаясь полного завершения предшествующих. Технология сквозного проектирования включает не только инструментарий, но также некоторую организацию работы, то есть порядок выполнения проектных операций, цели отдельных этапов проектирования и распределение ролей участников проекта.

Сквозное проектирование каждая группа разработчиков может адаптировать под особенности проекта (предметная область, масштабность проекта) и организацию (компактная рабочая группа, распределённый коллектив, сторонние исполнители, эксперты привлекаемые, либо члены группы). Сквозная передача информации на последующие этапы проектирования позволяет заблаговременно оценить всеми группами проектировщиков и разработчиков оптимальность очередного проектного решения. Таким образом, появляется возможность произвести рекомендованную определённой группой доработку раньше, чем дойдёт очередь до выполнения этой группой своего этапа проектирования. Этим достигается возможность объединить все рекомендации от всех групп специалистов, учесть их при самых ранних стадиях проектирования и избежать длительных многоитерационных переделок проекта.

Достоинства систем, применяющих эту технологию следующие. Они охватывают все стадии проектирования изделия (начиная от ввода описания проектируемого объекта до получения проектной документации), а на отдельных стадиях имеют альтернативные алгоритмы и программы реализации отдельных проектных процедур. Такие системы имеют широкие возможности контроля принимаемых проектных решений, отличаются модульным построением и обладают развитыми базами данных. Сквозные методы проектирования применяются в сочетании с технологией нисходящего или восходящего проектирования, что повышает их гибкость.

12.4. Технология последовательного проектирования означает, что каждый последующий этап проектирования начинается строго по завершении предыдущего с последовательной передачей информации о проекте от одного этапа к другому:

1. *Предпроектная стадия*
2. *Стадия эскизного проекта*
3. *Стадия технического проекта*
4. *Стадия рабочего проекта*
5. *Стадия испытаний*
6. *Стадия опытной эксплуатации*
7. *Стадия внедрения.*

Каждый этап делится на процедуры, а они подразделяются на операции. Схему этой технологии можно графически представить несколько по-другому: с точки зрения жизненного цикла изделия.

Последовательная технология наиболее проста в реализации и не требует никаких дополнительных средств взаимодействия и согласования проектных процедур. Однако после завершения этапов испытания и опытной эксплуатации могут быть выявлены недостатки в созданном проекте, и вся процедура проектирования должна будет производиться повторно, с возвратом на один, два, три (и т.д.) стадии назад или начинаться сначала. В современных условиях традиционный, последовательный подход к разработке новых изделий стал уступать место параллельному (concurrent engineering, simultaneous engineering).

В настоящее время он широко и с успехом развивается.

12.5. Технология параллельного автоматизированного проектирования является дальнейшим развитием технологии сквозного проектирования. В её основе лежит идея совмещенного проектирования изделия, а также процессов его изготовления и сопровождения, координируемая с помощью специально создаваемой для этой цели распределенной информационной среды. При параллельном проектировании информация относительно окончательных характеристик разрабатываемого изделия формируется и предоставляется сразу всем участникам работ уже на ранних этапах процесса проектирования. Имея в своем распоряжении специальные интегрированные инструментальные средства и автоматизированные системы проектирования, разработчик может создавать альтернативные стратегии и быстро оценивать их эффективность. Фактически при использовании этой технологии удается достичь "перекрытия" всех стадий жизненного цикла изделия. На каждом этапе все группы разработчиков и проектировщиков, получив предварительные данные об очередном предшествующем этапе проектирования и проанализировав эту текущую информа-

цию, могут дать свои рекомендации о направлении принятия оптимального проектного решения.

Текущий этап проектирования считается завершенным только тогда, когда учтены все доделки и изменения, вносимые последующими проектными группами. Такой подход позволяет ликвидировать повторение (возможно неоднократное) итераций проектирования, как при последовательной и сквозной технологии.

Таким образом, по сравнению с последовательной технологией проектирования длительность отдельного этапа параллельного проектирования увеличивается, но общее время выполнения проекта уменьшается, поскольку нет повторения проектных итераций.

Достоинства технологии параллельного автоматизированного проектирования заключаются в следующем:

- Способность к быстрому выполнению индивидуального заказа основывается на применении новых технологий и интеграцию знаний из различных проблемных областей жизненного цикла изделия.
- Повышение качества изделий происходит за счёт сокращения изменений (в 2-3 раза), вносимых в конструкцию на стадии изготовления, и упрощения сервисного обслуживания.
- Происходит устранение недостатков последовательного проектирования, в частности, когда ошибки проекта изделия неожиданно обнаруживаются на последних его стадиях.
- Технология индивидуализирована, и её конкретная реализация учитывает особенности предприятия, на котором она внедряется, а также требования заказчика.

12.6. Суть технологии последовательно-параллельного проектирования заключается в том, что проектирование всеми направлениями ведется на единой подоснове - каждое направление работает на своих вполне определенных слоях (существует специальный регламент). Приступать к работе можно, не дожидаясь полного окончания предыдущего этапа, т.е. можно работать параллельно.

Любые изменения, внесенные, например,технологами, сразу становятся доступны всем. Однако завершение каждого этапа и получение проекта каждого следующего уровня происходит последовательно, согласно установленному маршруту проектирования.

Принципы последовательно-параллельного проектирования заключаются в следующем:

- производить решение отдельных задач проектирования независимо от выполнения предыдущих и последующих этапов в условиях неполной, недостаточно точной информа-

ции, неопределенностью свыше 50%, т.е. решать задачи параллельно выполнению этапов и стадий проектирования;

- выделять процедуры на всех этапах, стадиях во всех направлениях, уровнях одновременно, т.е. последовательно-параллельно составлять задание, выявлять проблемы из множества вариантов, определять оптимальный, составлять функциональную схему, конструировать несущую систему, разрабатывать техническую документацию;
- производить НИОКР, моделирование, макетирование деталей, узлов, механизмов изделия в целом, анализ известных аналогов, прототипов на основе количественных и качественных элементных характеристик со степенью риска не более 50%;
- производить расчеты, формулировать основные параметры, характеристики, взаимосвязи между звеньями путем применения элементаристского системно-функционального анализа, структурализма, принципов вероятностного подхода;
- производить синтез оптимального варианта проектируемого изделия путем построения логической структуры функциональной и несущей систем на основе принципов движения проекта от идеализированного, абстрактного к обобщению конкретного и реализуемого с параметрами, при которых будет производиться технологический процесс в соответствии с заданными требованиями при всех допустимых значениях дестабилизирующих факторов.

При такой технологии создается "многослойный" объект, содержащий все запроектированные системы. Эта технология является параллельной также, как и рассмотренная выше. Просто её разработчики учли тот факт, что последовательность выполнения проектных процедур должна соблюдаться и не может быть полностью параллельной. По сути, любая параллельная технология всё-таки является последовательно-параллельной.

12.7. Объектно-ориентированная технология проектирования представляет собой симбиоз проблемно-ориентированного и инструментального проектирования. Для решения задач проектирования и производства предлагается технологический подход. Сначала продумывается общий подход к проектированию, то есть концепция проектирования, под которую создается технология, а под нее, в свою очередь, разрабатывается инструментарий. В настоящее время инструментарий представляет собой не решение проблемы, а набор определенных элементарных функций, которые с помощью технологического связывания образуют проектное решение – объект.

Достоинства такого подхода - структурированность и управляемость процесса проектирования, высокая технологичность (процесс предстает не как набор задач, а как взаимодействующие стадии техпроцесса с информационными потоками между ними), наличие

технологического инструментария. Все это позволяет легко перестраивать те или иные технологические решения, в результате чего создается единая технологическая среда для решения поставленной задачи.

Недостатком такой технологии проектирования является необходимость большой настройки системы проектирования под конкретную задачу либо вообще создания новой технологии и средств её использования в каждом конкретном проекте. Однако при проектировании и создании высокотехнологичных изделий такой подход должен обязательно применяться. Каждое высокотехнологичное изделие представляет собой сложную систему, состоящими из множества объектов. Применение технологии объектного проектирования касается выбора технологии проектирования, как отдельного объекта-изделия, так и выполнения отдельного этапа проектирования и при правильном выборе соответствующей объектно-ориентированной технологии поможет улучшить качество конечного продукта.

12.8. Инженерная технология WAVE (What if Alternative Value Engineering), предназначена для целевого управления глобальными модификациями, проводимыми в больших сборках сложных изделий. Впервые технология была применена в 14-й версии Unigraphics. Эта технология позволяет реализовать даже на уровне CAD/CAE/CAM-системы процесс проектирования в параллельном режиме с созданием единой виртуальной цифровой модели. Благодаря WAVE появилась возможность создавать полное электронное представление любого сложного изделия, состоящего из большого числа деталей, поддерживать его параллельное проектирование, эффективно управлять изменениями в процессе проектирования и создания конечного изделия.

Технология WAVE является базой для параметрического моделирования изделия любой сложности. Механизм управляемой ассоциативной связи между геометрическими моделями дает возможность объединить концептуальное проектирование и детальное конструирование таким образом, чтобы изменения на концептуальном уровне автоматически отражались бы на уровне не только отдельных деталей, но и вторичных технологических моделей. Технология WAVE позволила связать управляемой системой параметров все входящие в сборочную модель детали: между собой и с технологическим процессом их изготовления. Несколько позже появилась возможность формализовать знания, накопленные на предприятии, и широко использовать их в дальнейшей работе.

По этой технологии все управление проектом сконцентрировано в так называемой «управляющей структуре», которая состоит из нескольких наиболее важных параметров, задающих функциональные характеристики изделия и связанных со всей моделью посред-

ством многоуровневых управляемых ассоциативных связей. Задействовав технологию WAVE при создании сборочной модели, можно изменить ассоциативную модель в течение нескольких минут после изменения исходной детали.

Достоинства этой технологии заключаются в том, что она открывает возможность совместной работы конструкторов и технологов и значительно ускоряет процесс проектирования. WAVE позволяет проводить оптимизацию конструкции на концептуальной упрощенной электронной модели изделия и транслировать изменения в результате оптимизации на детальную электронную модель сколь угодно сложного изделия.

Использование различных технологий при разработке высокосложных изделий. Рассмотрим возможные схемы и комбинации при применении указанных технологий с учётом особенностей проектировании разработки и производства высокотехнологичных (сложных) изделий машиностроения. Здесь под сложными изделиями понимается как наукоёмкая многокомпонентная продукция, так и продукция, для производства которой требуются сложные технологические процессы.

Организационно требуется обеспечить эффективное выполнение проектных работ, оформление которых и представление являются очень многоплановыми. К этому направлению относятся:

1. Создание технической базы для применения современных программных средств при проектировании, включающей современные компьютеры, высокоскоростную локальную компьютерную сеть с управляющими серверами, серверы накопления, обмена, хранения информации (справочной, нормативной, текущей, архивной и т.п.), быстродействующие устройства ввода и вывода информации, соответствующее системное программное обеспечение.
2. Организация эффективного информационного обеспечения процесса проектирования.
3. Эффективное управление процессом проектирования с использованием имеющихся технических, программных и информационных ресурсов.
4. Обучение проектировщиков методам и средствам компьютерного проектирования, новым информационным технологиям, возможностям применяемого и перспективного технического и программного обеспечения, методическое обеспечение дальнейшего развития информационных технологий.
5. Создание единого информационного пространства проектной организации, единой программной среды, соответствующей видам и объемам разрабатываемой и используемой информации.

План занятий:

13.1.Предпосылки разработки САПР в России.

13.2.Компании – разработчики и программные продукты САПР в России и СНГ

13.3.Взаимосвязь систем конструкторского и технологического проектирования (на примере решений КОМПАС, T-FLEX, ADAM).

13.1.Предпосылки разработки САПР в России.

Наверное, сейчас уже сложно отыскать конструктора или технолога, которые были бы противниками использования систем автоматизированного проектирования в своей повседневной работе. За прошедшие несколько лет в России и СНГ практически не осталось предприятий и организаций, которые не применяли бы технологии САПР хотя бы в ограниченных масштабах (на двух-трех рабочих местах).

Следует отметить, что начало 90-х годов ознаменовалось лавинообразным увеличением объема информации о системах CAD/CAM и различном аппаратном обеспечении. В это время заканчивалась эра ограничений КОКОМ на экспорт в Советский Союз, а затем в страны СНГ современного оборудования и программных продуктов. С другой стороны, именно в конце 80-х — начале 90-х годов уверенно заявили о себе молодые независимые российские фирмы — разработчики CAD/CAM, образовавшиеся в основном из высококлассных специалистов элитных предприятий российской оборонной промышленности. Они вышли на рынок САПР, доведя до коммерческого состояния свои программные продукты, которые до того времени были широко известны только в узком кругу предприятий их отрасли. И оказалось, что российские разработки вполне конкурентоспособны по отношению к западным системам.

Предприятия реально подошли к интегрированным решениям, способным увязать отдельные задачи в единый комплекс. Не менее важным фактором является переход от ограниченного применения средств САПР продвинутыми специалистами к массовому оснащению подразделений. Есть отчетливое понимание необходимости массового применения компьютерных технологий для сокращения сроков разработки и реализации проекта. Эти шаги диктуются жесткой конкуренцией и жесткими сроками разработки и реализации проектов, качественно изменившимся уровнем ответственности за результат при выполнении небюджет-

ных контрактов. На первый план выходит качество сервисного обслуживания и технической поддержки, что возможно лишь только при эксплуатации лицензионного программного обеспечения.

13.2. Компании – разработчики и программные продукты САПР в России и СНГ.

Компании – разработчики и программные продукты САПР в России и СНГ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Ядро	Параметрич. ядро собств. разработки	Parasolid	ACIS		Параметрическое ядро собств. разработки			Parasolid	Алекс-софт
Компания/ продукт	ОАО Аскон	АО Топ Системы	Omega Technologies Ltd.	НПП Интермех	Спрут-Технология	НПО Кредо-Диалог	Consistent Software	APM Win Machin	
Конструкторские системы									
CAD нижнего /среднего уровня	Компас График	T-FLEX CAD LT, T-FLEX 2D	ADEM Draw, ADEM CAD	CadMech LT	Sprut-CAD	АСК ТПП КРЕДО		APM Gfaph	
САПР разработки эл.схем и разводки печатных плат				CadMech					
САПР электро-техника	Компас График (библиотека ESK5)			CAD Electro					
CAD среднего уровня	Компас 3D	T-FLEX 3D	ADEM CAD	CadMech 3D	Sprut-CAD	КРЕДО			
CAD высокого уровня:									
Технологические системы									
САПР разработки планировок				LCad					
САПР технологических процессов	Компас-Автопроект	T-FLEX / ТехноПро	ADEM TDM	TechCard			Technologi CS		
САПР технологической оснастки	Компас-Штамп	T-FLEX/ Штампы, T-FLEX/ Пресс-формы	ADEM CAM	CadMech-T	Sprut-CAM	КРЕДО			
Система разработки программ ЧПУ		T-FLEX ЧПУ, T-FLEX NC TRACER	ADEM NC		Sprut-CAM	КРЕДО ЧПУ			
Система технологического раскроя		T-FLEX / Раскрой.							
Инженерные расчеты CAE	Компас-SHAFT Plus	T-FLEX Расчеты / Зубчатые передачи, T-FLEX / Пружины				КРЕДО CAE		16 модулей CAE	
								T-FLEX /ИСПА	
Системы параллельной работы над проектом									
	Компас-Менеджер								
Управление данными об изделии									
PDM-системы		T-FLEX DOCs		Search				PartY+	

13.3 Взаимосвязь систем конструкторского и технологического проектирования (на примере решений КОМПАС, T-FLEX, ADAM).

Компания:	ОАО «Аскон» - Центральные офисы Москва, Санкт-Петербург, Коломна
Программный продукт	Компас – CAD/CAM/CAE
Язык разработки	русский
Локализация	украинский, болгарский, польский

История компании ОАО «АСКОН» начиналась на государственном предприятии военно-промышленного комплекса в Конструкторском бюро машиностроения в подмосковной Коломне. Специалисты, работающие сейчас на ведущих позициях в АСКОНе, начали заниматься САПровскими проблемами еще в 1983 году. А в 1986 году была выпущена первая версия системы КАСКАД для СМ ЭВМ. Ее отличала специально разработанная модель чертежа, ориентированная на ЕСКД, а конструкторский интерфейс системы давал возможность удобного ввода и обработки чертежно-графической информации. В качестве основного устройства ввода использовалась сколка (дигитайзер). С 1987 года начались работы над "персоналочной" версией КАСКАДа (сначала для ЛАВТАМ, а впоследствии для IBM PC). Первая версия системы КАСКАД-ПК была готова летом 1988 года. Ее внедрение показало, что пользователями системы могут быть не только хорошо знакомые с компьютером конструкторы, но и техники-чертежники, выполняющие деталировочные работы. Для освоения системы было достаточно 1-2 недель, при этом не требовалось специальных знаний в области вычислительной техники.

В начале 1989 года коллектив разработчиков перешел из государственного предприятия в созданную коммерческую структуру (Центр "Конкурент", затем в 1991 году реорганизованный в АО "АСКОН", Санкт-Петербург). С 1989 года программные продукты компании АСКОН стали выпускаться под торговой маркой КОМПАС, а первым покупателем стал Ленинградский Металлический Завод.

Решение о собственных разработках систем САПр для ПК принималось основателями компании АСКОН Татьяной Янкиной и Александром Голиковым в середине 80-х годов после детального знакомства с первыми, попавшими в Советский Союз копиями AutoCAD. Было очевидно, что с этим продуктом вполне можно конкурировать как по техническим характеристикам, так и по ценовым.

Основные модули комплекса КОМПАС 5 Windows-версии:

- чертежно-конструкторский редактор КОМПАС-ГРАФИК;
- система проектирования спецификаций;
- машиностроительная библиотека;
- система управления проектом в рабочих группах и отделах КОМПАС-Менеджер;
- система проектирования тел вращения КОМПАС-SHAFT с расчетным модулем GEARS; система проектирования пружин КОМПАС-SPRING;
- САПР технологических процессов КОМПАС-АВТОПРОЕКТ, интегрированный с КОМПАС-ГРАФИК 5.x;
- система автоматизации программирования оборудования с ЧПУ КОМПАС-ЧПУ.

Ключевой особенностью КОМПАС-3D является использование собственного математического ядра и параметрических технологий, разработанных специалистами АО "АСКОН".

АСКОН построил полноценную коммерческую систему 3D проектирования на базе самостоятельно разработанных математического ядра и параметрических технологий.

Область применения КОМПАС-3D определяется основным набором задач, которые он призван решать. К ним относятся:

- моделирование деталей с целью расчета их геометрических и массо-центровочных характеристик;
- моделирование деталей для передачи геометрии в расчетные пакеты;
- моделирование деталей для передачи геометрии в пакеты разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ;
- создание изометрических изображений деталей (например, для составления каталогов, создания иллюстраций к технической документации и т.д.).

Сборка является новым типом документа КОМПАС.

Всех задач предприятия КОМПАС не решит, поэтому выстраивают комплексное решение, дополнив свои собственные системы лучшими продуктами других поставщиков, такими как SolidWorks с приложениями, DOCS Open, Vectory и Spotlight, PartY и т.д.

Компания:	ОАО «Топ Системы» - центральный офис Москва
Программный продукт	T-FLEX – CAD/CAM/CAE
Язык разработки	русский
Локализация	

Российская фирма "Топ Системы" создана в 1992 году выпускниками МГТУ "СТАНКИН". Главным направлением деятельности АО "Топ Системы" на протяжении всего срока существования была разработка и распространение системы T-FLEX CAD. Первая коммерческая версия 2.x системы T-FLEX CAD, которая называлась TopCAD, появилась в январе 1992 года. Через год, в 1993 году, выходит версия 3.x системы T-FLEX CAD, которая работает под операционной системой DOS в защищенном режиме. В сентябре 1994 года появляется версия 4.x, которая имеет модуль двухмерного и трехмерного проектирования. Для создания трехмерных моделей используется собственное геометрическое ядро. Версия 4.x стала последней версией системы T-FLEX CAD для операционной среды DOS. С начала 1995 года начинается разработка Windows версии системы T-FLEX CAD. Через полтора года в сентябре 1996 года начинаются продажи двухмерной версии системы T-FLEX CAD 5.x для операционных систем Windows 95 и Windows NT. В конце лета 1996 года АО "Топ Системы" лицензирует геометрическое ядро ACIS фирмы Spatial Technology. В конце 1996 года выходит трехмерная версия системы T-FLEX CAD 5.x, построенная на геометрическом ядре ACIS. С января 1997 года распространяется система управления проектами и техническим документооборотом T-FLEX DOCs, созданная совместными усилиями фирмы "Топ Системы" и ее Минским представительством. В конце 1999 года АО "Топ Системы" получила на тестирование геометрическое ядро Parasolid. И летом 2000 года представила новую версию T-FLEX CAD 7.0 на ядре Parasolid. АО "Топ Системы" - первая и единственная российская фирма, получившая лицензию на ядро Parasolid. T-FLEX CAD 7.0 – первая российская САПР на ядре Parasolid.

Система **T-FLEX CAD LT** разработана в дополнение к **T-FLEX CAD 2D** для быстрого создания чертежной документации в полном соответствии с ЕСКД и международными стандартами. Функции эскизирования, которыми обладает T-FLEX CAD LT, позволяют создавать отрезки, различные варианты дуг, полные окружности, автоматически наносить осевые линии, автоматически строить фаски, скругления и другие элементы.

Основные функциональные возможности T-FLEX CAD 3D

Система T-FLEX CAD 3D включает в себя все возможности T-FLEX CAD 2D и T-FLEX CAD LT. *Пространственное моделирование*

T-FLEX CAD 3D построена на геометрическом ядре Parasolid фирмы UGS PLM Solutions.

Библиотеки параметрических элементов для T-FLEX CAD

Вместе с системой T-FLEX CAD поставляются библиотеки параметрических элементов. Машиностроительная библиотека содержит около 1500 параметрических элементов: болты, винты, гайки, штифты, втулки, подшипники, шайбы, отверстия, канавки, швеллеры, уголки и т.д. Кинематическая библиотека предназначена для создания кинематических схем и содержит изображения кинематических пар, муфт, подшипников, кулачков, толкателей и других элементов. Библиотека элементов трубопроводов применяется для проектирования инженерных коммуникаций и включает в себя изображения различных элементов трубопроводов, переходников, тройников, соединений трубопроводов, муфт, опор, компенсаторов, крестовин, и т.д. Библиотека элементов гидравлических и пневматических схем содержит изображения клапанов, сумматоров, дросселей, манометров, расходомеров, делителей, распределителей и других элементов. С системой T-FLEX CAD 3D помимо вышеуказанных библиотек поставляется библиотека трехмерных примитивов для проектирования валов: конусы, цилиндры, сферы, пазы под шпонки, шлицы, шлицевые соединения, центровые отверстия, фаски, многогранные призмы и т.д. С помощью данной библиотеки можно в полуавтоматическом режиме проектировать в трехмерном пространстве валы и осесимметричные детали, а затем с помощью проецирования получать их чертежи.

Технологическая подготовка производства

Традиционно российские предприятия имеют технологические подразделения решающие основные производственные задачи, что не всегда характерно для зарубежных предприятий. Может быть поэтому, ни одна зарубежная система не может оказать помощь в решении вопросов автоматизации технологического проектирования. Система T-FLEX / ТехноПро разработана для автоматизации технологического проектирования, которая обеспечивает проектирование операционной технологии, включая операции: заготовительные, механической и термической обработки, нанесения покрытий, слесарные, технического контроля, сборки и другие.

Для подготовки программ для станков с ЧПУ - система T-FLEX ЧПУ поставляется в двух вариантах: T-FLEX ЧПУ 2D и T-FLEX ЧПУ 3D, и построена по модульному принципу.

T-FLEX NC TRACER - специализированный инструмент технолога-программиста. Основное назначение данного программного продукта заключается в просмотре готовых управляющих программ для оборудования с ЧПУ с возможным их редактированием.

Интегрированная система прочностного анализа T-FLEX/ИСПА

Современное промышленное проектирование невозможно без внедрения программных систем расчетов и компьютерных технологий. Проектирование сложных объектов требует системы расчетов конструкций.

Совместная разработка специалистов компаний "Топ Системы" и "Алексфот" - комплекс T-FLEX / ИСПА – предназначен для решения следующих задач: линейная статика; нелинейная статика, малые упругопластические деформации; динамика, собственные формы и частоты методом итераций подпространства и методом Ланцоша; стационарная и нестационарная теплопроводность; термоупругость; контактные задачи в двухмерной и трехмерной постановке; начальная потеря устойчивости и большие перемещения; спекание металлоконструкций из порошка (жестко-пластическая постановка в условиях больших перемещений).

T-FLEX Расчеты / Зубчатые передачи - расчет и проектирование зубчатых передач

Для конструкторов машиностроителей, занимающихся проектированием и расчетом зубчатых передач, фирма «Топ Системы» предлагает систему автоматизации проектировочных и проверочных расчетов зубчатых передач - T-FLEX Расчеты / Зубчатые передачи.

Система автоматизации конструкторских расчётов упругих элементов – **T-FLEX / Пружины**. В программе реализованы расчёты цилиндрических пружин сжатия-растяжения, конических пружин, пружин кручения. Система позволяет осуществлять многовариантный расчёт пружин в соответствии с типовыми методиками (ГОСТ 13765-86, 13764-86, 13766-86, 13767-86, 13768-86, 13769-86).

Система оптимизации раскроя листового материала T-FLEX / Раскрой - предназначена для расчета и построения эскизов оптимальных схем раскроя листового материала и ориентирована на решение следующих задач:

- раскрой листов на карты и/или полосы;
- раскрой произвольной плоской детали в полосе и/или листе, так называемый регулярный раскрой;
- раскрой группы разнородных деталей в произвольно заданной форме плоской заготовки, так называемый нерегулярный или фигурный раскрой.

Система автоматизированной поддержки информационных решений при проектировании штампов листовой штамповки T-FLEX / ШТАМПЫ

Система предназначена для автоматизации процесса проектирования штампов для холодной листовой штамповки (ХЛШ). Объектом проектирования в системе T-FLEX /

ШТАМПЫ являются разделительные, формообразующие и комбинированные штампы ХЛШ для получения деталей произвольной конфигурации из различных материалов толщиной до 10 мм и габаритами до 1000 мм.

Система автоматизации проектирования пресс-форм для литья термопластов под давлением на термопластавтоматах - T-FLEX/Пресс-формы - предназначена для автоматизации процесса проектирования литьевых пресс-форм и обеспечивает сокращение времени проектирования за счет применения типовых конструкций, автоматизации расчетов и принятия конструктором проектных решений, использования баз данных (ГОСТы, ЕОС Normalien, Hasko), автоматизации редактирования и выпуска конструкторской текстовой и графической документации.

Компания:	Omega Technologies Ltd - центральные офисы Москва
Программный продукт	ADEM – CAD/CAM
Язык разработки	русский
Локализация	

Компания Omega Technologies Ltd образована в 1993 г. слиянием двух групп разработчиков из Москвы (CherryCAD), и Ижевска (Катран). В 1994 г. вышла первая версия ADEM. В 2000 г.- ADEM версия 6.1. Основной рынок распространения системы ADEM - Россия, Израиль, Франция, Греция.

ADEM – CAD/CAM система автоматизации конструкторской и технологической подготовки производства машиностроения

Имея в своей основе модульный принцип построения, являющийся ключевым для всех открытых производственных систем, ADEM решает широкий круг задач, связанных с конструкторско-технологической подготовкой производства на разных стадиях.

ADEM CAD. Плоское моделирование, создание чертежей и эскизов. Объемное поверхностное и твердотельное моделирование. Подготовка геометрической модели для механообработки.

В CAD части плоско-графический редактор ADEM позволяет использовать комплексные объекты, особенность которых заключается в ассоциативности (взаимосвязи) контура, скруглений и штриховки, что повышает эффективность редактирования графики, так как сохраняются все условия сопряжения, а штриховка автоматически отслеживает произошедшие изменения.

Принципиально новый модуль **ADEM SDE** (редактирование сканированных чертежей) предназначен для решения проблемы использования имеющихся на предприятии архивов чертежей на бумажных носителях.

ADEM CAM. Проектирование операции с ЧПУ. Разработка управляющих программ с использованием плоских эскизов, чертежей, поверхностей, твердых тел и их комбинаций. Полная интеграция с модулем ADEM CAD. ADEM GPP - Генератор постпроцессоров.

Основные функции ADEM-CAM:

- отслеживание изменений в геометрии и автоматический перерасчет траектории движения инструмента;
- подготовка УП с использованием плоских эскизов, чертежей, поверхностей, твердых тел и их комбинаций;
- использование пользовательских команд для формирования специальных кадров УП;
- оптимизация УП по различным параметрам;
- параллельная работа с несколькими проектами.

Для создания управляющей программы используется модуль ADEM NC.

ADEM NC (CAM часть системы) готовит управляющие программы для 2х, 2.5х, 3х координатной обработки на фрезерных, сверлильно-расточных, токарных, электроэрозионных станков, листопробивных прессов с ЧПУ.

ADEM TDM. Проектирование технологических объектов по заранее разработанному сценарию, формирование конструкторской и технологической документации. Модуль ADEM TDM – это любое комплексное решение, состоящее из множества типовых:

- оформление конструкторской документации;
- разработка технологических процессов (маршрутных и операционных);
- ведение архивов документов;
- проектирование операций с ЧПУ, оформление УП;
- расчет параметров обработки;
- возможность обмена информацией с другими системами.

Проектирование и изготовление прессформ с CAD/CAM ADEM.

Все машины, которые летают, плавают, ездят и даже ползают под землей - это лишь конечный, видимый и осязаемый продукт гигантского процесса производства. Сегодня на один килограмм произведенных технических средств может приходиться десять и более килограммов изготовленной оснастки и инструмента.

В денежном исчислении цена конечного продукта и стоимость подготовки производства могут различаться в сотни тысяч раз. Например, цена пластмассового флакона для шампуня составляет менее 0.001% процента от стоимости прессформы для его производства.

Изготовление оснастки, штампов и прессформ сегодня является наиболее бурно развивающейся отраслью машиностроения. Вовлекая все большее число производителей данная сфера деятельности уже оформилась как самостоятельная. В отличие от общей тенденции к снижению объемов металлообрабатывающего производства, производство прессформ постоянно расширяется.

CAD/CAM ADEM - Создание маршрута обработки.

Технологическая модель, состоящая из технологических переходов также входит в состав единой модели. В этом и есть залог успеха ADEM - единая CAD/CAM модель, которая в целом и по частям доступна в любой момент для редактирования.

Компания:	Научно-производственное предприятие «Интермех» Республика Беларусь центральный офис г. Минск
Программный продукт	CadMech, TechCard, Search
Язык разработки	русский
Локализация	

CadMech — это система проектирования сборочных и детализовочных чертежей, работающая в среде AutoCAD 2000/2002 и максимально учитывающая специфику работы конструктора-механика.

Разработав сборочный чертеж, конструктор автоматически получает готовые на 70-80% рабочие чертежи деталей. Это достигается за счет технологии проектирования, а также за счет использования базы данных стандартных элементов IMBASE. В базу данных включены около 350 ГОСТов (крепежные изделия, материалы, станочные узлы...).

CadMech LT - Основные характеристики: соответствие с российскими стандартами и требованиями ЕСКД; широкий набор конструктивных элементов; базы данных стандартных элементов (болты, винты, шпильки, подшипники); параметрическое проектирование; низкая стоимость рабочего места (AutoCAD LT + CadMech LT = \$1375); интеграция с системой AVS; интеграция с системой Search; совместимость файлов чертежей с Cadmech 2000.

Неотъемлемой частью системы CadMech является система управления справочными данными IMBASE, поставляемая со стандартным информационным обеспечением.

CadMech – основные характеристики: широкая инсталляционная база; адаптация; расширение возможностей (Rotation, GEAR, SPRING); совместимость файлов чертежей с Cad-

Mech LT. Система CadMech поддерживает технологию “клиент - сервер”, что позволяет пользователям работать с одной базой данных, находящейся на сервере.

CadMech Desktop - полнофункциональная система 3-мерного параметрического твердотельного моделирования: все возможности CadMech 2D; автоматическая генерация плоских видов; получение спецификаций по ЕСКД; совместимость с CadMech LT и CadMech; создание рекламных и маркетинговых материалов.

Технология проектирования изделий: возможность создания сборок как “снизу-вверх”, так и “сверху-вниз”. CadMech предлагает различные технологии проектирования сборочного чертежа:

- от сборочного чертежа к чертежам деталей (по этой технологии, в процессе разработки СБ происходит автоматическая проработка будущих детализовочных чертежей и чертежей подборок, требующих последующей минимальной доработки в части оформления;
- от чертежей деталей к СБ (по этой технологии CadMech позволяет компоновать сборочный чертеж из элементов ранее разработанных чертежей);
- гибридная технология (позволяет проектировать некоторые элементы СБ «с нуля» с параллельным использованием ранее спроектированных деталей).

CadMech Desktop представляет собой интегрированную систему включающую в себя: систему CadMech для генерации двух и трехмерных деталей и сборочных единиц в среде Mechanical Desktop; систему AVS для выпуска текстовых конструкторских документов СП, ВС, ВП, ПЭ и т.д.

Справочно-информационная база IMBASE: широкая номенклатура (*элементы детализовочных чертежей: разного рода заготовки деталей, вырезы, пазы, бобышки, конструкторские отверстия и т.д.; элементы сборочных чертежей; различного рода профили, хомуты, скобы и т.д.*); редактирование, адаптация, применяемость; автоматическая увязка элементов базы с соединяемыми и сопрягаемыми деталями; возможность редактирования элементов соединений; единство базы для разных уровней проектирования.

CadMech может интегрироваться с системой ведения архива документов Search и системой выпуска текстовой документации AVS (разработка НПП ИНТЕРМЕХ)

CadElectro специализированная система автоматизированного проектирования электрооборудования АСУТП и КИПиА. Проектирование осуществляется на базе графического редактора AutoCAD. Обеспечивает автоматизацию получения следующих конструкторских документов:

- 1) Схема электрическая принципиальная ЭЗ;
- 2) Перечень элементов схемы электрической принципиальной ПЭЗ;
- 3) Таблица соединений ТЭ4 и подключений ТЭ6, наборов зажимов ТНЗ;

4) Сборочный чертеж СБ, схема расположения Э7;

5) Спецификация и ведомости (ведомости покупных изделий, ведомость содержания драгметаллов и др.).

Неотъемлемой частью пакета CadElectro является система управления справочными данными IMBASE, на базе СУБД Interbase либо Oracle.

AVS – система разработки текстовой конструкторской документации. Она дает возможность вести разработку и автоматическое оформление:

- спецификаций
- групповых спецификаций формы А и Б
- перечней элементов
- различных ведомостей
- прочих текстовых конструкторских документов

Программный комплекс LCad предназначен для организации рабочего места технолога-проектировщика, осуществляющего проектирование новых производственных цехов и участков, а также реорганизацию существующего производства. Программный комплекс позволяет осуществить процесс формирования:

- архитектурно-строительной основы (планировок) по одноэтажным и многоэтажным промышленным и бытовым корпусам;
- графической и текстовой информации по планировке цехов и участков,
- базы размещенного оборудования.

TechCard - Комплексная система автоматизации технологической подготовки производства

TechCard представляет собой систему автоматизации технологической подготовки производства, которая включает базовое программное обеспечение для решения задач технологического проектирования и информационное обеспечение для различных видов производств, с возможностью передачи данных в MRP- системы.

Система позволяет создать единую интегрированную программно- информационную среду, которая помогает автоматизировать процесс выпуска технологической документации и сводной информации по изготавливаемым изделиям

Сортамент и материалы: Папки каталога сортамента содержат таблицы, в которых находится подробная информация по сортаменту. Аналогично каталогу сортамента папки каталогов основных и вспомогательных материалов также содержат таблицы с подробной информацией по материалам. Каталоги сортамента и материалов общие для конструкторов и технологов

Оборудование: Для каждой модели оборудования заносятся свои паспортные данные, которые можно использовать для различных расчетов. На этапе проектирования ТП выбор оборудования может осуществляться не только по модели, но и по инвентарному номеру. Существует возможность настроить систему на автоматизированный выбор оборудования для операции по его паспортным данным, параметрам заготовки, или другим условиям

Оснастка: Настраиваются привязки оснастки к операциям, оборудованию, переходам, вспомогательным материалам. Имеется возможность производить поиск оснастки по изображениям. Как и с оборудованием, существует настройка автоматического подбора оснастки для операций, переходов или для другой оснастки

Операции и переходы: Для каждой операции может быть назначен список документов, которые будут получены при генерировании документации. Шаблоны, используемые в тексте перехода, позволяют подставлять необходимые значения на этапе проектирования техпроцессов..

Справочные данные: Для облегчения заполнения параметров операционной технологии TechCard поддерживает создание и редактирование справочников

Редактор бланков: Редактор бланков позволяет создавать новые формы технологических документов и редактировать имеющиеся

Экспертная система: Система TechCard предоставляет встроенную экспертную систему, которая позволяет производить различные расчеты, в том числе: расчет заготовки, расчет режимов обработки и норм времени. Язык представления знаний - правилами “если-то”. В процессе расчетов система пытается найти значения неизвестных параметров, используя соответствующие формулы и таблицы

Проектирование ТП: Поддержка видов производств: механообработка, термообработка, окраска, сборка, гальваника, холодная штамповка, сварка, консервация, литье, горячая штамповка, герметики, клеи, компаунды, резины, пластмассы, литье по выплавляемым моделям, литье в песчаную форму, литье в кокиль, литье в оболочковые формы, жидкая штамповка, электромонтажные работы.

Компания:	АО «Спрут-технология», центральный г. Набкрежные челны
Программный продукт	SprutCAD, SprutCAM
Язык разработки	русский
Локализация	

SprutCAD представляет собой 32-х разрядное приложение для Windows 95/98/2000/ME/NT и является открытой средой для автоматизации труда конструкторов и разработчиков систем проектирования. SprutCAD в полной мере поддерживает стандарт ЕСКД и имеет расширяемый пользователем набор сервисных функций, что позволяет создать на его основе рабочее место конструктора, реально автоматизирующее типовые проектные операции, требующиеся на конкретном рабочем месте. Система имеет библиотеку стандартных параметрических элементов, работает с широким набором шрифтов, позволяет создавать иерархические графические базы данных, компоновать новый чертеж из имеющихся фрагментов, пополнять в процессе эксплуатации пользовательскую базу типовых решений. В режиме "интеллектуального редактирования" система автоматически откорректирует чертеж при изменении значения любого численного параметра. Иерархическая база чертежей изделия позволяет более удобно и наглядно организовать процесс проектирования и контроля за выполнением проекта.

В системе имеется встроенная библиотека стандартных параметризованных элементов, что значительно упрощает и ускоряет работу. Преимущество использования ранее сформированных параметризованных элементов заведомо ясно.

Системой поддерживаются стандартные форматы обмена данными IGES и DXF, что позволяет свободно работать с другими CAD системами.

SprutCAM – система генерации управляющих программ для обработки деталей на 2-х, 2,5 и 3-х координатных станках с ЧПУ. SprutCAM используется для изготовления штампов, пресс-форм, литейных форм, прототипов изделий, мастер-моделей, деталей машин конструкций, оригинальных изделий, шаблонной, а также для гравировки надписей и изображений. SprutCAM - работает непосредственно с геометрическими объектами исходной модели (в том числе и в NURBS – представлении) без предварительной аппроксимации или триангуляции. Поддерживаемый инструмент:

- фреза цилиндрическая, сферическая, торроидальная, двухрадиусная, коническая;
- гравер;
- сверло центровочное, сверло;
- головка расточная.

Система SprutCAM имеет постпроцессоры, которые настраиваются на любую систему ЧПУ. Имеется обширная библиотека готовых постпроцессоров и удобный генератор постпроцессоров.

Программный инструментарий и язык программирования Sprut позволяет пользователям создавать свои приложения, включать и использовать их в SprutCAM.

Компания:	ОАО НИЦ АСК Центральный офис – г. Москва
Программный продукт	АСК/ТПП КРЕДО
Язык разработки	русский
Локализация	английский

Система КРЕДО – первая отечественная интегрированная система автоматизированного проектирования и подготовки производства, работающая под управление ОС Windows, с возможностями трехмерного моделирования геометрических объектов, оформления конструкторской документации, подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ и создания архива конструкторско-технологической документации.

В настоящее время НИЦ АСК создана и интенсивно развивается 32-разрядная версия КРЕДО для MS Windows 95/98/2000/NT.

Система строится по модульному принципу, легко наращивается для решения конкретных задач, обладает современным оконным интерфейсом и содержит библиотеку базовых средств построения геометрических примитивов и операций над ними в трехмерном пространстве.

КРЕДО автоматизирует следующие работы:

- создание пространственной каркасной или поверхностной геометрической модели изделия, обеспечивающей построение сечений и проекций изделия на произвольные плоскости;
- получение фотореалистических и стереоизображений изделия;
- проведение численного анализа геометрической модели, т.е. получение геометрических характеристик как отдельных элементов, так и модели в целом, подготовку данных для расчетов в системе «Диана» по методу конечных элементов;
- создание машиностроительного чертежа на базе построенной геометрической модели;
- создание информационной модели изделия и получение на ее основе сборочных чертежей и таблиц спецификаций;
- ведение архива конструкторско-технологической документации;
- генерацию управляющих программ механической обработки деталей для оборудования с ЧПУ (сверление, токарная обработка, плазменная резка, 3-, 4- и 5-ти координатное фрезерование с использованием инструмента заданной геометрии);

- обмен информацией, представленной в транспортных, конструкторских и чертежных форматах (IGES, STEP, VDA-FS, DXF) с другими системами.

Достоинством КРЕДО является использование точной трехмерной математической модели изделия на всех этапах проектирования и технологической подготовки производства, что обеспечивает полноту и достоверность исходных данных для различных действий над моделями (передача моделей в другие системы, расчетные процедуры, моделирование обработки и т.д.).

В КРЕДО предусмотрены различные формы создания примитивов, обеспечивающие сохранение топологических связей между объектами.

Для удобства работы в КРЕДО предусмотрено их агрегирование в составные объекты: группа, составная кривая, составная поверхность, с которыми можно оперировать как с единым объектом.

Изображение моделей. Все геометрические и графические элементы модели изделия визуализируются на экране монитора в различных системах координат и в требуемом пользователю масштабе. Для визуальной оценки внешнего вида изделия и качества обрезки, сшивки и сопряжения поверхностей в КРЕДО предусмотрен реализованный с помощью технологии OpenGL режим фотореалистического отображения трехмерных моделей.

Оформление чертежей. КРЕДО позволяет оформить геометрическую модель в виде чертежа с простановкой в полном соответствии с ЕСКД размеров, надписей, условных обозначений, штриховок, осевых линий и т.д.

Подсистема ЧПУ. КРЕДО обеспечивает моделирование процессов механической обработки деталей и получения управляющих программ для оборудования с ЧПУ. Особенностью подсистемы ЧПУ является непосредственное использование информации из геометрической базы данных модели без специальной предварительной конвертации данных.

Связь с другими системами. В КРЕДО предусмотрен импорт/экспорт данных в конструкторских форматах IGES, STEP, VDA-FS, DXF, а также экспорт информации в формате VRML для визуализации пространственных моделей КРЕДО в других системах.

Компания:	Consistent Software», центральный офис Россия, г. Москва
Программный продукт	TechnologiCS
Язык разработки	русский
Локализация	английский

Система подготовки производства и разработки техпроцессов TechnologiCS. Эта система поддерживает такие виды производств как:

- механообработка,
- термообработка,
- окраска,
- сборка,
- гальваника,
- холодная штамповка,
- сварка,
- консервация,
- литье.

Системы для обработки сканированных чертежей и перевода бумажных архивов в электронный вид Vectory и Spotlight московской компании Consistent Software.

Лекция 14

Российские и зарубежные CAE-системы

План лекции:

14.1 Система APM WinMachine

14.2. Полигон - система автоматизированного моделирования литейных процессов

14.3 Система инженерных расчетов Cosmos Works Desidner

14.4. Инженерные расчеты MSC.Nastran for Windows

14.5. CAE-система ANSYS.

14.1. Система APM WinMachine

Любое инженерное изделие должно удовлетворять определенным критериям. Соответствие этим критериям возможно только при комплексной оценке влияния геометрических параметров, свойств используемых материалов и условий работы изделия на его поведение. Проведение такого анализа с учетом все возрастающей сложности инженерных решений возможно лишь с применением самых эффективных современных компьютерных технологий.

К настоящему времени нашему пользователю стали доступны лучшие программные комплексы автоматизации инженерных расчетов - CAE-системы.

Компания:	НТЦ АПМ - центральные офисы г. Москва, г. Королев
Программный продукт	APM WinMachine
Язык разработки	русский

Система APM WinMachine создана коллективом разработчиков на факультете Ракетно-космической техники Московского Государственного Технического Университета им Н.Э. Баумана. Компанию НТЦ АПМ возглавляет автор программного решения, доктор технических наук, профессор Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана Владимир Васильевич Шелофаст.

Если предприятие, организация либо конструкторское бюро создает механическое оборудование или строительные конструкции, то для разработки современных машин, конкурентоспособных по отношению к зарубежным аналогам, необходимо внедрять компьютерную технологию проектирования. Это единственный путь, который способен поднять качество проектирования и создать оптимальные по весу, энергопотреблению и ряду других параметров конструкции.

Для реализации этих и других задач и предназначена русскоязычная Система автоматизированного расчета и проектирования в машиностроении и строительстве APM WinMachine - российская разработка, адресованная инженерам и конструкторам, занятым конструированием нового и модернизацией существующего механического оборудования.

Инструментально-экспертная Система APM WinMachine представляет собой энциклопедию по машиностроению, включающую инструменты и программы для автоматизированного расчета и проектирования деталей машин, механизмов, элементов конструкций и узлов. Кроме этого, она имеет современные графические средства, встроенные базы данных, необходимую информационную базу знаний, разветвленную систему подсказок и фундаментальный электронный учебник по основам проектирования машин.

АПМ разработал собственный плоского чертежно - графический редактор APM Graph, который позволяет выполнить весь комплекс чертежно-графических работ, необходимых при подготовке производства в машиностроении, строительстве и других областях. Это качественно новый этап Системы APM WinMachine, которая из разряда CAE - приложений перешла в разряд CAD/CAE – систем

В настоящее время программный комплекс насчитывает 16 модулей:

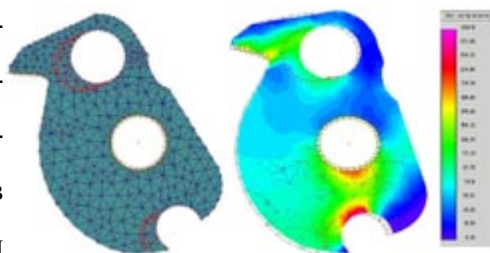
APM WinJoint – расчет и проектирование резьбовых, сварных, заклепочных соединений, цилиндрических и конических соединений с натягом, шлицевых и шпоночных соедине-

ний, штифтовых радиальных и осевых соединений, соединений коническими кольцами, клемовых и профильных соединений различных модификаций;

APM WinShaft – расчет и проектирование валов и осей. В модуле можно рассчитать и построить реакции в опорах валов, эпюры моментов изгиба и углов изгиба, эпюры моментов кручения и углов закручивания, деформированное состояние вала, напряженное состояние при статическом нагружении, коэффициент запаса по усталостной прочности, эпюры распределения поперечных сил, собственные частоты и собственные формы вала;

APM WinBear – расчет и проектирование неидеальных подшипников качения. Подшипник считается неидеальным, если погрешностями его изготовления нельзя пренебречь в контексте решаемой задачи. По заложенным в программу уникальным методикам расчета определяются перемещения (жесткость), наибольшие контактные напряжения, силы, действующие на тела качения, долговечность, потери мощности, момент трения и тепловыделения. В модуле могут быть рассчитаны подшипники восьми наиболее распространенных типов: шариковые радиальные, шариковые сферические, шариковые радиально-упорные, шариковые упорные, роликовые радиальные, роликовые сферические, роликовые радиально-упорные и роликовые упорные;

APM WinPlain – расчет подшипников скольжения. Для таких подшипников скольжения как радиальные, работающие в режиме жидкостного или полужидкостного трения, и упорные (подпятники), работающие в условиях жидкостного трения, могут быть определены распределенные радиальные и осевые зазоры, оптимальные значения зазоров, параметры системы смазки (толщина смазочной пленки, максимальная и средняя температура масла, расход масла), действительный коэффициент трения и потери на трение и конструкционные параметры;



APM WinScrew – расчет неидеальных винтовых передач (скольжения, шарико- и планетарно винтовых). В результате комплексного анализа возможно получение таких величин как перемещения (жесткость), долговечность, момент трения, наибольшие контактные напряжения, потери мощности, тепловыделение, силы, действующие на тела качения, коэффициент полезного действия и ошибки позиционирования;




Главным преимуществом модуля APM WinScrew является то, что с ее помощью можно учесть влияние погрешностей изготовления на параметры винтовой передачи. Это стало возможным благодаря новой теории неидеального контакта, разработанной в Центре АПМ. Она применима для широкого круга элементов машин и механизмов, таких как подшипники качения, винтовые передачи, плоские соединения, направляющие качения и скольжения и т.

д. Использование теории неидеального контакта позволяет получить надежные значения контактных перемещений, жесткости, напряжений и других параметров, зависящих от контактных деформаций, таких как долговечность, момент трения, потери мощности и т. д.

APM WinTrans – расчет и проектирование цилиндрических передач с прямым зубом как внешнего, так и внутреннего зацепления, цилиндрических передач с косым зубом внешнего зацепления, шевронных передач, конических с прямым и круговым зубом, червячных, ременных и цепных передач; С помощью модуля APM WinTrans можно выполнить весь комплекс конструкторских и технологических расчетов (как проектировочных, так и проверочных) передач вращательного движения, а также вычертить рабочие чертежи основных деталей этих передач в автоматическом режиме

APM WinSpring – расчет и проектирование упругих элементов машин таких как цилиндрические пружины растяжения, сжатия и кручения круглого и прямоугольного поперечного сечения, тарельчатые пружины сжатия, плоские прямоугольные пружины и торсионы, работающих в условиях как постоянной, так и переменной во времени нагрузок. Модуль APM WinSpring предназначен для всестороннего расчета и проектирования упругих металлических элементов машин. Он позволяет выполнить проектировочный и проверочный этих объектов и получить чертежи рассчитанных деталей. Под проектировочным расчетом понимают определение геометрических размеров упругих элементов по известным значениям внешних сил и деформаций. Проверочный расчет позволяет определить запасы прочности упругих элементов в зависимости от их геометрических размеров.

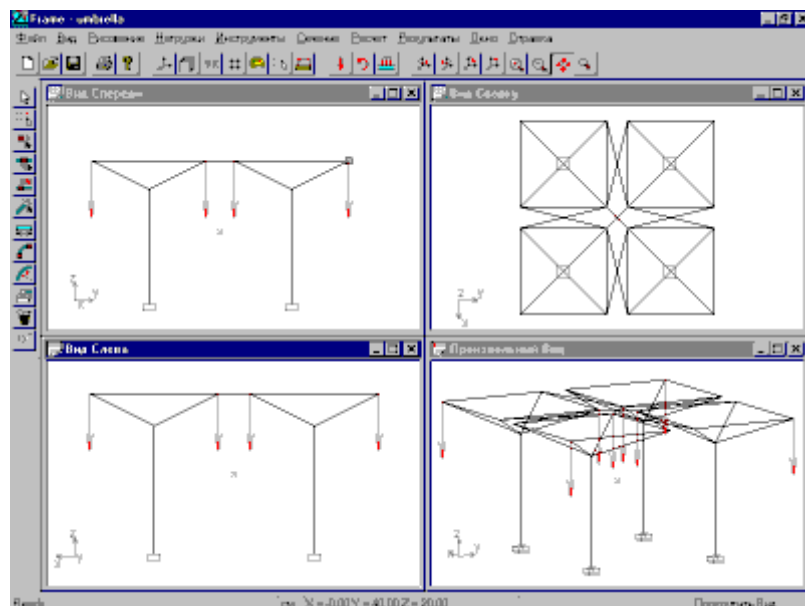
Закон движения может быть задан в одном из следующих видов:

-  график перемещения;
-  график скорости;
-  график, определяющий изменение ускорения по углу поворота кулачка.

Подготовка исходных данных, таким образом, сводится к выбору типа кулачкового механизма и заданию некоторых вспомогательных, в том числе и геометрических, сведений по материалам и виду закона движения.

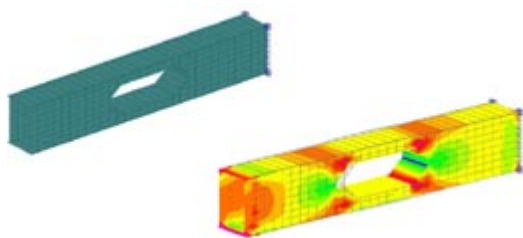
APM WinCam – расчет и проектирование кулачковых механизмов. Модуль позволяет рассчитать профиль кулачка и представить его в декартовых и полярных координатах, определить закон изменения углов давления по углу поворота кулачка, представить профиль кулачка и смоделировать его работу, построить рабочий чертеж. Для задания графической информации в модуле APM WinCam имеется специальный инструмент, с помощью которого можно ввести график функции с монитора в виде сплайна или в виде набора линейных отрезков и любой их комбинации. Имеется возможность редактирования введенной информации с целью ее модификации.

Предусмотрен также ввод аналитических функций и информации из файла. Для аналитического задания функций существует редактор анализа и обработки аналитических выражений.

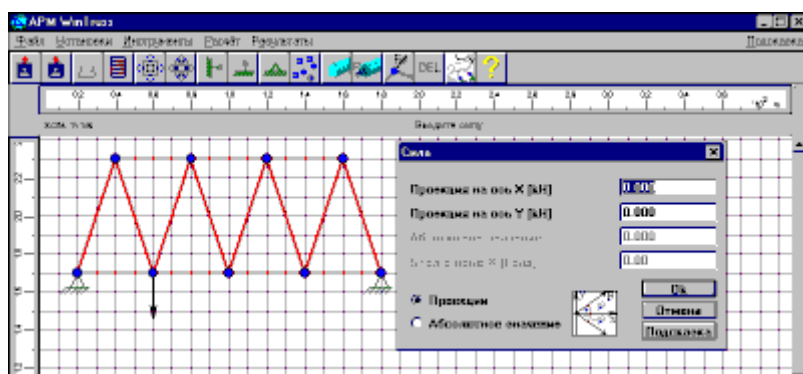


В модуле имеется библиотека стандартных профилей, а параметры материала из единой базы данных APM WinData системы APM WinMachine.

APM WinSlider – расчет и проектирование рычажных механизмов. Комплексный анализ плоских рычажных механизмов произвольной структуры включает расчет траектории движения скорости и ускорения произвольной точки исследуемого механизма, расчет реакции в шарнирных соединениях звеньев, расчет динамической нагрузки, полученной в результате этого движения, а также проверку на наличие проворачиваемости в механизме;



APM WinFEM2D – конечно-элементный анализ плоских деталей. Модуль позволяет выполнять расчет напряженного состояния плоских деталей в условиях плоского и нормального нагружений, расчет деформированного состояния плоских деталей при произвольном нагружении, решение задачи кручения стержня, нагруженного изгибающим моментом и системой поперечных сил, расчет температурного поля в условиях стационарной теплопроводности;

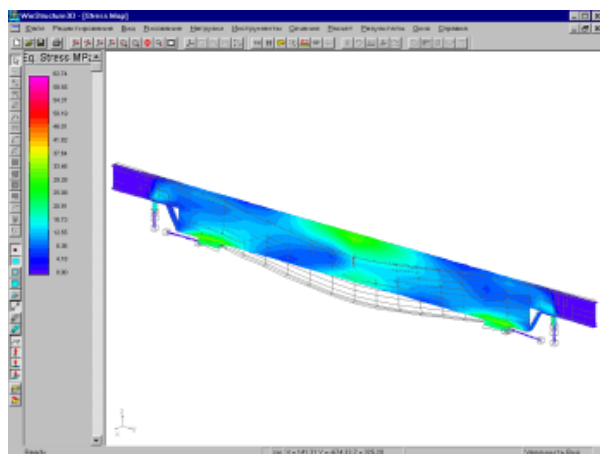


APM WinBeam – расчет и проектирование балочных конструкций, где можно получить следующие параметры балки: реакции в опорах, распределение мо-

ментов и углов изгиба по длине балки, распределение моментов и углов поворота при кручении, распределение поперечных и продольных деформаций, распределение эквивалентных напряжений, распределение поперечных сил, карты напряжений в любом произвольном сечении по длине балки и частоты собственных колебаний;

APM WinTruss – расчет ферменных конструкций с возможностью получения в конечном итоге равнопрочной конструкции. Модуль APM WinTruss предназначен для расчета методом конечных элементов ферменных конструкций. С помощью APM WinTruss можно рассчитывать напряжения и деформации элементов ферм, что дает возможность выбрать оптимальное сечение стержней фермы. Кроме того, APM WinTruss позволяет получать равнопрочные конструкции, что очень важно с точки зрения экономии материала и снижения себестоимости конструкции в целом.

APM WinFrame3D – расчет напряженно-деформированного состояния трехмерных рамных конструкций произвольного вида при произвольном характере нагружения и любом заданном закреплении. При этом возможно выполнение расчета напряженного состояния для любой точки рамы, расчет деформированного состояния, определение силовых факторов в узловых точках, расчет устойчивости, определение собственных форм и собственных частот свободных колебаний рам, расчет вынужденных колебаний при произвольном по форме внешнем нагружении;



APM WinStructure3D – расчет напряженно-деформированного состояния стержневых, пластинчатых и оболочечных конструкций и их произвольных комбинаций. В настоящее время в конечно-элементном модуле анализируются так называемые протяженные конструкции, один из геометрических параметров которых много меньше двух других. Модуль APM WinStructure3D предназначена для расчета напряженно - деформированного состояния

стержневых, пластинчатых, оболочечных конструкций, а также любых их комбинаций. Модуль организован таким образом, что в его рамках можно рассчитать все многообразие существующих конструкций, собирая их из вышеперечисленных макроэлементов. Внешняя нагрузка, также как и условия закрепления конструкции, могут быть произвольными как по характеру, так и по местоположению.

Методы расчета: Расчет напряженно - деформированного состояния протяженных конструкций выполняется методом конечных элементов. При необходимости применяются также другие методы строительной механики, адекватные объявленным выше задачам. В ка-

честве конечных элементов можно использовать по выбору элементы прямоугольной, четырехугольной и треугольной геометрических форм. Число конечных элементов и, следовательно, время расчета устанавливается пользователем. Общее количество конечных элементов ограничено исключительно возможностями Вашей компьютерной техники.

APM Graph – чертежно-графический редактор, предназначенный для проектирования изделий и подготовки конструкторской документации. Модуль эффективно используется при подготовки исходных данных для работы других модулей программного комплекса.

APM Drive, - это комплексная программы расчета и проектирования приводов вращательного движения произвольной структуры. В основе этого модуля лежит редактор задания элементов кинематической схемы, в состав которой могут входить передачи, валы и подшипники.

MDM - электронный учебник “Основы проектирования машин”, в котором изложены основные методы расчета, использованные при разработке системы.

WinData - модуль хранения и редактирования стандартных и информационных данных, необходимых для функционирования каждого из перечисленных выше модулей

Развитие TDM/PDM-модулей, то в этом направлении работы стоят в плане.

14.2. Полигон - система автоматизированного моделирования литейных процессов (САМ ЛП)

Первая версия САМ ЛП "Полигон" была разработана в 1989 году в ЦНИИ Материалов (Санкт-Петербург) в рамках проводимой Министерством оборонной промышленности тематики по обеспечению качества отливок специального назначения. Постоянно ведется работа по расширению и модификации САМ. В разработках участвуют ЦНИИМ, фирма FOCAD, специалисты Санкт-Петербургского ГТУ, специалисты заводов, использующих "Полигон". При разработках геометрических интерфейсов участвуют специалисты различных фирм-поставщиков.

САМ ЛП "Полигон" позволяет провести отработку некоторых наиболее важных технологических параметров литейных процессов не на реальной отливке, а на ее модели, программно реализованной на персональном компьютере (PC), снижает материальные затраты и время на проектирование и доводку литейной технологии, увеличивает производительность и качество труда технолога-литейщика.

Процессор - САМ ЛП "Полигон" предназначена для моделирования процессов затвердевания, образования усадочных раковин и макропористости, образования микропористости,

развития деформаций для прогноза кристаллизационных трещин, формирования и расчет любых "критериев качества" для прогноза структуры, ликваций, механических свойств и т.п.

Основные моделирующие модули (затвердевание, питание) максимально универсальны по сплавам и способам литья. В тоже время имеется ряд специализированных модулей и функций, например, для моделирования циклических процессов, моделирования тепловых процессов в ходе заполнения, моделирование усадочных процессов при подводе металла под давлением при ЛНД и ЛПД, затвердевание в вакуумных печах при лучистом теплообмене и др.

Моделирование ведется на базе метода конечных элементов, который позволяет использовать современные физические модели и адекватное описание геометрии. В систему входят альтернативные модули для решения задач анализа на базе двух-с-половиной-мерных и трехмерных геометрических моделей (ГМ).

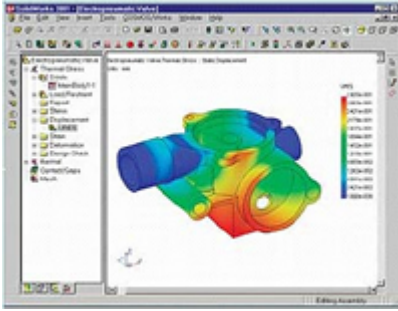
CAM ЛП "Полигон" - двухуровневая система, позволяющая при необходимости, кроме PC, использовать технику типа Workstation (WS). Ядро системы базируется на PC (DOS) и полностью обеспечивает все сервисные, интерфейсные и расчетные процедуры. В то же время имеются дублирующие модули решателей для WS (UNIX). Кроме того, имеется интерфейс к литейной системе ProCast, базирующейся на WS и использующей сходные физические модели и исходные данные.

Препроцессор - Генерацию исходных и расчетных 2.5-D ГМ можно полностью проводить непосредственно в среде CAM ЛП "Полигон" или импортировать исходные ГМ из внешних CAD-систем по формату DXF. Кроме того, в "Полигон" можно импортировать расчетные ГМ из таких систем, как Nastran, ANSYS, ProCast, Pro/Mesh, StressLab, генератор сеток Unigraphics, "ИСПА" и др.

Ввод в расчет теплофизических параметров осуществляется из прилагаемой к пакету базы данных по сплавам и материалам, которую технолог может легко дополнять и редактировать. Имеются средства автоматизированной генерации данных по сплаву на основе экспериментальных температурных графиков.

Постпроцессоры CAM ЛП "Полигон" позволяют представлять результаты расчетов в различном виде: двумерном, трехмерном, цветовых и черно-белых полей, изолиний, оцифрованных точек, графиков, следов движения изолиний и т.д. Для трехмерных расчетов - твердотельное представление; отсечения, повороты, изоповерхности, "температурное окрашивание" и т.д.

14.3. Комплекс для проведения инженерных расчетов *COSMOSWorks Designer*



Созданный для нужд аэрокосмической промышленности, COSMOSWorks позволяет решать любые инженерные задачи. COSMOSWorks является "золотым партнером" SolidWorks, поэтому Вы просто подключаете модуль и проводите расчет. Используя интегрированное решение SolidWorks и COSMOSWorks, пользователи имеют эффективное недорогое решение своих задач. Используя масштабированный подход, Вы можете выбрать только необходимые инструменты.

COSMOSWorks имеет широкий спектр специализированных решателей, позволяющих Вам провести анализ большинства встречающихся задач для деталей и сборок:

- ▶ Линейный статический анализ
- ▶ Определение собственных форм и частот
- ▶ Расчет критических сил и форм потери устойчивости
- ▶ Тепловой анализ
- ▶ Совместный термостатический анализ
- ▶ Расчет сборок с использованием контактных элементов
- ▶ Нелинейные расчеты
- ▶ Оптимизация конструкции
- ▶ Расчет электромагнитных задач
- ▶ Определение долговечности конструкции
- ▶ Расчет течения жидкостей и газов

ИНТЕГРАЦИЯ С CAD

COSMOSWorks полностью интегрирован в SolidWorks

ИНСТРУМЕНТЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Используя проверенную технику генерации конечно-элементной сетки, COSMOSWorks позволяет быстро и качественно проводить анализ конструкций любой сложности, включая сборки, изделия из листового металла и т.д.

AccuStress дает возможность управлять характеристиками конечно-элементной модели

Проведение оптимизации геометрических параметров модели

Анализ оболочек с использованием данных SolidWorks, включая анализ с использованием срединных поверхностей

Использование Р-адаптации сетки

АНАЛИЗ СБОРОК

Автоматическая генерация сетки с объединением различных компонентов в одну модель

Анализ сборок с учетом разъединения и трения

Анализ сборок с учетом больших нелинейных деформаций при контакте поверхностей и трении

Анализ интерференции компонентов

НАГРУЗКИ И ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ

Нагрузки и граничные условия могут быть приложены в глобальной или локальной системе координат. COSMOSWorks поддерживает ортогональную, цилиндрическую и сферическую системы координат. Нагрузки и граничные условия включают:

- ▶ принудительные перемещения узлов
- ▶ постоянные и переменные силы и моменты
- ▶ постоянное и переменное давление
- ▶ подшипниковые нагрузки
- ▶ удаленные нагрузки и закрепления
- ▶ абсолютно жесткое соединение компонентов в сборке
- ▶ ускорения и гравитацию
- ▶ тепловые нагрузки

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Для визуализации результатов COSMOSWorks поддерживает трехмерную графику, основанную на OpenGL. Постпроцессор позволяет просматривать следующие данные, полученные при расчете конструкции:

- ▶ напряжения, относительные и абсолютные деформации, деформированное состояние, энергия деформации, силы реакции
- ▶ собственные формы и частоты колебаний
- ▶ температура, градиенты температуры, тепловые потоки
- ▶ динамическое отображение сечений и вывод изоповерхностей
- ▶ мастер проверки конструкции позволяет определять коэффициент безопасности
- ▶ историю оптимизации конструкции
- ▶ графическое отображение изменения параметров при Р-методе

ПОДДЕРЖИВАЕМЫЕ ФОРМАТЫ

HTML для генерации отчетов

AVI, VRML, XGL, Bitmaps, JPEG

14. 4 Инженерные расчеты MSC.Nastran for Windows

Главный продукт компании MSC.Software - MSC.Nastran - это лучшая на рынке конечно-элементная программная система. Однако, для реализации широких возможностей MSC.Nastran необходима "серьезная" операционная система типа Windows NT или Windows 2000, что обуславливает использование компьютеров со значительными ресурсами. Для решения ряда задач это не является необходимым. Стремясь в наибольшей степени удовлетворить запросы заказчиков и уменьшить их затраты, компания MSC.Software предлагает программный пакет MSC.Nastran for Windows - комбинацию программы MSC.Nastran с простой использованием графического интерфейса Windows. За счет отказа от некоторых возможностей MSC.Nastran (используемых только для решения особо сложных задач), пользователь получает возможность работать в среде значительно более "легких" операционных систем (типа Windows 95/98) на персональном компьютере с умеренными ресурсами и сберечь значительные средства.

Возможности эффективного и легкого в использовании препроцессора системы MSC.Nastran for Windows включают различные методы формирования геометрических моделей (в том числе и твердотельное моделирование), интерфейсы к CAD-системам, автоматическую и полуавтоматическую генерацию конечно-элементных сеток. Графические возможности MSC.Nastran for Windows весьма широки: динамическое вращение моделей, анимация, визуализация изолиний, изоповерхностей, построение графиков, эпюр и т. д. Так же как и MSC.Nastran, решатель программы MSC.Nastran for Windows располагает всеми возможностями, направленными на экономию дисковой памяти и ускорение вычислений.

MSC.Nastran for Windows обеспечивает расчет напряженно - деформированного состояния, собственных частот и форм колебаний, анализ устойчивости, решение задач теплопередачи, исследование установившихся и неустойчивых процессов, нелинейных статических процессов, нелинейных динамических переходных процессов, анализ частотных характеристик при воздействии случайных нагрузок, спектральный анализ. Предусмотрена возможность моделирования многих типов материалов, включая гиперупругие. Наряду с прямым расчетом, MSC.Nastran for Windows может использоваться и для оптимизации конструкций.

В среду MSC.Nastran for Windows интегрированы также дополнительные возможности, которыми не располагает программа MSC.Nastran, - анализ долговечности.

14.5 "Тяжелые" CAE-системы ANSYS

ANSYS входит в число лидирующих комплексов вот уже более 25 лет. Первоначально являясь внутренней разработкой фирмы Westinghouse Electric, программа выросла до ведуще-

го конечноэлементного пакета, проникнув из своей "материнской" области - ядерной энергетики - во все отрасли промышленности. Среди множества конечноэлементных программных комплексов ANSYS первый и единственный, разработанный и сертифицированный согласно международным стандартам качества ISO 9000 и ISO 9001. Отличительными особенностями ANSYS являются широчайший охват явлений различной физической природы и открытость, т.е. модифицируемость и дополняемость.

Препроцессор ANSYS позволяет как создавать геометрические модели собственными средствами, так и импортировать уже готовые. Надо отметить, что геометрическая модель в дальнейшем может быть модифицирована любым образом, поскольку при импорте осуществляется перетрансляция данных в геометрический формат ANSYS и деталь не подменяется "неприкасаемой" конечноэлементной сеткой. Пользователь может удалять несущественные мелкие детали, достраивать определенные детали, проводить сгущение-разрежение сетки и другие важнейшие операции, без которых, порой, дальнейшее решение будет совершенно некорректно или вообще не сможет быть достигнуто. Построение поверхностной, твердотельной и каркасной геометрий и внесение изменений осуществляется средствами собственного геометрического моделилера.

ANSYS позволяет решать задачи прочности, теплофизики, гидрогазодинамики, электромагнетизма совместно с расчетом усталостных характеристик и процедурами оптимизации. Единая система команд и единая база данных полностью исключает трудности интеграции и взаимного обмена между указанными сферами. Путем использования в программе специализированных конечных элементов, имеющих помимо перемещений и поворотов в узлах также и степени свободы по температуре, напряжению и др. и переключения типа элемента (например, с электромагнитного на прочностной) реализованы большие возможности проведения связанного анализа.

ANSYS предоставляет уникальную по полноте и самую обширную (объемом более 130Мб текста и 45 Мб примеров) современную систему HELP на основе гипертекстового представления, доступ к которой осуществляется в интерактивном режиме on-line.

В результате многолетнего сотрудничества фирм ANSYS. и LSTC в программу включен модуль LS-DYNA - полностью интегрированная в среду ANSYS всемирно известная программа для высоконелинейных расчетов. Соединение в одной программной оболочке традиционных методов решения с обращением матриц и математического аппарата программы LS-DYNA, содержащей специализированные контактные алгоритмы, множество моделей материалов и использующей явный метод интегрирования, позволяет переходить с неявного на явный метод решения и наоборот.

Описанный подход объединяет преимущества обоих методов и позволяет численно моделировать процессы формования материалов, анализа аварийных столкновений (например, автомобилей) и ударов при конечных деформациях, нелинейном поведении материала и контактом взаимодействия большого числа тел. С использованием этой функции перехода могут быть решены задачи динамического поведения предварительно напряженных конструкций (попадание птицы в преднапряженную турбину двигателя, сейсмический анализ сооружений, нагруженных, например, собственным весом и т.д.) и задачи исследования разгрузки конструкций, подвергнутых большим деформациям (упругое пружинение тонкого штампованного листа и т.д.).

LS-DYNA (LSTC) - многоцелевая программа, использующая явную формулировку метода конечных элементов (explicit finite element method), предназначена для анализа нелинейного динамического отклика трехмерных неупругих структур. Полностью автоматизированное решение контактных задач, а также множество функций по проверке получаемого результата, позволяют инженерам во всем мире успешно решать сложнейшие задачи удара, разрушения и формования. Пользователями программы являются все известные мировые автомобильные концерны, множество фирм оборонной отрасли и др.

Уникальный математический аппарат включает более 25 алгоритмов контактного взаимодействия, более 100 моделей материалов, что позволяет решать задачи:

нелинейной динамики; тепловые задачи; разрушения; развития трещин; контакта; квазистатики; эйлеровой формулировки метода конечных элементов; произвольного Лагранж-Эйлерового поведения; акустики в реальном масштабе времени; междисциплинарного анализа (прочность, теплофизика, акустика).

Все приведенные аналитические инструменты позволяют моделировать широкий круг реальных задач - приложения возможностей LS-DYNA:

- ▶ оценка сопротивляемости удару (т.н. краш-тест): автомобили, летательные аппараты, поезда, суда;
- ▶ анализ динамической прочности автомобильных комплектующих: кузов, бамперы, колесные диски, рулевые колонки и т.д при движении по неровной поверхности;
- ▶ оценка безопасности пассажира (Occupant safety analyses): взаимодействие воздушной подушки и виртуальной модели человека (airbag - dummy interaction) с моделированием ремней безопасности, прорыв подушки безопасности и др.;
- ▶ формование металла, стекла, пластиков: прокат, выдавливание, штамповка, волочение, сверхпластическое формование, резка, прокат профилей, литье, глубокая вытяжка, гидроформование (включая большие деформации) и многоступенчатые процессы;
- ▶ задачи об отрыве лопатки турбинных двигателей (Jet engine blade containment);

- ▶ птицестойкость;
- ▶ взаимодействие потоков жидкости и газа с конструкцией;
- ▶ взрывная нагрузка на изделия;
- ▶ задачи проникания (пробивание броневой пластины, внедрение в грунт пенетраторов и т.п.);
- ▶ анализ ячеистых, сотовых и тонкостенных кессонных конструкций, жестяных контейнеров;
- ▶ расчет сварных, заклепочных и болтовых соединений;
- ▶ биомедицинские приложения, инженерный расчет изделий народного потребления;
- ▶ моделирование землетрясений.

eta/DYNAFORM - специализированный программный комплекс, ориентированный на моделирование процессов листовой штамповки и использующий в качестве ядра математический аппарат программы LS-DYNA.

По праву занимая более 60% рынка в области анализа кинематики механических систем, ADAMS является абсолютным лидером среди аналогичных программных комплексов. Залогом успеха аналитических технологий фирмы MDI является широкое сотрудничество со всеми ведущими производителями как промышленной продукции, так и программного обеспечения и ориентация на нужды конкретного потребителя. В качестве ярких и наглядных примеров можно упомянуть выпуск специализированных модулей для автомобильной промышленности в сотрудничестве с концернами Daimler-Benz, BMW, Volvo и для железнодорожной промышленности по заказу Голландской железнодорожной корпорации, которые постоянно развиваются и теперь доступны широкому кругу потребителей. Модули содержат библиотеки из нескольких десятков стандартных параметризованных конструкторских решений и специальных инструментов по моделированию соответствующих элементов транспортных средств, например грузовых и пассажирских вагонов, колесных пар, путей, подвесок, систем управления. Сотрудничество же с ведущими разработчиками CAD-пакетов привело к созданию интегрированных в среду CATIA, UG, Pro/E, SolidWorks, MicroStation и AutoCAD(MDT) упрощенных конструкторских модулей для анализа кинематики механизмов и их оптимизации еще на стадии проектирования.

ADAMS позволяет определить все параметры движения системы как из абсолютно жестких, так и упругих звеньев, вычислить усилия в связях и реакции в опорах с полной историей изменения по времени, приходящие усилия на элементы управления, определять взаимное перемещение составных частей и перемещения и углы поворота в шарнирах, проводить статический и модальный анализ и многое другое.

Прямой двусторонний интерфейс с ведущими конечноэлементными комплексами (ANSYS и др.) обеспечивает учет упругих свойств конструкции в среде ADAMS и передачу полученных внешних усилий по результатам расчета в конечноэлементный пакет для детального анализа прочностных динамических характеристик конструкции.

Шум является одним из основных показателей, которые характеризуют качество, комфортабельность и конкурентоспособность машин и механизмов. ***Программный комплекс COMET/ Acoustics (AAC) позволяет разработчикам еще на стадии проектирования изделия расчетным путем оценить его акустические свойства и оптимизировать конструкцию.*** Это значительно сокращает количество опытных образцов и объем экспериментальных исследований, связанных с их акустической доводкой.

AUTODYN

Программный расчетный комплекс, предназначенный для решения задач нестационарной нелинейной динамики (Transient Non-Linear Dynamics). Этот программный продукт разрабатывается компанией Century Dynamics с 1985 года. С 5 января 2005 года компания Century Dynamics является «дочерней» компанией **ANSYS Inc.** **AUTODYN** включает в себя встроенные средства для перпроцессинга (подготовки расчетной модели), постпроцессинга (получение данных о результатах расчета) и решатели.

ASAS

Программный продукт **ASAS** позволяет рассчитать прочность, устойчивость, несущую способность и усталостную долговечность силовых элементов плавучих добывающих платформ.

AutoReaGas

Программный продукт **AutoReaGas** позволяет решать задачи газодинамики для процесса взрыва газа

AQWA

Программный продукт **AQWA** компании Century Dynamics - это семейство специализированных модулей для решения задач вычислительной гидродинамики применительно к плавучим объектам различного назначения (плавучие системы нефтедобычи, хранения и выгрузки; морские основания с натяжным вертикальным якорным креплением, крупнотоннажные суда) с реализованной возможностью последующей передачи результатов расчетов для анализа напряженно-деформированного состояния.

Лекция 15.

Технологическая подготовка производства (САМ)

План лекции:

- 15.1. Единая система технологической документации (ЕСТД) - ГОСТ. 3.XXX.*
- 15.2. САМ-системы. САПР технологических процессов*
- 15.3. Разработка технологических планировок и производственных участков и цехов*
- 15.4. Разработка технологической оснастки*
- 15.5 Проектирование штампов холодной листовой штамповки*
- 15.6. . Проектирование пресс-форм для деталей, изготавливаемых из пластмасс*
- 15. 7. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ*

15.1. Единая система технологической документации (ЕСТД)- ГОСТ 3.xxx.

Единая система технологической документации — комплекс государственных стандартов и рекомендаций, устанавливающих взаимосвязанные правила и положения по порядку разработки, комплектации, оформления и обращения технологической документации, применяемой при изготовлении и ремонте изделий (включая сбор и сдачу технологических отходов).

Назначение комплекса документов ЕСТД:

- установление единых унифицированных машинно-ориентированных форм документов, обеспечивающих совместимость информации, независимо от применяемых методов проектирования документов (без применения средств механизации и автоматизации, с применением средств механизации или автоматизации);
- создание единой информационной базы для внедрения средств механизации и автоматизации, применяемых при проектировании технологических документов (далее — документов) и решении инженерно-технических задач;
- установление единых требований и правил по оформлению документов на единичные, типовые и групповые технологические процессы (операции), в зависимости от степени детализации описания технологических процессов;
- обеспечение оптимальных условий при передаче технологической документации на другое предприятие (другие предприятия) с минимальным переоформлением;

— создание предпосылок по снижению трудоемкости инженерно-технических работ, выполняемых в сфере технологической подготовки производства и в управлении производством;

— обеспечение взаимосвязи с системами общетехнических и организационно-методических стандартов.

Государственные стандарты и рекомендации комплекса документов ЕСТД распределены по классификационным группам, приведенным в таблице 3.

Таблица 3. Классификационные группы ЕСТД

Номер группы	Наименование группы
0	Общие положения
1	Общие требования к документам
2	Классификация и обозначение технологических документов
3	Общие требования к документам на машинных носителях
4	Основное производство. Формы технологических документов и правила их оформления на процессы специализированные по методам изготовления или ремонта изделий
5	Основное производство. Формы технологических документов и правила их оформления на испытания и контроль
6	Вспомогательное производство. Формы технологических документов и правила их оформления
7	Правила заполнения технологических документов
8	Прочие
9	Информационная база

САМ-системы

CALS –Технологии. Терминология, относящейся к стадиям жизненного цикла. Терминологический словарь. Часть 1. п. 4. Терминология и определения.

Технологическая подготовка производства: совокупность процессов и процедур, выполняемых с помощью САМ-систем (Computer Aided Manufacturing), имеющей целью создание технологических документов: технологических маршрутов и операционных карт механообработки, сборки (монтажа), контроля, норм времени на выполнение технологических операции; управляющих программ для оборудования с ЧПУ, проектов оснастки и спец.инструмента и т.д.

15.2 САПР технологических процессов

Российские САПР технологических процессов :

- САПР T-flex/*ТехноПро* (Топ Системы)-система проектирования технологических проектов,
- САПР *Компас- Автопроект* (интегрирована фирмой Аскон) – САПР технологических процессов.
- TECHCARD (Интермех) – комплекс средств автоматизации технологической подготовки производства.
- TechnologiCS

Основные функциональные возможности

Формирование полного комплекта технологической документации

- Создание техпроцессов обработки деталей для различных видов производств (механообработка, сварка, сборка, окраска, гальваника, холодная штамповка, литье и др.); с указанием: наименования операций, оборудования, приспособления, вспомогательных материалов;

Автоматическое формирование текстов переходов;

- Расчет технологических размеров с учетом припусков на обработку (расчет технологических размерных цепей);
- Подбор режущего, измерительного и вспомогательного инструмента;
- Формирование операционных, маршрутно-операционных и маршрутных технологических карт; формирует карты контроля; формирует ведомости оснастки, ведомости материалов, спец.инструмента путем выбора оснастки из технологической базы системы;
- Проектирования машиностроительных чертежей для построения и оформления операционных эскизов или любых графических - техпроцессы, титульные листы и другие технологические документы. Упрощение проектирования технологии: расчет режимов и норм и т.д.;
- Материальное и трудовое нормирование;
- Каталогизация разработанных ТП в архиве технологий;
- Создание многовариантных расцеховочных маршрутов изготовления изделия;
 - База данных технологического назначения, содержащая следующую информацию:
 - нормативы времени на основные виды работ;
 - иллюстрированный классификатор, паспортные данные и размещение оборудования по цехам и участкам;
 - иллюстрированный классификатор и анкетные данные средств технологического оснащения (приспособления, режущий, вспомогательный и измерительный инструмент);
 - применяемые основные и вспомогательные материалы;
 - виды заготовок и применяемость по сортаменту;
 - классификатор технологических операций с выбором любых параметров;
 - классификатор типовых переходов;
 - справочные данные для заполнения параметров операционной технологии;
 - библиотека типовых технологических процессов на различные виды производств;

- рекомендуемые режимы обработки.

Использование оригинальных и традиционных методов проектирования техпроцессов по ГОСТ- накопление и использование базы данных: позволяет переносить субъективные знания каждого технолога в базу компьютера

15.3. САМ-системы. Разработка технологических планировок и производственных участков и цехов

Предназначен для автоматизации процесса формирования графической и текстовой документации технологических планировок производственных цехов и участков , реорганизация существующего производства, а также получение справочной информации по установленному на производстве оборудованию. (LCAD компании Интермех – 2D., e-Factory UDS PLM Solutions – 3D).

15.4. САМ-системы. Разработка технологической оснастки:

Компас- «САПР Фрез» - для использования конструкторами-инструментальщиками, проектирующими режущий инструмент.

Основные задачи, которые решает САПР Фрез :

- проектирование червячных фрез;

Червячные фрезы проектируются для следующих типов деталей:

- зубчатые колеса ГОСТ 1643-81 – фреза ГОСТ 9324-80;
- шлицевые валы ГОСТ 1139-80 – фреза ГОСТ 8027-86;
- звездочки – фреза ГОСТ 15127-83;

нестандартные детали (острошлицевые валы и др.).

15.5. САМ-системы. Проектирование штампов холодной листовой штамповки (САПР T-flex/Штамп, Компас-Штамп, САМ- Модули штампы UG/ (*UG/MoldWizard II, UG/Die Engineering Wizard*)

15.5. Проектирование пресс-форм для деталей, изготавливаемых из пластмасс

Модуль **UG/MoldWizard II** позволяет в 10 раз сократить время, затрачиваемое на проектирование пресс-форм для деталей, изготавливаемых из пластмасс по сравнению с традиционным программным обеспечением.

В этом модуле автоматизированы следующие процессы:

- импортирование данных и создание отдельного проекта для пресс-формы;
- создание семейства пресс-форм и расчет усадки;
- полностью автоматизирована функция определения полостей штампа, включая определение линий разъема штампа.

Power SHAPE – 3-х мерное моделирование сложных деталей. Эта программа ориентирована на **производителей оснастки**, которым необходимо подготовить полученные модели для производства.

15.6. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ.

Подготовка управляющих программ для различных видов технологического оборудования :

- ▶ обрабатывающие центры,
- ▶ фрезерные станки,
- ▶ сверлильные и расточные станки,
- ▶ токарные станки,
- ▶ листопробивные прессы и штампы,
- ▶ электроэрозионные станки,
- ▶ оборудование для лазерной и газовой резки.

Результатом работы является управляющая программа. В САМ-системах реализованы следующие виды 2 и 5,5 координатной обработки: фрезерование, резка, гравировка, листопробивка, сверление.

Лекция 16.

САПР в мире

План занятия

16.1. Зарубежные CAD/CAM/CAE системы среднего уровня

16.2. CAD/CAM/CAE системы высшего уровня

16.2.1. CAD/CAM/CAE система высокого уровня UGS NX.

16.2.2. CAD/CAM/CAE система высокого уровня Pro/ENGINEER.

16.2.3. CAD/CAM/CAE система высокого уровня CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application). Функциональные модули платформы P1, P2, P3.

16.2.4. CAD/CAM/CAE система высокого уровня Pro/ENGINEER. Функциональные модули.

16.1. Зарубежные CAD/CAM/CAE системы среднего уровня

Присутствующие сегодня на мировом рынке высокоинтеллектуальные системы CAD/CAM изначально разрабатывались в крупнейших аэрокосмических корпорациях: Локхид (CADAM), Дассо (CATIA), МакДонелл-Дуглас (UNIGRAPHICS) и Матра (EUCLID).

CAD- системы среднего уровня: Solid Works, Autodesk Inventor, Solid Edge, (см. таблицы 4) близки по функциональности и находятся примерно в одной ценовой нише. Cimatron – интегрированная CAD/CAM- система.

Компании-разработчики «тяжелых» CAD/CAM/CAE систем, как правило, являются и разработчиками PDM-систем. В мире идет процесс глобализации и крупные компании покупают более мелкие вместе с их программными продуктами, на базе которых создается цепочка лучших решений программных продуктов от одного разработчика, охватывающая весь жизненный цикл изделия.

В таблице 4 приведены программные продукты некоторых зарубежных компаний-разработчиков.

Таблица 4

Ядро	ACIS	Parasolid		Granit	Оригинальное графическое ядро CNEXT		
Компания/ продукт	Autodesk (Англия)	Solid Works Co. (США)	UGS PLM Solutions (США)	PTC (США)	IBM (США) (Dessault Systems-Франция)	Delcam (Англия)	Cimatron Ltd. (Израиль)
Конструкторская подготовка производства (конструкторские системы)							
CAD нижнего /среднего уровня	Autocad Mechanical Desktop	SW -Feature Manager	Solid Edge Draft UG-Drafting	-		-	CimatronE
САПР разработки □ л.схем и разводки печатных плат	-		-	-	Circuit Board Designer	-	-
САПР электротехника (трубопроводы и электрожгуты)	Routing (Inventor)	SW-Routing	SE- Routing		Electrical Wire Routing		-
CAD среднего уровня	Autodesk Inventor	Solid Works	Solid Edge	Pro/Desktop		PowerSHAPE	CimatronE
Визуализация	+	+	+	+	+	+	+
CAD высокого уровня:	-	-	Unigraphics NX – 44 мод	Pro/Engineer	CATIA	-	-
- проектирование	-	-	UG NX- 6 мод базовый – UG Gateway	Pro/E-11 мод базовый – Foundation	CATIA- платформа P1-9 мод	-	-
- расширенный пакет конструктора	-	-	UG NX – 10мод	Pro/E-4 мод	CATIA- платформа P2-15 мод	-	-
- промышленный дизайн	-	-	UG NX – 13 мод	-	P1-1 мод P2 – 6 мод	ArtCAM Pro(гравировка)	-
- решение для ювелирн. пром	-	-	-	-	-	ArtCAM JewelSmith	
Технологическая подготовка производства (Технологические системы)							
САПР разработки планировок	-	-	e-Factory	-	Plant Layout	-	-
САПР технологических процессов	-	-	TeamCenter Manufacturing	-	-	-	-
САПР технологической оснастки:	-	-	UG CAM	Pro/E-7 мод +	P2 – 2 мод	-	CimatronE Electrode
- проектирование и изготовление прессформ	-	-	UG NX – 9 + 15 мод	+	Mold Tooling Designer	-	CimatronE MoldDesign
- проектирование и изготовление штампов	-	-	UG NX – 9 + 19 мод	+	+	-	LATHE Токарная обработка
Пакет технолога и конструктора ЧПУ	-	-	UG NX – 20+ 14 мод.	NC Verification – 3 мод	P2 – 2 мод	-	CimatronE NC
Система технологического раскроя	-	-	UG NX – 1	-	-		-
CAE- системы							
Инженерные расчеты CAE	-	COSMOS	UG NX – 5 + 6 мод.	Pro/Mechanica – 6 мод.	P1 – 1 мод, P2 – 4 мод.		-
							-
Системы параллельной работы над проектом							
					PS-Team		
Управление данными об изделии							
PDM-системы	Autodesk Vault 2006	SWR-PDM SWR-PDM/Workflow	TeamCenter Engineering	WindChill, WildFire	Enovia	-	-

16.2. CAD/CAM/CAE Системы высшего уровня

Системы высшего уровня отличаются от остальных систем двумя основными признаками.

Во-первых, возможностью обеспечения всего цикла создания изделия – от концептуальной идеи до реализации – внутри самой системы, без дополнительного использования внешних приложений.

Во-вторых, обеспечение единой среды для разработки изделия и поддержка параллельного инжиниринга, то есть создание единой цифровой модели, с которой все участники проекта могут работать одновременно. Такие системы должны иметь достаточно мощные средства параметризации, позволяющие проводить изменения сложных структур в больших сборках, иметь возможность построения сложных ассоциативных связей, а также определенную гибкость, так как изделие в процессе проектирования постоянно изменяется.

Эти системы называют еще системами сквозного проектирования, т. е. обладающими функциями CAD/CAM/CAE-систем

16.2.2. CAD/CAM/CAE система высокого уровня UGS NX.

Компания:	UGS PLM Solution Центральные офисы - США Офис-представительство по Восточной Европе– г. Москва
Программный продукт	UGS NX, Solid Edge, TeamCenter.
Язык разработки	английский
Локализация	русский,

NX Архитектура:

Основа взаимодействия продуктов UGS:

- ▶ Создан на основе технологий XML и eXT = PLM XML
- ▶ Ассоциативная связь между продуктами UDS
- ▶ Unigraphics, IDEAS, ImageWare , Solid Edge

Для предприятий аэрокосмической и автомобильной промышленности большой интерес могут представить система верхнего уровня **UG NX** (UGS PLM Solution).

Рассмотрим некоторые особенности системы **UG NX**.

- Лучший в промышленности пакет твердотельного гибридного моделирования, который дает пользователю полный набор функций работы с твердым телом, поверхностью и какриской моделью, основанный на полностью ассоциативном па-

раметрическом дереве построения. Мощное средство визуализации, анимации, построения прототипов.

- Уникальный революционный системно-инженерный подход к построению WAVE-модели. Этот подход дает наиболее экономически эффективный и рациональный способ создания, сопровождения и оценки нового продукта, имеющего новые концептуальные решения.
- Мощные возможности по созданию и управлению крупными сборками, содержащими десятки и сотни тысяч компонентов.
- Модули высокоскоростной технологической обработки для любых типов оборудования.
- Модули SHOP, предлагающие решения одинаково удобные как для программиста станков с ЧПУ, так и для рабочего (шаблоны практических решений).
- Модули инженерного анализа, базирующиеся на встроенных решениях таких пакетов, как NASTRAN и ADAMS.
- Открытый мощный программный интерфейс дает возможность разрабатывать собственное прикладное программное обеспечение, которое будет полностью интегрировано в UG.
- Эффективный обмен данными с другими системами, даже при плохом качестве входных данных, полученных из старых систем.
- Поддержка внешних форматов данных: IGES, STEP, DXF, DWG и прямых интерфейсов к наиболее известным пакетам.
- Система UG работает на всех профессиональных RISE-платформах и соответствующих UNIX-SS, а также под управлением Windows NT на платформах Intel и ALFA.

Все рассмотренные системы постоянно развиваются, дополняясь все новыми модулями и возможностями. С течением времени программные продукты приобретают способность одинаково эффективно решать в своей "весовой" категории предъявляемые пользователем задачи. В этом случае пользователь при выборе той или иной системы руководствуется в первую очередь ее ценой. В то же время развитие программных сред имеет тенденцию перехода в более "тяжелую" категорию, но никогда наоборот. К сожалению, такое усовершенствование в большинстве случаев приводит к необходимости использования все более и более мощного аппаратного обеспечения.



Solid Edge является принципиально новой системой автоматизированного конструирования (CAD), которая предназначена для разработки сборочных узлов и геометрического моделирования отдельных деталей. Разработанный с использованием передовой технологии трехмерного моделирования, Solid Edge обеспечивает настоящий прорыв в области интерактивного конструирования изделий машиностроения и позволяет значительно сократить время разработки изделия. Solid Edge прост в освоении и использовании,

благодаря чему Вы уделяете больше времени конструированию и тратите меньше времени на управление системой. Solid Edge разработан специально для Microsoft Windows и является первой системой CAD, которая предлагает эффективное объектно-ориентированное параметрическое моделирование в удобной и хорошо известной среде Windows. Предлагая интуитивный интерфейс, который отражает естественный процесс работы над конструкцией изделия, Solid Edge устраняет избыточность команд и запутанность процедуры создания модели. Solid Edge разработан с использованием наиболее известных открытых программных технологий, что позволяет быстро и легко объединить этот продукт вместе с другими программными средствами автоматизации в рамках единого проекта.

16.2.3. CAD/CAM/CAE система высокого уровня Pro/ENGINEER.

Представление о возможностях полномасштабных CAD/CAM/CAE систем можно получить, рассмотрев один из самых распространенных программных продуктов - **Pro/ENGINEER**.

Система Pro/ENGINEER представляет собой модульную структуру, ядро которой - базовый модуль Pro/ENGINEER, к которому подключается множество различных модулей, охватывающих весь спектр конструкторско-технологических разработок.

Pro/ENGINEER спроектирован таким образом, что он используется конструктором с самого начала работы над изделием - с момента определения объектов и характеристик конструкции. Каскадное меню обеспечивает логический выбор и установку большинства предвыборных опций. В любой момент доступна полная помощь по выполняемой функции и короткая подсказка в строке подсказок. Это делает систему Pro/ENGINEER простой в использовании даже для неподготовленных конструкторов. Опытные пользователи при помощи "макроклавиш" (для выполнения часто используемых последовательностей команд) заданных ими пользовательских меню значительно увеличивают производительность работы с системой. Возможность системы выполнять эскизную геометрию непосредственно на твер-

дотельной модели позволяет легко и просто помещать объекты ("фичеры") в конструкцию модели.

Система основана на единой структуре данных, с возможностью делать изменения непосредственно в системе. Таким образом, изменения, внесенные в какой-то момент разработки, автоматически переносятся на все реализованные этапы конструкторско-технологического процесса, обеспечивая преемственность инженерных разработок.

Моделирование в Pro/ENGINEER основано на "фичерах", таких как фаски, ребра, скругления, оболочки и др., что позволяет создавать геометрию любой сложности. Наряду с информацией о их местоположении и связях с другими объектами "фичеры" содержат не-геометрическую информацию, например, процесс изготовления и связанные с ним расходы. Для размещения "фичеров" нет необходимости в координационной системе, так как они напрямую связываются с существующей геометрией. Вследствие этого все изменения осуществляются просто и быстро и отвечают оригинальному конструкторскому замыслу.

В Pro/ENGINEER сборка компонентов (как деталей, так и подузлов) осуществляется с помощью таких операций как "приклеить", "вставить", "ориентировать". Можно быстро создавать сборки любой сложности. Причем компоненты "помнят", как они собраны, и при изменении либо геометрии, либо месторасположения детали соответствующим образом меняются остальные характеристики. Деталь можно проектировать непосредственно в сборке, определяя ее геометрию индивидуально или относительно геометрии существующих деталей, и при модификации параметров последних автоматически обновляются геометрия и местоположение проектируемой детали.

Твердотельное моделирование в Pro/ENGINEER основано на безграничной технологии двойной точности, что обеспечивает высокую точность представления геометрии, характеристик массы и проверки всевозможных зазоров и пересечений.

Полная ассоциативность системы предоставляет мощные возможности по внесению любых изменений, обеспечивая параллельность разработки конструкторского и технологического процессов. Инструмент для работы с параметрической базой данных позволяет успешно управлять этими синхронными процессами и проводить любые контрольные работы.

Требования Pro/ENGINEER к аппаратной части: функционирование на всех платформах, работающих под управлением UNIX или Windows NT.

Интерфейс пользователя не зависит от операционной системы, поэтому пользователи могут выбирать наиболее экономичную конфигурацию для своих нужд и сочетать различные конфигурации платформ. Система гарантирует легкость обмена информацией между платформами с любой архитектурой.

У «первобытного» подхода к моделированию оставался очень серьезный недостаток. Математическая модель представляла собой некий конечный результат с неизвестным происхождением. Она была статична и мало информативна. Для разрабатываемого изделия, меняющего свой облик в зависимости от различных обстоятельств помногу раз, это означало только одно: **каждый новый вариант – это новая математическая модель и с ней новый расход усилий на ее создание.**

Поскольку методически первобытное моделирование было совершенно «прямым», его трудно было автоматизировать для сокращения затрат на переработку. И тогда усилиями разработчиков был создан новый тип геометрического моделирования – с историей построения. В основе этого механизма лежал некий метод – схема построения, в состав которой входили так называемые *аргументы построения*. Аргументы были трех видов – *геометрические элементы* (точки, прямые, кривые, плоскости, поверхности), *численные параметры с единицами измерения* (расстояния, углы) и *численные параметры без размерности*. История построения хранилась вместе с конечным результатом и позволяла изменять форму поверхности или объемного тела методом изменения численных значений параметров или замены элементов, входящих в его историю.

Так впервые появилось понятие «спецификации геометрического определения» и «рекалькуляции». Оно означало возможность автоматического повторения метода построения геометрии при изменении одного или нескольких его аргументов, в пределах возможности самого метода. Разработчик изделия получил возможность варьировать различными параметрами с целью оптимизации целевого качества.

Постепенно, по мере развития системы, появились дальнейшие развития способов хранения истории геометрии. Один из них – *алгебраическо-сценарийная параметризация*. Она позволяла обогатить историю построения простейшими ассоциативными связями между элементами и определяющими их размерами. Это было важное расширение «спецификации геометрического определения». Возможности модификации геометрии существенно повысились.

16.2.3. CAD/CAM/CAE система высокого уровня CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application).

Ведущие лаборатории IBM в Северной Америке, Европе и Азии, в сотрудничестве с более чем полусотней других компаний заблаговременно начали научно-исследовательские и экспериментальные работы в этой области и уже сегодня установили

новую планку стандарта в программном обеспечении промышленного бизнеса, воплотив его в технологии PLM (**P**roduct **L**ife Cycle **M**anagement). В качестве комплексного решения PLM-концепции корпорация IBM, например, предлагает семейство программных продуктов и методологий **ENOVIA/CATIA/DELMIA**.

Резкое увеличение объемов машиностроительного производства и одновременное зарождение микропроцессорной вычислительной техники в послевоенные годы заставили серьезно задуматься над новыми, более прецизионными способами формоопределения – геометрического моделирования. Сначала удалось это сделать на уровне чертежной графики, а затем и на уровне трёхмерной модели.

Трёхмерная модель в своем первобытном виде обладала одним очень важным достоинством: это был независимый от температуры и влажности формоноситель, который однозначно определял координаты и вектор нормали для любой точки на поверхности формы. Это открывало возможность неограниченно тиражировать эту форму в различных задачах без эффекта накопления погрешности при копировании. Для авиационной отрасли это был живительный бальзам, поскольку изготовление планера связано с длинными цепочками последовательного копирования форм - от плазов через множество шаблонов до исполнительной производственной оснастки и конечного продукта. Благодаря математической модели, у каждого из этих компонентов мог быть единый прототип формы – электронная мастер-модель. Эффект кумулятивного накопления погрешности тем самым был устранен.

Электронное представление пространственной формы стало так же пригодным для численного анализа, точность которого была адекватна точности формоопределения. Научились считать площадь поверхности, координаты центра тяжести, моменты инерции и их вектора и другие жизненно важные параметры. Инженеры получили уникальную возможность знать наперед, сколько будет весить изделие и где у него будет центр тяжести.

Кроме того, математическую модель научили «позировать» перед чертежным листом (в электронном же виде) для получения столь же точной графики.

Чуть позже научились копировать с математической модели не только форму, но и путь инструмента, в результате работы которого эта самая форма могла быть материализована на производстве.

Точно так же произошло и с созданием расчетных моделей для инженерных расчетов. Сетка конечных элементов, как и все остальные приложения, стала создаваться на основе все той же исходной формы в виде электронной модели.

Особого прогресса в этом новом деле добились специалисты французской компании Dassault Aviation, реализовавшие с помощью разработанных ею технологий целую плеяду очень смелых проектов. Эффект был столь велик, что решено было создать инженерную

фирму, разрабатывающую информационные технологии для промышленности на коммерческом уровне. Она получила название Dassault Systemes. Там и родилась знаменитая система компьютерного моделирования **CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application)**.

CATIA- комплексная система автоматизированного проектирования (CAD), технологической подготовки производства (CAM) и инженерного анализа (CAE), включающая в себя передовой инструментарий трёхмерного моделирования, подсистемы программной имитации сложных технологических процессов, развитые средства анализа и единую базу данных текстовой и графической информации.



Cimatron - разработка компании Cimatron Ltd. (Израиль), основанной в 1982 г. и имеющей дочерние компании в США, Германии, Японии, Китае, Великобритании, Франции, Индии и сеть провайдеров в 35 странах мира. Cimatron Ltd. - ведущий разработчик интегрированных процессно-ориентированных CAD/CAM-решений для проектирования и изготовления изделий и сложной технологической оснастки - имеет сегодня более 8500 предприятий-пользователей в различных отраслях промышленности, включая автомобильную, аэрокосмическую, компьютерную, электронную, товары широкого потребления, медицинскую, оптическую, телекоммуникационную, производство игрушек и других. С марта 1996 г. акции Cimatron Ltd. котируются на нью-йоркской бирже высоких технологий NASDAQ. Ведущие индустриальные аналитические компании оценивают Cimatron как одного из передовых разработчиков программного обеспечения в сфере CAD/CAM-решений для промышленного производства.

Движущей силой разработки CAD/CAM-решений Cimatron является философия интегрированных технологий, гарантирующая пользователям достижение практических результатов за счет полноты функциональных возможностей системы. Мощные средства гибридного моделирования обеспечивают возможность как восходящей, так и нисходящей реализации проектов сложных изделий с полной параметризацией и ассоциативностью и применением высококачественной поверхностной геометрии. Автоматическое формирование чертежно-графической документации в полном соответствии с ЕСКД и ЕСТД обеспечивает исключительную производительность и качество работы чертежника. Разнообразные средства проектирования технологической оснастки и управляющих программ для различных типов обработки на станках с ЧПУ позволяют до минимума сократить сроки выпуска новых изделий. Особое внимание Cimatron уделяет разработке высокопроизводительных программных решений для задач инструментального производства. Широкий спектр интерфейсов для обмена

данными с другими системами и технологическим оборудованием, специализированных программных подсистем, разработанных для решения специфических задач различных отраслей зарубежной и отечественной промышленности, средства организации разработки и электронного хранения данных, полная русификация системы и квалифицированное гарантийное обслуживание обеспечивают быстрое внедрение и окупаемость системы Cimatron.



Cimatron E

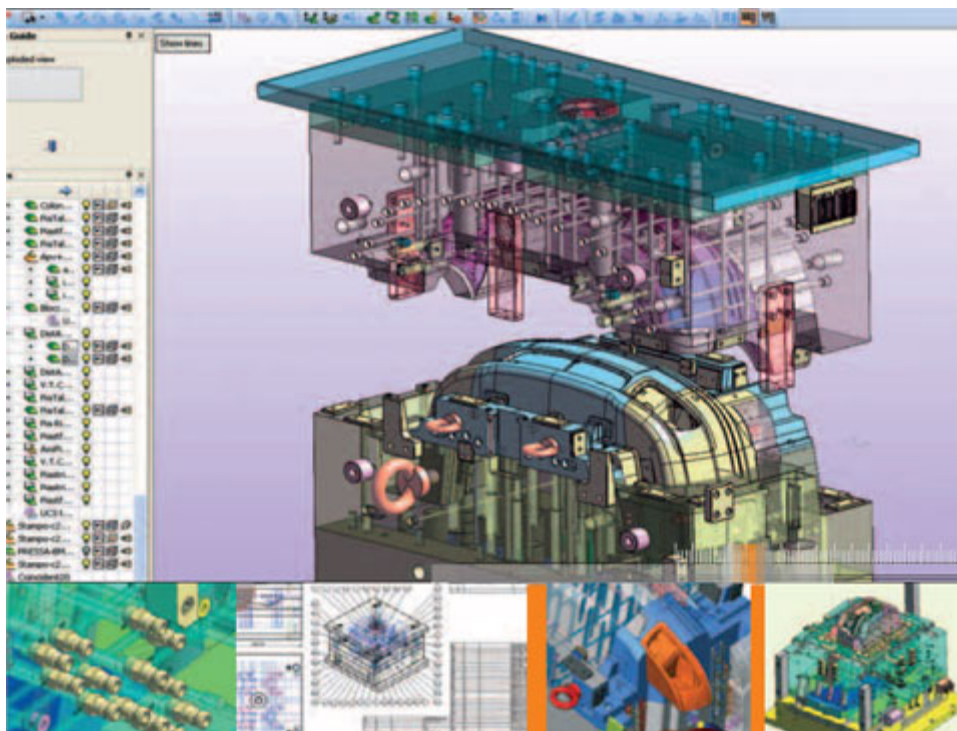
Инновационные решения для производства

- Процессная ориентация
- Организация коллективной работы в единой среде
- Накопление и использование знаний
- Лучшее в классе интегрированное решение для разработки сложной оснастки и инструмента
- Проведение изменений по всем этапам рабочего процесса

CimatronE MoldDesign

Проектирование литьевых и пресс-форм

- Процессно-ориентированное решение для разработки формообразующей оснастки любой сложности
- Богатый набор специализированных средств для максимальной производительности работы
- Настраиваемая рабочая среда и эргономичный интерфейс
- Применение стандартных и пользовательских типовых решений
- Современная система 3D-гибридного моделирования, оптимизированная для разработки оснастки



CimatronE Electrode

- Лучшее в классе решение для прошивной электроэрозии: Специализированное CAD/CAM-решение для комплекса задач прошивной электроэрозии
- Комплексное решение для программирования ЧПУ: от 2 до 5 координат, от микро- до крупногабаритных деталей
- Wire EDM: Проволочная электроэрозионная обработка. Поддерживает различные виды технологических переходов для 2- и 4-координатной проволочной электроэрозии
- LATHE: Токарная обработка. Простая в использовании система, быстрое создание токарных управляющих программ. Прямая связь с Cimatron E

Лекция 17

Управление инженерными данными об изделии на базе PDM- системы

План занятия

17.1 История развития PDM.

17.2. Основные задачи, решаемые PDM.

17.3. Два подхода развития PDM-систем

17.4. Функции современных PDM-систем

17.5 Требования к PDM для российского рынка

Процессы использующие информацию об изделии

Зачем нужны PDM?

- *Снизить себестоимость*
- *Предложить самую:*
 - *качественную*
 - *современную, лучшую продукцию на рынке*
- *Опередить конкурентов*
- *Вернуть инвестиции*

17.1. История развития PDM

I поколение PDM - конец 80-х — начале 90-х годов (1987-1997).

Они предназначались для обеспечения эффективной работы над одним сложным изделием группы разработчиков, то есть конструкторов, проектировщиков, компоновщиков, технологов и т.д. В то время системы PDM представляли собой дополнительное к САПР программное обеспечение, которое отслеживало состав всех сапровских файлов и каталогов, относящихся к разрабатываемому изделию, т.е. хранение файлов конкретных CAD-систем

Системы PDM первого поколения позволяли устранить несогласованность автоматизированной работы группы проектировщиков, а их область применения ограничивалась рабочей группой

II поколение PDM (97-99 гг) - обеспечение управления всеми проектными данными (управление документами) в соответствии с правилами, устанавливаемыми для участников на каждом этапе работ над изделием. Таким образом, на повестку дня вышла задача управления жизненным циклом изделия (Lifecycle), которая является актуальной и поныне.

- Мульти CAD

Областью применения систем PDM второго поколения стали группы и подразделения предприятия, непосредственно занятые в процессе производства

III поколение PDM –середине 90-х зародилась идея, впоследствии ставшая известной под названием «Полное электронное определение изделия». Ее суть заключалась в тотальном охвате всех информационных потоков, касающихся изделия, независимо от того, где, кем и для чего была произведена информация

Для появившихся в период **1999-2002** годов систем PDM третьего поколения характерны следующие особенности:

- полная реализация идеологии «клиент-сервер»,
- реализация СУБД на базе производительных ядер типа Oracle 9.x.x,
- реализация взаимодействия с системами ERP, а также вызов клиентских модулей через унифицированный пользовательский графический интерфейс

Системы PDM третьего поколения обладают следующими функциональными возможностями:

- контроль структуры изделия;
- контроль жизненного цикла изделия;
- контроль версий и релизов информационных объектов;
- генератор спецификаций

IV Поколения PDM - конец 90-х годов – начало 2000

На рынке систем PDM выявились новые тенденции:

- развитие электронной коммерции в сети Internet, получившей название eBusiness,
- развитие глобализации промышленного производства.

Центр тяжести перемещался с категории «изделие» на категорию «процесс изготовления и сопровождения изделия».

Это означает способность гибкой перестройки с массового и серийного производства, с «конвейера», на производство «под заказ», когда учитываются индивидуальные требования по каждому заказу

Новое поколение систем PDM — Web-ориентированных (Web-centric) - cPDM — «collaborative Product Definition management».

Системы должны обеспечивать не централизованный характер управления данными (когда в проекте один директор и иерархия отношений соответствует структуре типичного

унитарного предприятия), а «collaborative»-характер производственных связей, подразумевающий временное сотрудничество без прямого подчинения.

Функциональная область Life Cycle Collaboration обеспечивает среду взаимодействия, PDM-системы четвертого поколения позволяют интегрировать, хранить и поддерживать развитие информации на протяжении всего ЖЦИ,

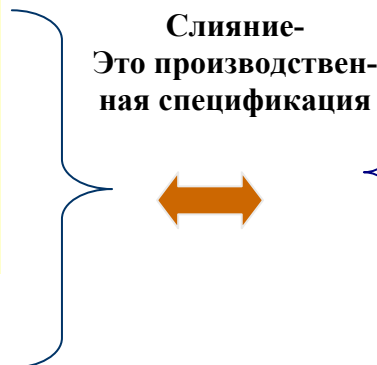
Т.е. – работа всех служб, включая CAD под управлением PLM.

Два подхода развития PDM-систем

Борьба между PDM и ERP-системами

- ✓ 1-й подход: от САПР к PDM – Windchill, Wildfire от компании PTC,
- Enovia от компании Dassault Systems (IBM),
- Team Center Engineering от компании UGS PLM Solutions
- ✓ 2-й подход: модули управления ЖЦИ в ERP-системах
- SAP PLM от компании SAP AG
- BAAN PLM от компании BAAN

CPC (Collaborative Product Commerce)
Использование интернет-среды для разработки, выпуска и реализации продукции при условии сохранения конкурентоспособности



ERP (Enterprise resource planning),
В т.ч. BOM

Управление данными в конструкторской сфере

Управление данными в производственной сфере

Функции современных PDM-систем:

- ✓ Управление структурой изделия (в т.ч BOM);
- ✓ Управление потоками работ (Workflow);
- ✓ Ведение спецификаций. Спецификация – ассоциативная структура изделия (многоуровневые спецификации, генератор спецификаций);
- ✓ Отслеживание внесения изменений и модификация;
- ✓ Отслеживание принадлежности к модельному ряду;
- ✓ Навигатор по структуре изделия (динамический просмотр иерархической организации информации);

- ✓ Сравнение структур изделия;
- ✓ Интернет B2B.

Требования к PDM для российского рынка:

- ✓ Изготовление «на заказ»;
- ✓ «Временные » пользователи;
- ✓ Универсальность к приложениям;
- ✓ Работа с любыми CAD/CAM системами;
- ✓ Web-технологии + PLM (Web-портал);
- ✓ Цена

Лекция 18.

Управление жизненным циклом изделия. c-PDM. Основные составляющие PLM

План занятия:

18.1. c-PDM «collaborative Product Definition management».

18.2. Основные составляющие PLM

18.1. c-PDM «collaborative Product Definition management».

В начале 21 века разработано новое поколение систем PDM — Web-ориентированных (Web-centric). cPDm — «collaborative Product Definition management». Системы должны обеспечивать не централизованный характер управления данными (когда в проекте один директор и иерархия отношений соответствует структуре типичного унитарного предприятия), а «collaborative»-характер производственных связей, подразумевающий временное сотрудничество без прямого подчинения

Сегодня происходит переход от PDM к корпоративным системам PLM (Product Lifecycle Management — «управление жизненным циклом изделия»), учитывающим процессы, исполнителей, этапность производства и открытым для интеграции данных из других систем и других предприятий

18.2. Основные составляющие PLM

Одно из наиболее полных определений PLM состоит из четырех пунктов:

- стратегический подход к бизнесу, предлагающий непрерывный набор бизнес-решений, который поддерживает коллаборативный режим создания, управления, распределения и использования определения изделий (интеллектуальных активов предприятия);

- *поддержка «расширенного представления о предприятии»* (extended enterprise), в том числе поддержку процессоров проектирования, пользователей и партнеров;
- *действие во времени от момента рождения концепции изделия до снятия его с производства* и окончания сервисного периода;
- интеграция людей, процессов, людей, систем и информации.

В этом определении PLM рассматривается не как часть или части технологий, а как бизнес-подход, цель которого состоит в поиске ответов на вопросы «Как работает бизнес?» и «Что создается?».

Интеграция промышленного бизнеса: Все виды деятельности и дисциплины, представляющие компоненты жизненного цикла изделия, должны обрести универсальное ядро, обеспечивающее единое представление промышленного бизнеса как систему продуктов, процессов и ресурсов. Все эти три компонента должны основываться на единой схеме описания (специфицирования).

Ассоциативность: Между всеми компонентами жизненного цикла изделия должны поддерживаться устойчивые и управляемые причинно-следственные связи. Любой элемент описания продукта, процесса или ресурса должен хранить при себе свое происхождение и условия существования. Это основная, радикальная мера для сокращения затрат на выпуск новых, конкурентоспособных товаров.

Три основные концепции PLM:

- возможность универсального, безопасного и управляемого способа доступа и использования информации, определяющей изделия;
- поддержание целостности информации, определяющей изделие, на протяжении всего его жизненного цикла изделия;
- управление и поддержка бизнес-процессов, используемых при создании, распределении, и использовании подобной информации.

Эти определения позволяют расширить представления области действия PLM на нетрадиционные изделия. Изначально PLM применяли к изделиям, имеющим штучное представление, но сегодня в качестве изделий можно рассматривать также программное обеспечение, различные формы услуг (от информационных до бытовых), продукцию нефтегазового комплекса и т.д.

Слагаемые PLM: Кроме обычных для этой прикладной области средств:

- CAD (Computer Aided Designer) – САПР конструктора,
- CAM (Computer Aided Manufacturing) – САПР технолога,

- CAE (Computer Aided Engineering) – автоматизированные системы инженерных расчетов;

- обязательный компонент PLM — это CRM (Customer Relationship Management)- системы управления взаимоотношениями с клиентами: средства продажи, включающие в себя продукты, начиная от центров обработки вызовов до систем формирования индивидуальных заказов;

- программы класса MPM (Manufacturing Process Management) отвечают за планирование и моделирование процесса производства с использованием обрабатывающих центров с ЧПУ, роботов и т.п. Основа этой деятельности — база данных оборудования, инструментов, программ и шаблонов, необходимых для производства изделия (bill of process);

- BOM (Bill of Material)- спецификация изделия (конструкторская, технологическая, производственная);

- PDM (Product Data Management) – Системы управления данными об изделии (Функция управления составом изделия, Функция отслеживания ссылок на документы электронного архива, Функция сравнения структур изделий, Функции управления конфигурацией изделия, Функции создания электронного архива).

Мировой опыт использования информационных технологий при организации производства наукоемкой продукции в машиностроении показывает, что наибольший эффект от их применения могут обеспечить следующие факторы:

- **Улучшение качества процессов подготовки производства** на основе использования управляемого ассоциативными связями набора типовых моделей, определяющих как базовое исполнение, так и все допустимые модификации и охватывающих весь жизненный цикл изделия.

- **Организация информационного взаимодействия и координации всех** служб исполнителя и его поставщиков под потребности заказчика для выполнения конкретного проекта в рамках единой информационно-технологической среды.

- **Использование совмещенного проектирования основного изделия и технологической оснастки** для его производства - как во времени, так и в пространстве.

- **Организация и постоянное совершенствование системы управления** повторно используемыми компьютерными знаниями в производственной сфере.

- **Минимизация количества натурных образцов и испытаний** с их использованием за счет перехода к компьютерному моделированию как собственно изделия, так и технологической оснастки для его изготовления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса. *Под общ. редакцией А.Г.Братухина*. – К.; Техника, 2001. – 728 с.
2. САПР и автоматизация производства. *Грувер М., Зиммерс Э.* Пер. с англ. М.: Мир. 1987, 528 с
3. Технологичность конструкции изделия. Справочник. *Под общ. редакцией Ю.Д.Амирова* – 2-е издание переработанное и дополненное. – М.; Машиностроение, 1990. – 768 с.
4. Теоретические основы САПР. *В.П.Корячко, В.М.Курейчик, И.П.Норенков*. М.: «Энергоатомиздат», 1987. – 287 с.
5. Технология открытых систем – основное направление информационных технологий. *Ю.В.Гуляев, А.Я. Олейников* / Информационные технологии и вычислительные системы. – 1997. - №3.
6. От идеи до изделия – симфония без диссонансов? Два подхода к автоматизации процесса разработки. *Илья Артамошин*. CAD/CAM/CAE Observer #2 (11) 2003.
7. Единая система конструкторской документации сегодня. *Самиль ТАЛЛЕР, Сергей ПИЧЕВ*. Ж. «Стандарты и качество №7, 2006 г.
8. Эволюция графических стандартов. *В. Н. Кочин, НФВЭ, Протвино*. Открытые системы ::
9. *В.Коваленко*. Системы автоматизации проектирования вчера, сегодня, завтра. Открытые системы. № 2 1997.
10. Путешествие в центр САПР. *Елена Гореткина* /PC Week 22-28/02-2005 № 6(468) М.
11. История Древнего мира. CAD/CAM/CAE observer №3, 2000
12. *М.М.Безкоровайный, А.И.Костогрызлов, В.М.Львов*. Инструментально-моделирующий комплекс для оценки качества функционирования информационных систем КОК. М. Вооружение, политика, конверсия, 2001 – 303 с. , 2-е издание.
13. [www: cadcamcae.lv](http://www.cadcamcae.lv)
14. [www: sapr.ru](http://www.sapr.ru)
15. [www: ops.ru](http://www.ops.ru)

Основополагающие стандарты ЕСКД

ГОСТ 2.001-93 ЕСКД. Общие положения
 ГОСТ 2.101-68 ЕСКД. Виды изделий
 ГОСТ 2.102-68 ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов
 ГОСТ 2.103-68 ЕСКД. Стадии разработки
 ГОСТ 2.104-68 ЕСКД. Основные надписи
 ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам
 ГОСТ 2.106-96 ЕСКД. Текстовые документы
 ГОСТ 2.109-73 ЕСКД. Основные требования к чертежам
 ГОСТ 2.111-68 ЕСКД. Нормоконтроль
 ГОСТ 2.114-95 ЕСКД. Технические условия
 ГОСТ 2.118-73 ЕСКД. Техническое предложение
 ГОСТ 2.119-73 ЕСКД. Эскизный проект
 ГОСТ 2.120-73 ЕСКД. Технический проект
 ГОСТ 2.201-80 ЕСКД. Обозначение изделий и конструкторских документов
 ГОСТ 2.316-68 ЕСКД. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц
 ГОСТ 2.317-69 ЕСКД. Аксонометрические проекции
 ГОСТ 2.501-88 ЕСКД. Правила учета и хранения
 ГОСТ 2.503-90 ЕСКД. Правила внесения изменений
 ГОСТ 2.601-95 ЕСКД. Эксплуатационные документы
 ГОСТ 2.602-95 ЕСКД. Ремонтные документы
 ГОСТ 2.604-2000 ЕСКД. Чертежи ремонтные. Общие требования
 ГОСТ 2.701-84 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению

Приложение Б

Обозначение	Заглавие на русском языке	
ГОСТ 3.1001-81	Единая система технологической документации. Общие положения	
ГОСТ 3.1102-81	Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов	
ГОСТ 3.1103-82	Единая система технологической документации. Основные надписи	
ГОСТ 3.1105-84	Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов общего назначения	
ГОСТ 3.1107-81	Единая система технологической документации. Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения	
ГОСТ 3.1109-82	Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий	
ГОСТ 3.1116-79	Единая система технологической документации. Нормоконтроль	
ГОСТ 3.1118-82	Единая система технологической документации. Формы и правила оформления маршрутных карт	
ГОСТ 3.1119-83	Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на единичные технологические процессы	
ГОСТ 3.1120-83	Единая система технологической документации. Общие правила отражения и оформления требований безопасности труда в технологической документации	
ГОСТ 3.1121-84	Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на типовые и групповые технологические процессы (операции)	
ГОСТ 3.1122-84	Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов специального назначения. Ведомости технологические	
ГОСТ 3.1123-84	Единая система технологической документации. Формы и правила оформления технологических документов, применяемых при нормировании расхода материалов	
ГОСТ 3.1125-88	Единая система технологической документации. Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок	

Обозначение	Заглавие на русском языке	
ГОСТ 3.1126-88	Единая система технологической документации. Правила выполнения графических документов на поковки	
ГОСТ 3.1127-93	Единая система технологической документации. Общие правила выполнения текстовых технологических документов	
ГОСТ 3.1128-93	Единая система технологической документации. Общие правила выполнения графических технологических документов	
ГОСТ 3.1129-93	Единая система технологической документации. Общие правила записи технологической информации в технологических документах на технологические процессы и операции	
ГОСТ 3.1130-93	Единая система технологической документации. Общие требования к формам и бланкам документов	
ГОСТ 3.1201-85	Единая система технологической документации. Система обозначения технологической документации	

ПЕРЕЧЕНЬ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ ЕСКД, ТРЕБОВАНИЯ КОТОРЫХ РАСПРОСТРАНЯЮТСЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ДОКУМЕНТАЦИЮ

Обозначение стандарта	Наименование стандарта	Номер группы по п. 2.2
ГОСТ 2.004-88	ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ	1
ГОСТ 2.501-88	ЕСКД. Правила учета и хранения	1
ГОСТ 2.502-68	ЕСКД. Правила дублирования	1
ГОСТ 2.503-90	ЕСКД. Правила внесения изменений	1

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДАЦИЙ ЕСТД

Обозначение рекомендаций	Наименование рекомендаций	Номер группы по п.2.2
Р 50-54-17-87	ЕСТД. Правила записи операций и переходов. Получение покрытий	7
Р 50-54-33-87	ЕСТД. Требования к оформлению документов на технологические процессы электрофизических и электрохимических методов обработки	4
Р 50-609-38-88	ЕСТД. Правила оформления документов контроля. Паспорт технологический. Журнал контроля технологического процесса	5
Р 50-60-88	ЕСТД. Правила оформления документов на технологические процессы ремонта	4
Р 50-65-88	ЕСТД. Порядок оформления карты регистрации результатов испытаний	5
Р 50-67-88	ЕСТД. Порядок оформления документов, применяемых при разработке, внедрении и функционировании технологических процессов	1
Р 50-68-88	ЕСТД. Учет применяемости технологической оснастки	6
Р 50-54-69-88	ЕСТД. Расчет применяемости деталей и сборочных единиц в изделии с использованием вычислительной техники	9
Р 50-70-88	ЕСТД. Правила оформления документов, применяемых в ремонтных и инструментальных цехах	6
Р 50-54-71-88	ЕСТД. Автоматизированное формирование форм технологических документов на основе базы данных	1
Р 50-72-88	ЕСТД. Порядок оформления документов, применяемых при нормировании технологических процессов (операций). Технико-нормировочная карта	1
Р 50-54-76-88	ЕСТД. Правила записи технологических операций и переходов. Технический контроль	7
Р 50-92-88	ЕСТД. Общие положения по внесению изменений	1
Р 50-111-89	ЕСТД. Правила оформления документов на процессы перемещения	4
Р 50-114-89	ЕСТД. Правила оформления документов на технологические процессы консервации и упаковывания	4
Р 50-54-274-89	ЕСТД. Инструмент режущий. Допускаемые сокращения условных обозначений	1