

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

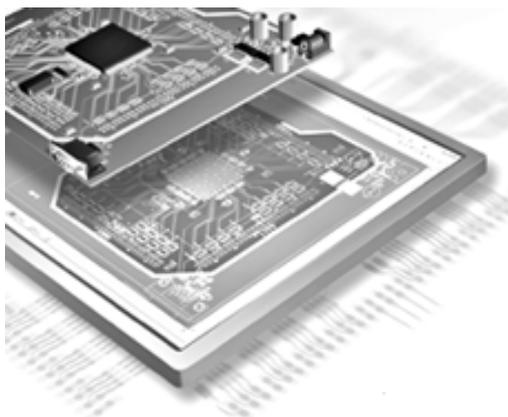
---

---

**И. И. Кочегаров**

# **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЭС**

**Учебное пособие**



**ПЕНЗА 2007**

УДК 004.94  
К75

Р е ц е н з е н т ы :

Научно-технический совет ФГУП «Научно-исследовательский институт  
электронно-механических приборов»  
Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии» ГОУ ВПО  
«Пензенская государственная технологическая академия»  
*М. Ю. Михеев*

**Кочегаров, И. И.**

К75 Информационные технологии проектирования РЭС : учеб. пособие /  
И. И. Кочегаров. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2007. – 96 с. : ил. – Библи-  
огр. 89–90.

Рассматриваются информационные технологии, используемые при создании различной продукции. Описываются история развития и современное состояние систем проектирования; даны функции, выполняемые такими системами на примерах наиболее популярных пакетов.

Разбираются системы и методологии, позволяющие построить автоматизированные системы управления предприятия и обеспечить информационную поддержку изделия на протяжении жизненного цикла в соответствии с CALS-технологиями.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Конструирование и производство радиоаппаратуры» и предназначено для использования студентами в учебных курсах, связанных с системами автоматизированного проектирования и информационными технологиями, используемых при проектировании радиоэлектронных или механических изделий.

УДК 004.94

© Кочегаров И. И., 2007

© Издательство Пензенского государственного  
университета, 2007

# Введение

В настоящее время в связи с постоянным ростом сложности и наукоёмкости выпускаемой продукции неотъемлемым элементом процесса проектирования является использование систем автоматизированного проектирования. Поэтому необходимо знать теоретические основы построения таких систем, а также функции, возлагаемые на них.

В учебном пособии рассматриваются информационные технологии, используемые при создании различной продукции. Описывается история развития систем проектирования, разбитая на несколько этапов.

Важным этапом жизненного цикла радиоэлектронных изделий является выбор и моделирование схемотехнического решения, проектирование печатной платы. Этому посвящена отдельная глава учебного пособия.

Далее рассказывается о системах и методологиях, позволяющих построить автоматизированные системы управления предприятия и обеспечить информационную поддержку изделия на протяжении жизненного цикла в соответствии с CALS-технологиями. Отдельная часть посвящена организации и работе виртуальных предприятий, позволяющих сократить время разработки изделия и минимизировать затраты на её изготовление.

Кроме того, рассматриваются технологии быстрого прототипирования и быстрого изготовления оснастки, позволяющие получить модель непосредственно из трёхмерной электронной модели.

# История развития САПР в машиностроении

Основными требованиями к промышленному производству являются сокращение срока выхода продукции на рынок, снижение ее себестоимости и повышение ее качества. Выполнить эти требования невозможно без широкого использования методов и систем автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа, т. е. CAD/CAM/CAE-систем.

Историю развития CAD/CAM/CAE-систем часто разделяют на несколько этапов.

На первом этапе (до конца 70-х годов прошлого века) был получен ряд научно-практических результатов, доказавших принципиальную возможность автоматизированного проектирования сложных промышленных изделий. Возможности систем на первом этапе в значительной мере определялись характеристиками имеющихся в то время графических аппаратных средств. Преимущественно использовались графические терминалы, подключаемые к мэйнфреймам, в качестве которых применялись компьютеры компании IBM или мини-ЭВМ типа PDP/11. Построение САПР было весьма дорогим: так, в начале 80-х годов XX века стоимость одной лицензии CAD-системы доходила до 90 тыс. дол.

На втором этапе (80-е годы) появились и начали использоваться графические рабочие станции компаний Intergraph, Sun Microsystems с архитектурой SPARC или автоматизированные рабочие места на компьютерах VAX компании DEC под управлением ОС Unix. К концу 80-х годов стоимость CAD-лицензии снизилась примерно до 20 тыс. дол. Тем самым были созданы предпосылки для создания CAD/CAM/CAE-систем более широкого применения.

На третьем этапе (начиная с 90-х годов) бурное развитие микропроцессоров привело к возможности использования рабочих станций на персональных ЭВМ, что заметно снизило стоимость внедрения САПР на предприятиях. На этом этапе продолжается совершенствование систем и расширение их функциональности. Начиная с 1997 года, рабочие станции на платформе Wintel не уступали Unix-станциям по объемам продаж. Стоимость лицензии снизилась до нескольких тысяч долларов.

Четвертый этап (с конца 90-х годов) характеризуется интеграцией САД/САМ/САЕ-систем с системами управления проектными данными PDM и с другими средствами информационной поддержки изделий.

Принято делить САД/САМ-системы по их функциональным характеристикам на три уровня (верхний, средний и нижний). Первые из них иногда называют «легкими» системами, они ориентированы преимущественно на 2D-графику и сравнительно дешевы. Системы верхнего уровня, называемые также «тяжелыми», дороги, более универсальны, ориентированы на геометрическое твердотельное и поверхностное 3D-моделирование, оформление чертежной документации в них обычно осуществляется с помощью предварительной разработки трехмерных геометрических моделей. Системы среднего уровня по своим возможностям занимают промежуточное положение между «легкими» и «тяжелыми» системами.

В 80-е и в начале 90-х годов прошлого века такое деление основывалось на значительном различии характеристик используемого для САПР вычислительного оборудования. Аппаратной платформой САД/САМ-систем верхнего уровня были дорогие высокопроизводительные рабочие станции с ОС Unix. Эта техника позволяла выполнять сложные операции как твердотельного, так и поверхностного геометрического моделирования применительно к сборочным узлам из многих деталей. САД-системы нижнего уровня предназначались только для автоматизации чертежных работ, выполнявшихся на низкопроизводительных рабочих станциях и персональных компьютерах. По мере улучшения характеристик персональных компьютеров удавалось создавать сравнительно недорогие системы с возможностями параметрического и ассоциативного 3D-моделирования. Такие системы стали относить к САД/САМ-системам среднего уровня. Сегодня деление САД/САМ-систем на САПР верхнего, среднего и нижнего уровней ещё сохраняется, хотя и характеризуется очевидной нечеткостью.

Для современных машиностроительных САД типичны параметризация и ассоциативность. Параметризация подразумевает использование геометрических моделей в параметрической форме, т. е. при представлении части или всех параметров объекта не константами, а переменными. Параметрическая модель, находящаяся в базе данных, легко адаптируется к разным конкретным реализациям и потому мо-

жет использоваться во многих конкретных проектах. При этом появляется возможность включения параметрической модели детали в модель сборочного узла с автоматическим определением размеров детали, диктуемых пространственными ограничениями. Эти ограничения в виде математических зависимостей между частью параметров сборки отражают ассоциативность моделей.

Параметризация и ассоциативность играют важную роль при проектировании конструкций узлов и блоков, состоящих из большого числа деталей. Действительно, изменение размеров одних деталей оказывает влияние на размеры и расположение других. Благодаря параметризации и ассоциативности изменения, сделанные конструктором в одной части сборки, автоматически переносятся в другие части, вызывая изменения соответствующих геометрических параметров в этих частях. Развитие параметризации ведет к так называемому генеративному моделированию (*generative modeling*), при котором внесение изменений в один из узлов конструкции приводит к автоматической корректировке деталей как в данном узле, так и в других узлах, если такая корректировка действительно нужна. Более того, автоматически могут корректироваться не только конструктивные параметры, но и параметры технологических процессов изготовления изменяемых деталей и конструкции оснастки.

Проектирование механических изделий заключается, прежде всего, в конструировании, т. е. в определении геометрических форм тел и их взаимного расположения. Поэтому история автоматизации проектирования в машиностроении связана с историей компьютерной графики и практически началась с создания первой графической станции. Это была станция Sketchpad с дисплеем и световым пером, представленная в 1963 году И. Сазерлендом. Позднее в САПР преимущественно стали применяться растровые дисплеи.

К 1982 году твердотельное моделирование начали применять в своих продуктах компании Computervision, IBM, Prime и др., однако методы получения моделей тел сложной формы еще не были развиты, поверхностное моделирование отсутствовало. В следующем году была разработана техника создания 3D-моделей с показом или удалением скрытых линий. В 1986 году компания Autodesk выпускает свой первый САД-продукт AutoCAD, пока однопользовательскую версию на языке Си с поддержкой представления графических дан-

ных в формате IGES. В 1988 году была создана аппаратура для прототипирования изделий с помощью лазерной стереолитографии по данным, получаемым в САД-системах. Также в 1988 году компания РТС впервые реализовала параметризацию моделей.

Развитие компьютерной графики определяется не только возможностями аппаратных средств, но и характеристиками программного обеспечения. Прикладные программы разрабатываются инвариантными по отношению к особенностям аппаратных средств ввода и вывода графических данных. Связь с конкретными устройствами ввода и вывода осуществляется с помощью программ, называемых драйверами и учитывающих особенности аппаратных средств. Типовые графические операции и процедуры обработки графической информации выполняются с помощью графических систем, представляющих собой библиотеки графических программ.

Значительное внимание с 70-х годов XX века уделяется вопросам стандартизации графических систем. Стандарт на базисную графическую систему включает в себя функциональное описание и спецификации графических функций для различных языков программирования.

В 1993 году компанией Silicon Graphics предложен стандарт на систему OpenGL (SGI Graphical Language), широко применяемую в настоящее время.

В графических системах используются специальные форматы для обмена данными, представляющие собой описание изображения в функциях виртуального графического устройства (в терминах примитивов и атрибутов). Графический формат (метафайл) обеспечивает возможность запоминать графическую информацию единым образом, передавать ее между системами и интерпретировать для вывода на различные устройства. Такими форматами стали CGM (Computer Graphics Metafile), PostScript (Adobe Systems Language), GEM и др.

Работы по стандартизации были направлены на расширение функциональности графических языков и систем, включение в них средств описания не только данных чертежей и 3D-моделей, но и других свойств и характеристик изделий.

В области автоматизации проектирования унификация основных операций геометрического моделирования привела к созданию особых графических систем – геометрических ядер, предназначенных для применения в разных САПР. Наибольшее распространение по-

лучили два геометрических ядра Parasolid (фирма Unigraphics Solutions) и ACIS (компания Spatial Technology). Ядро Parasolid, разработанное в 1988 году, в 1989 году стало основой системы твердотельного моделирования для САПР Unigraphics. Параллельно проводились работы по стандартизации описаний геометрических моделей для обмена данными между различными системами на различных этапах жизненного цикла промышленной продукции. В 1980 году появился формат IGES (Initial Graphics Exchange Specification), ставший на следующий год стандартом ANSI. Фирма Autodesk в своих продуктах стала использовать формат DXF (Autocad Data eXchange Format). В 1984 году в ISO для целей стандартизации в области промышленной автоматизации был создан технический комитет TC184, а внутри него для разработки стандартов обмена данными – подкомитет SC4, где и была разработана группа стандартов ISO 10303 STEP (Standard for Exchange Product model data), включая язык Express и ряд прикладных протоколов.

В настоящее время в мире остались три активно развивающиеся машиностроительные САПР верхнего уровня: системы Unigraphics, CATIA и Pro/Engineer компаний Unigraphics Solution, Dassault Systemes и PTC (Parametric Technology Corporation). Продукты этих фирм доступны с 1981, 1983 и 1987 годов соответственно. К числу САПР верхнего уровня в 90-е годы XX века относились также EUCLID3 (компания Matra Datavision), I-DEAS (SDRC), CADD5 (Compu-tervision), но их развитие было прекращено в связи их слиянием. На базе Unigraphics и I-DEAS была создана система Unigraphics NX, а PTC приступила к внедрению новой версии Pro/Engineer под названием Wildfire.

Наиболее известными CAD/CAM-системами среднего уровня на основе ядра ACIS являются: AutoCAD 2008, Mechanical Desktop и Autodesk Inventor (Autodesk Inc.); Cimatron (Cimatron Ltd.); ADEM (Omega Technology); Mastercam (CNC Software, Inc.); Powermill (DELCAM) и др. К числу CAD/CAM – систем среднего уровня на основе ядра Parasolid принадлежат, в частности, Solid Edge (Unigraphics Solutions); SolidWorks (SolidWorks Corp.); MicroStation Modeler (Bentley Systems Inc.); Pro/Desktop (Parametric Technology Corp.) и др. Компания PTC начинает распространять и применять разработанное ею в 2000 году геометрическое ядро Granite One, а Autodesk – ядро Shape Manager.

В 1992 году корпорация Intergraph, одна из ведущих на тот момент производителей САД-систем для машиностроения, приняла решение о разработке нового программного продукта, целиком построенного на базе платформы Wintel. В результате в конце 1995 года появилась система геометрического моделирования Solid Edge. В 1998 году к Unigraphics перешло все отделение Intergraph, занимающееся САПР для машиностроения. В это же время Solid Edge меняет геометрическое ядро ACIS на ядро Parasolid. В 1999 году появляется шестая версия Solid Edge на русском языке.

В 1993 году в США была создана компания Solidworks Corporation, и уже через два года она представила свой первый пакет твердотельного параметрического моделирования Solidworks на базе геометрического ядра Parasolid. Система Solidworks вошла в число ведущих систем среднего уровня.

Ряд САД/САМ систем среднего и нижнего уровней разработан в СССР и России. Наибольшее распространение среди них получили Компас (компания Аскон) и T-Flex САД (Топ Системы), WinAPM (НТЦ АПМ) и ряд других программных продуктов.

Компания Аскон основана в 1989 году. В нее вошел коллектив разработчиков, который до этого в Коломенском конструкторском бюро машиностроения проектировал систему Каскад. Первая версия Компас для 2D-проектирования на персональных компьютерах появилась в том же 1989 году. В 2000 году САПР Компас была распространена на 3D-проектирование. В 2003 году выпущена шестая версия Компас и система Лоцман: PLM. В настоящее время доступна девятая версия программного пакета.

Основу систем САЕ в машиностроении составляют программы конечно-элементного анализа. Метод конечных элементов разработан в середине прошлого века специалистами, работающими в областях строительной механики и теории упругости. Сам термин «конечные элементы» был введен в 1960 году Клафом (R. Clough). В 1963 году был предложен сравнительно простой способ применения МКЭ для анализа прочности путем минимизации потенциальной энергии. Появились программно-методические комплексы для анализа и моделирования на основе МКЭ.

В 1965 году NASA для поддержки проектов, связанных с космическими исследованиями, поставила задачу разработки конечно-

элементного программного пакета. К 1970 году такой пакет под названием NASTRAN (NAsa STRuctural ANalysis) был создан и начал эксплуатироваться. Одной из компаний, участвовавших в разработке, была MSC (MacNeal-Schwendler Corporation). С 1973 года MSC (с 1999 года компания называется MSC Software Corporation) самостоятельно продолжила развивать пакет MSC.NASTRAN, который стал мировым лидером в своем классе продуктов.

В 1976 году разработан комплекс DYNA3D (позднее названный LS-DYNA), предназначенный для анализа ударно-контактных взаимодействий деформируемых структур. К числу лидеров программ CAE можно отнести также комплекс Ansys.

Как правило, такие комплексы включают в себя ряд программ, родственных по математическому обеспечению, интерфейсам, общности некоторых используемых модулей. Эти программы различаются ориентацией на разные приложения, степенью специализации, ценой и т. п. Например, в комплексе Ansys основные решающие модули позволяют выполнять анализ механической прочности, теплопроводности, динамики жидкостей и газов, акустических и электромагнитных полей. Во все варианты программ входят пре- и постпроцессоры, а также интерфейс с БД. Предусмотрен экспорт (импорт) данных между AnSys и ведущими комплексами геометрического моделирования и машинной графики.

Мировым лидером среди программ анализа на макроуровне считается комплекс Adams, разработанный компанией Mechanical Dynamics Inc. (MDI) Основное назначение Adams (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems) – кинематический и динамический анализ механических систем с автоматическим формированием и решением уравнений движения.

Для проектирования систем, функционирование которых основано на взаимовлиянии процессов различной физической природы, важное значение имеет возможность многоаспектного моделирования. Теоретические основы многоаспектного моделирования на базе аналогий физических величин рассматривались Г. Ольсоном (1947), В. П. Сигорским (1975) и были реализованы в программах моделирования ПА6 и ПА7, разработанных в МВТУ им. Н. Э. Баумана в 1970–1980 гг. Основные положения многоаспектного моделирования позднее были закреплены в стандарте, посвященном языку VHDL-AMS.

## Основные функции и проектные процедуры, реализуемые в ПО САПР

В состав развитых САПР входят CAD, CAM и CAE составляющие.

Основные функции CAD-систем в машиностроении подразделяют на функции двухмерного (2D) и трехмерного (3D) проектирования. К функциям 2D относят черчение, оформление конструкторской документации; к функциям 3D – получение трехмерных геометрических моделей, метрические расчеты, реалистичная визуализация, взаимное преобразование 2D- и 3D-моделей. Синтез моделей сборок выполняют применением операций позиционирования и теоретико-множественных операций пересечения, объединения, вычитания над библиотечными элементами и вновь созданными моделями комплектующих деталей. В ряде систем предусмотрено также выполнение операций компоновки и размещения оборудования, проведения соединительных трасс и т. п.

Основные функции CAM-систем: разработка технологических процессов, синтез управляющих программ для технологического оборудования с ЧПУ, моделирование процессов обработки, в том числе построение траекторий относительного движения инструмента и заготовки в процессе обработки, генерация постпроцессоров для конкретных типов оборудования с ЧПУ, расчет норм времени обработки.

Исходными данными для составления программ для станков с ЧПУ являются результаты конструкторского проектирования, поступающие из CAD. Возможно программирование и при наличии в качестве исходных данных лишь чертежа детали и параметров технологического процесса.

При программировании определяют и кодируют геометрию заготовки, траектории движения подвижных органов станка и параметры обработки. Для этих целей используют специализированные языки, например язык АРТ (Automatically Programmed Tools), относящийся к языкам высокого уровня.

Полученный исходный код на языке АРТ преобразуется в программу управления (перемещений инструмента, управления подачей и т. п.), представляемую в виде аппаратно независимого файла

CLData (Cutter Location Data). Файл CLData поступает в постпроцессор, который переводит программу на язык, требуемый для конкретного типа контроллера. Этими языками пользуются не профессиональные программисты, а заводские технологи, поэтому желательно, чтобы языки были достаточно простыми, построенными на визуальных изображениях ситуаций. Во многих системах дополнительно используются различные схемные языки. Ряд языков стандартизован и представлен в международном стандарте IEC 1131-3.

Особое место в CAD/CAM-системах занимает процедура прототипирования – изготовления прототипов деталей или шаблонов, по которым детали будут изготавливаться. Прототипирование – непосредственная реализация разработанной геометрической модели.

Для прототипирования широко используют стереолитографию, основанную на построении трехмерного объекта из ряда слоев фотополимера, избирательно отверждаемого при облучении. Процесс стереолитографии реализуется с помощью установки, в которой имеется ванна с жидким полимером и вертикально перемещаемая платформа. Платформа при формировании очередного слоя прототипа располагается ниже поверхности жидкого полимера на толщину одного слоя. Луч лазера перемещается по участку поверхности, повторяющему форму сечения прототипа. Этот участок затвердевает. Последовательно слой за слоем, начиная с нижнего слоя, формируется твердый прототип. Стереолитография может быть использована для окончательного изготовления детали, если для нее полимер является подходящим материалом.

Наряду со стереолитографией применяют и другие способы прототипирования, например ламинирование (LOM – Laminated Object Manufacturing), основанное на последовательном склеивании слоев рабочего материала, поступающего в форме рулона. В установке ламинирования лазер вырезает слой по форме требуемого сечения.

Функции CAE-систем довольно разнообразны, так как связаны с проектными процедурами анализа, моделирования, оптимизации проектных решений и поэтому в состав машиностроительных CAE-систем прежде всего включают программы для выполнения следующих процедур:

- моделирование полей физических величин, в том числе анализ прочности, который чаще всего выполняется в соответствии с МКЭ;

- расчет состояний моделируемых объектов и переходных процессов в них средствами макроуровня;
- имитационное моделирование сложных производственных систем на основе моделей массового обслуживания и сетей Петри.

Основными частями программ анализа с помощью МКЭ являются библиотеки КЭ, препроцессор, расчетный модуль и постпроцессор.

Библиотеки КЭ содержат модели КЭ – их матрицы жесткости. Очевидно, что модели КЭ различны для разных задач (анализ упругих или пластических деформаций, моделирование полей температур, электрических потенциалов и т. п.), разных форм КЭ (например, в двумерном случае – треугольные или четырехугольные элементы), разных наборов координатных функций.

Исходными данными для препроцессора является геометрическая модель объекта, чаще всего получаемая из подсистемы конструирования. Основная функция препроцессора – представление исследуемой среды (детали) в сеточном виде, т. е. в виде множества конечных элементов.

Расчетный модуль – программа, которая собирает модели отдельных КЭ в общую систему алгебраических уравнений и решает эту систему.

Постпроцессор служит для визуализации результатов решения в удобной для пользователя форме. В машиностроительных САПР – это графическая форма. Пользователь может видеть исходную (до нагружения) и деформированную формы детали, поля напряжений, температур, потенциалов в виде цветных изображений, в которых палитра цветов или интенсивность свечения характеризуют значения фазовой переменной (рис. 1).

Программно-методические комплексы (ПМК) одного уровня по своим функциональным возможностям приблизительно равноценны, новые достижения, появившиеся в одном из ПМК, в скором времени реализуются в новых версиях других комплексов.

В САПР крупных предприятий обычно используют программы разных уровней. Это связано с тем, что более 80 % всех процедур конструирования можно выполнить на САД-системах нижнего и среднего уровней, кроме того, «тяжелые» системы дороги. Поэтому предприятие приобретает лишь ограниченное количество экземпляров (лицензий) программы верхнего уровня, а большинство клиент-

ских рабочих мест обеспечивается экземплярами программ нижнего или среднего уровней. При этом возникает проблема обмена информацией между разнотипными САД-системами, которая решается путем применения программ разных уровней от одного и того же производителя или путем использования языков и форматов, принятых в CALS-технологиях, хотя для неискаженной передачи геометрических данных с помощью промежуточных унифицированных языков приходится преодолевать определенные трудности.

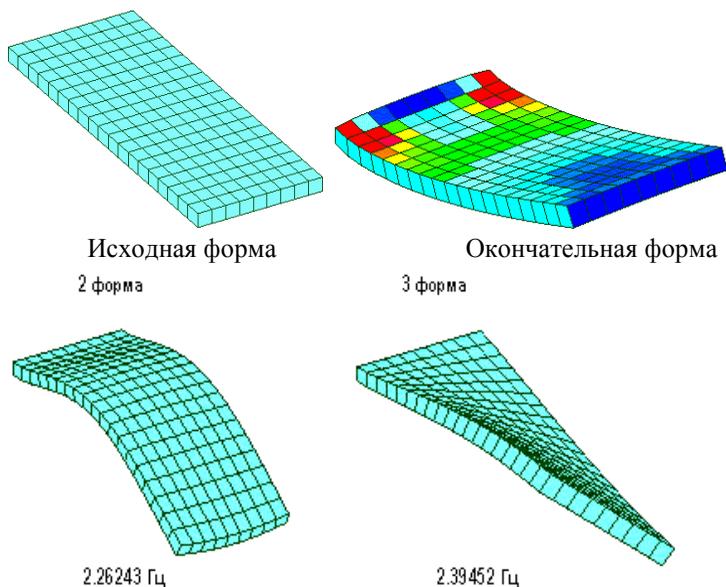


Рис. 1. Результаты моделирования воздействия на пластину

В развитии САД/САМ-систем следует отметить следующие тенденции:

- развитие САПР как составной части системы PLM, т. е. интеграция САПР с другими системами, поддерживающими жизненный цикл изделий;
- реализация возможностей совместного проектирования на базе использования Internet.

## Программное обеспечение

Как правило, машиностроительные САПР имеют многомодульную структуру. В составе развитых САПР имеются следующие подсистемы:

- геометрическое (графическое) ядро (примерами являются упомянутые выше Parasolid и ACIS);

- подсистема двумерной (2D) графики, используемая, прежде всего, для получения чертежной документации;

- подсистема 3D – для твердотельного (объемного) моделирования. Именно в ней реализуются процедуры конструктивной геометрии с использованием базовых элементов формы;

- подсистема 3D – для поверхностного моделирования, используемая для проектирования деталей со сложными поверхностями (лопатки турбин, корпуса самолетов, автомобилей, кораблей и т. п.) и иногда называемая подсистемой промышленного дизайна;

- специализированные модули, ориентированные на проектирование изделий определенного типа, например штампов, деталей из листовых материалов, литых изделий и т. п.;

- подсистема САМ для проектирования технологических процессов, синтеза программ для оборудования с ЧПУ, моделирования механической обработки и т. п.;

- база данных, включая архивные и справочные подсистемы;

- подсистема инженерного анализа, включающая программы типа Ansys и Adams для моделирования изделий на микро- и макроуровнях;

- подсистема импорта и экспорта (обмена) данных с поддержкой ряда используемых графических форматов;

- подсистема PDM управления данными и проектированием.

Рассмотрим примеры реализации проектных функций и процедур в популярных современных MCAD.

Система Unigraphics – универсальная система геометрического моделирования и конструкторско-технологического проектирования, в том числе разработки больших сборок, прочностных расчетов и подготовки конструкторской документации. В ней используется концепция мастер-процессов – средств интерактивного проектирования, учитывающих особенности конкретных приложений. В конструкторской части (подсистема CAD) имеются средства для твердо-

тельного конструирования, геометрического моделирования на основе сплайновых моделей поверхностей, создания чертежей по 3D-модели, проектирования сборок (в том числе с сотнями и тысячами компонентов) с учетом ассоциативности, анализа допусков и т. д. В качестве графического ядра используется Parasolid. В технологической части (подсистема САМ) предусмотрены разработка управляющих программ для токарной и электроэрозионной обработки, синтез и анализ траекторий инструмента при фрезерной трех- и пятикоординатной обработке, при проектировании пресс-форм и штампов. Для инженерного анализа (подсистема САЕ) в систему включены модули прочностного анализа с использованием МКЭ с соответствующими пре- и постпроцессорами, кинематического и динамического анализа механизмов с определением сил, скоростей и ускорений, анализа литьевых процессов пластических масс.

Система CATIA V5 используется на этапах от создания концепции изделия до технологической поддержки производства и планирования производственных ресурсов. В системе реализовано поверхностное и твердотельное 3D-моделирование и оптимизация характеристик изделий, при этом используется оригинальное графическое ядро CNEXT. Возможны фотореалистичная визуализация, восстановление математической модели из материального макета. Система масштабируема. Существуют типовые конфигурации, в том числе варианты для полнофункционального сквозного проектирования сложных изделий и проектирования комплектующих на небольших и средних предприятиях. К особенностям системы можно отнести наличие модуля формализации знаний, направленных на оптимизацию конструкций и процессов проектирования, и антропологического модуля для моделирования некоторых параметров человека в человеко-машинных системах.

В системе Pro/Engineer базовые модули конструкторского проектирования предназначены для твердотельного и поверхностного моделирования, синтеза конструкций из базовых элементов формы (БЭФ), поддержки параметризации и ассоциативности, проекционного черчения и разработки чертежей с простановкой размеров и допусков. Пользователь может пополнять библиотеку БЭФ оригинальными моделями. Для системы разработано графическое ядро Granite One. Дополнительные модули конструкторского проектиро-

вания имеют более конкретную, но узкую специализацию. Примерами таких модулей могут служить модули конструирования панелей из композиционных материалов, разработки штампов и литейных пресс-форм, трубопроводных систем, сварных конструкций, разводки электрических кабелей и жгутов, модули функционального моделирования. Они используются как препроцессоры и постпроцессоры в программах конечно-элементного анализа (нанесение сетки конечных элементов, визуализация результатов анализа), анализа теплового состояния конструкций, оценки виброустойчивости и других видов анализа. Основные модули технологического проектирования служат для моделирования технологических процессов фрезерной, токарной, электроэрозионной обработки и для разработок постпроцессоров систем управления оборудованием с ЧПУ. К особенностям новой версии системы Pro/Engineer, называемой Wildfire, относится использование Internet для организации совместного проектирования, в том числе для организации видеоконференций разработчиков. Заметно упрощен интерфейс пользователя благодаря введению иерархии пиктограмм.

Система среднего уровня для твердотельного параметрического проектирования механических конструкций Solid Works построена на графическом ядре Parasolid. Синтез конструкции начинается с построения опорного тела с помощью операций типа выдавливания, протягивания или вращения контура с последующим добавлением и/или вычитанием тех или иных тел. Используется технология граничного моделирования (B-representation) с аналитическим или сплайновым описанием поверхностей. При проектировании сборок на основе БЭФ можно задавать различные условия взаимного расположения деталей, автоматически контролировать зазоры и взаимопересечение деталей. Предусмотрены IGES-, DXF-, DWG-интерфейсы с другими системами. В систему входит модуль прочностных расчетов Cosmos/Works. Существенным преимуществом системы Solid Edge является высокая степень интегрируемости с системой высокого уровня Unigraphics, так как система поддерживает одна и та же компания, в них используется одно и то же графическое ядро. Технология конструирования в Solid Edge аналогична используемой в других развитых системах. Конструктивные элементы задаются в виде

сечений 3D-формы, эти сечения путем вытягивания или вращения преобразуют в модель детали.

Система Inventor предназначена для твердотельного параметрического проектирования, ориентирована на разработку больших сборок с сотнями и тысячами деталей, имеет развитую библиотеку стандартных элементов. Система Inventor построена на графическом ядре ACIS. Синтез 3D-моделей возможен выдавливанием, вращением по сечениям или по траекториям. Из 3D-модели можно получить 2D-чертежи и спецификации материалов. В этой системе поддерживается коллективная работа над проектом, в том числе в пределах одной и той же сборки. В Inventor предусмотрена автоматическая проверка кинематики, размеров детали с учетом положения соседних деталей в сборке. Значительные удобства работы конструкторов обусловлены тем, что ассоциативные связи задаются не путем описания операций с параметрами и уравнений, а непосредственно определением формы и положения компонентов.

В связке с программами Inventor и Solid Edge можно использовать программу конечно-элементного анализа Cosmos/DesignSTAR, с помощью которой проводят анализ деформированного состояния деталей, стационарных и нестационарных тепловых процессов, динамики жидкостей и газов, низкочастотных электромагнитных полей, определяют собственные частоты колебания конструкций.

В системе Компас для трехмерного твердотельного моделирования используется оригинальное графическое ядро. Синтез конструкций выполняется с помощью булевых операций над объемными примитивами, модели деталей формируются путем выдавливания или вращения контуров, построением по заданным сечениям. Возможно задание зависимостей между параметрами конструкции, расчет масс-инерционных характеристик. Разработка проектно-конструкторской документации, в том числе различных спецификаций, выполняется подсистемой Компас-График. Имеются библиотеки с данными о типовых деталях и графическими изображениями, а также программы специального назначения (проектирование тел вращения, пружин, металлоконструкций, трубопроводной арматуры, штамповой оснастки, выбора подшипников качения, раскроя листового материала и др.). Проектирование технологических процессов выполняется с помощью подсистем Автопроект или Вертикаль, програм-

мирование объемной обработки на станках с ЧПУ – с помощью подсистемы ГЕММА.

Подсистема трехмерного твердотельного моделирования T-Flex CAD 3D в САПР T-Flex CAD построена на базе ядра Parasolid. Реализована двунаправленная ассоциативность, т. е. изменение параметров чертежа автоматически вызывает изменение параметров модели, и наоборот. При проектировании сборок изменение размеров или положения одной детали ведет к корректировке положения других. Модель 3D может быть получена непосредственно по имеющемуся чертежу или с помощью булевых операций, или путем выталкивания, протягивания, вращения профиля и т. п. В T-Flex предусмотрен расчет масс-инерционных параметров. В то же время можно по видам и разрезам трехмерной модели получить чертеж, для чего используется подсистема T-Flex CAD 3D SE. Для параметрического проектирования и оформления конструкторско-технологической документации служит подсистема T-Flex CAD 2D; для управления проектами и документооборотом – подсистема T-Flex DOCs. В подсистеме технологического проектирования T-Flex/ТехноПро выполняются синтез технологических процессов, расчет технологических размеров, выбор режущего и вспомогательного инструмента, формирование технологической документации, в том числе операционных и маршрутных технологических карт, ведомостей оснастки и материалов, карт контроля. Подготовка программ для станков с ЧПУ осуществляется в подсистеме T-Flex ЧПУ. Кроме названных основных подсистем в состав T-Flex CAD включен ряд программ для инженерных расчетов деталей, проектирования штампов и пресс-форм.

Разработкой продуктов для САПР литейного производства занимается компания Moldflow, ее программы Part Adviser и Mold Adviser предназначены для моделирования процессов литья пластмасс.

Важное место в конструкторско-технологических САПР занимают программы технологической подготовки производства.

Одним из лидеров в этой области является система MasterCAM. В ней имеются модули расчета управляющих программ различных видов обработки заготовок, программы моделирования и доработки моделей, конверторы ряда популярных графических форматов данных, например форматов STEP, IGES, Parasolid (xmt, txt), SAT ядра

ACIS (sat), систем AutoCAD (dxf, dwg), Inventor (ipt, iam), SolidWorks (sldprt) и др.

Компания Consistent Software предлагает систему Technologies для технологической подготовки дискретного производства. Эта система выполняет функции составления спецификаций, ведения дерева проекта и библиотеки чертежей, синтеза технологических процессов, выбора инструмента, расчета режимов резания, нормирования расхода материалов, ведения технологической документации. Система SolidCAM, построенная, как и Mechanical Desktop, на ядре ACIS, служит для получения управляющих программ для токарной, 2,5- и 3-осевой фрезерной обработки на станках с ЧПУ.

# Системы автоматизированного проектирования в радиоэлектронике

## Автоматизация проектирования СБИС и радиоэлектронной аппаратуры

В электронике первые САПР появились в начале 60-х годов прошлого века. Это были программы анализа электронных схем и проектирования печатных плат. Важными стимулами для прогресса автоматизации проектирования в электронике (EDA – Electronics Design Automation) стали разработка и развитие технологии, схемотехники и системотехники интегральных схем. В настоящее время на рынке интеллектуальных технологий предлагается много систем автоматизированного проектирования в электронике (ECAD – Electronics Computer Aided Design), причем процесс обновления состава ПО в САПР ведущих фирм происходит весьма динамично.

Системы ECAD создавались и совершенствовались параллельно с прогрессом микроэлектроники. Разработчикам систем ECAD приходилось решать разнообразные проблемы по развитию методологии проектирования сверхбольших интегральных схем (СБИС), являющихся одними из наиболее сложных создаваемых людьми объектов.

В электронике наиболее наукоемкими процедурами, насыщенными сложным математическим обеспечением, являются процедуры проектирования СБИС. В значительной мере методы, алгоритмы, языки, ориентированные на проектирование СБИС, могут применяться и при проектировании радиоэлектронных устройств, в которых микросхемы составляют элементную базу. Проектирование СБИС характеризуется большими затратами времени и средств. Стоимость комплекта фотошаблонов, получаемого в результате проектирования и используемого для производства СБИС, оценивается в сотни тысяч долларов. Очевидно, что вклад стоимости проектирования в цену одной микросхемы уменьшается с увеличением числа микросхем, изготавливаемых в соответствии с проектом.

Массовое производство характерно для микропроцессоров и схем памяти, поэтому для них возможно удорожание процесса проектирования с целью получения оригинальных оптимизированных проек-

ных решений. Однако для обеспечения приемлемой стоимости специализированных микросхем высокой степени интеграции, изготовляемых небольшими партиями, нужно применять специальные методы проектирования, что, в свою очередь, обуславливает появление ряда типов больших интегральных схем и СБИС. В основе этих методов лежит тот или иной способ типизации проектных решений.

Для заказных СБИС, проектируемых по техническому заданию конкретного заказчика, типизация обычно относится к схемным решениям отдельных функциональных блоков, проекты которых составляют библиотеку стандартных ячеек. В случае полузаказных СБИС (ASIC – Application-Specific Integrate Circuits) проектирование делится на две стадии. Первая стадия выполняется изготовителем микросхем и заканчивается получением некоторого полуфабриката – микросхемы, в которой соединения между компонентами сформированы не до конца. Вторая стадия заключается в настройке на выполнение специфического назначения СБИС путем реализации межкомпонентных соединений. Если полуфабрикатом является базовый матричный кристалл (БМК), то вторая стадия сводится к нанесению заключительных слоев металлизации. Для этого требуется соответствующее технологическое оборудование, имеющееся на предприятии-изготовителе микросхем. Если используются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), то настройка может быть выполнена средствами заказчика.

В качестве ПЛИС в настоящее время широко используют программируемые логические схемы CPLD (Complex Programmable Logic Device) и программируемые вентиляльные матрицы FPGA (Field Programmable Gate Array). В CPLD имеется ряд блоков с элементами И и ИЛИ, а также схемы их коммутации. Блоки реализуют логические функции в дизъюнктивной нормальной форме, причём программируются как входы логических элементов И, так и схемы коммутации. Кристаллы FPGA отличаются большим разнообразием логических элементов. Ячейки в FPGA могут быть отдельными транзисторами, вентилями или более сложными логическими схемами. В современных СБИС типа «система на кристалле» (SoC – System-on-Chip) роль ячеек выполняют функциональные блоки, называемые блоками IP (Intellectual Products), для проектирования которых привлекаются специальные ресурсы.

Программирование схемы выполняют путем создания соединений между определенными проводниками или размыканием существующих соединений. Если в БМК для создания соединений требуется выполнять заключительные технологические операции металлизации, то в ПЛИС создание и ликвидация соединений осуществляются значительно проще. Для этого применяют ряд способов. Например, программатор, согласно заданной программе, просто расплавляет имеющиеся перемычки (fuse) или, наоборот, их создает, локально ликвидируя тонкий изолирующий слой (antifuse). В более современных ПЛИС используют способы, допускающие многократное перепрограммирование схем. Замыкание или размыкание соединения осуществляется с помощью МОП-транзисторов с плавающим затвором. Состояние транзистора (проводящее или закрытое) определяется наличием или отсутствием электрического заряда на плавающем затворе. Перепрограммирование выполняется или с помощью ультрафиолетового облучения затвора или электрическим способом аналогично тому, как это делается для памяти типа EEPROM. В последнем случае допустимое число перепрограммирований может достигать до сотен тысяч и более. Находит применение также способ перепрограммирования с помощью «теневого» памяти, при котором каждый из коммутирующих МОП-транзисторов управляется уровнем напряжения от «теневого» триггера. В «теньевую» память можно вводить разные программы, что обеспечивает динамическое перепрограммирование ПЛИС. Таким образом, при использовании CPLD и FPGA необходимо с помощью САПР выбрать систему связей между ячейками программируемого прибора в соответствии с заданными алгоритмами и синтезировать программы управления настройкой ПЛИС.

На производстве кристаллов ПЛИС специализируется ряд фирм, например Xilinx, Altera и др. Часто эти же фирмы поставляют ПО для синтеза схем на производимых ими ПЛИС. Существуют программы, ориентированные как на синтез CPLD- и FPGA-схем, так и программы для синтеза схем сигнальных процессоров (DSP – Digital Signal Processor), на базе которых проектируют промышленные компьютеры и другие встроенные системы управления, например транспортными средствами, бытовой аппаратурой и т. п.

Проектирование СБИС многоуровневое, каждый уровень характеризуется своим математическим обеспечением и программами, используемыми для моделирования и анализа схем. В функциональном проектировании выделяют следующие уровни: системный, регистровый или уровень регистровых передач (RTL - Register Transfer Level); логический (вентильный или gate level); схмотехнический, компонентный (приборно-технологический).

Регистровый и логический уровни называют функционально-логическим уровнем. Преобладает сочетание нисходящего и восходящего стилей проектирования. Проектирование от получения ТЗ до функционально-логического уровня является нисходящим, а использование библиотек функциональных ячеек (ФЯ) или блоков IP (например, сумматоров, мультиплексоров, регистров и т. п.) вносит элементы восходящего проектирования. Эти библиотеки проектируются с помощью процедур схмотехнического и компонентного проектирования вне маршрутов проектирования конкретных СБИС. Поскольку исходные данные для проектных процедур определены не полностью, может потребоваться несколько итераций приближения к приемлемому проектному решению.

Типовая последовательность процедур при проектировании СБИС на стандартных ФЯ представлена на рис. 2.



Рис. 2. Маршрут проектирования СБИС на стандартных ячейках

После получения результатов функционально-логического проектирования приступают к конструкторско-технологическому проектированию, синтезу тестов и окончательной верификации принятых проектных решений.

Верхний иерархический уровень называют системным, архитектурным или поведенческим. Последнее название связано с тем, что на этом уровне оперируют алгоритмами, подлежащими реализации в СБИС, которые выражают поведенческий аспект проектируемого изделия. Алгоритмы, как правило, представляют на языках проектирования аппаратуры (HDL – Hardware Design Language). Далее на системном уровне формулируют требования к функциональным и схемным характеристикам, определяют общую архитектуру построения СБИС, выделяют операционные и управляющие блоки. Составляют расписание операций заданного алгоритма, т. е. распределяют операции по временным тактам и функциональным блокам. Тем самым принимают решения по распараллеливанию и/или конвейеризации операций, реализуемых в СБИС.

На уровне регистровых передач выполняют синтез и верификацию схем операционных и управляющих блоков, получают функциональные схемы СБИС.

На логическом уровне преобразуют RTL-спецификации в логические и принципиальные схемы с помощью программ-компиляторов логики; здесь используются библиотеки логических элементов И, ИЛИ, И-НЕ и других ФЯ.

Иногда при проектировании схем на МОП-транзисторах вводят промежуточный уровень абстракции (switch level) между схематическим и вентиляльным уровнями, на котором элементами моделей являются не вентили, а МОП-транзисторы. Благодаря представлению последних в виде переключателей удастся отобразить процессы в схеме более детально, чем с помощью программ логического моделирования, достигая более достоверных результатов моделирования.

Отличием процесса проектирования микропроцессоров и полностью заказных СБИС от процесса проектирования схем на стандартных ячейках является включение процедур проектирования функциональных блоков непосредственно в итерационный цикл разработки конкретной СБИС. То же относится к процедурам схематического проектирования аналоговых и цифроаналоговых схем.

Особенностями проектирования схем на основе ПЛИС или БМК является учет ограничений, диктуемых заданными схемными и/или топологическими решениями СБИС.

Существующие программы автоматизированного проектирования СБИС различаются прежде всего ориентацией на различные проектные процедуры и разные типы схем. В большинстве интегрированных САПР имеется программное обеспечение полного цикла проектирования СБИС. Наиболее известными разработчиками интегрированных САПР являются фирмы Synopsys, Cadence Design Systems, Mentor Graphics. Полный цикл проектирования электронных блоков на печатных платах называют сквозным проектированием радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Системы сквозного проектирования РЭА предлагают такие компании, как Altium, Innoveda, Cadence Design Systems и др. Наряду с ними отдельные программы или группы программ разрабатывают многие фирмы, работающие в области EDA. Для проектирования аппаратуры на ПЛИС имеются программы в САПР сквозного проектирования РЭА, кроме того, подобные программы обычно предлагают фирмы-производители полузаказных СБИС.

Программы на маршрутах проектирования СБИС и РЭА взаимодействуют друг с другом на базе единого лингвистического и информационного обеспечения. В лингвистическом обеспечении САПР СБИС и РЭА важное место отводится языкам проектирования аппаратуры HDL.

На системном уровне разработчики отдают предпочтение объектно-ориентированному языку SystemC, основанному на языках C/C++ с дополнениями, ориентированными на решение проектных задач системного уровня. Основными HDL-языками, используемыми в современных САПР при функционально-логическом проектировании (от описания алгоритмов и до представления логических схем) являются языки VHDL и Verilog. Язык VHDL имеет статус международного стандарта, язык Verilog признан как стандарт де-факто. Эти языки, выполняя интегрирующую роль в маршрутах проектирования электронных устройств, связывают различные этапы проектирования в единый процесс. Они применяются как входные языки программ моделирования и синтеза проектных решений многих производителей. Специфика проектирования аппаратуры на ПЛИС отражена в приборно-ориентированных языках, например языках AHDL и ABEL

фирм Altera и Aldec соответственно. При конструкторском проектировании для описания топологии СБИС широкую известность получили стандартизованные форматы EDIF (Electronic Design Interchange Format) и CIF (Caltech Intermediate Format). Формат EDIF удобен для передачи данных, включающих списки соединений, параметры СБИС или печатных плат, спецификации тестовых наборов, результаты моделирования и т. п. Формат CIF применяют при передаче проекта, представленного на уровне геометрических примитивов и управляющих данных, в производство.

В современных системах структурного синтеза на функционально-логическом уровне стремятся получить не просто работоспособное решение, а решение с оптимальным компромиссным удовлетворением требований к площади кристалла, быстродействию, рассеиваемой мощности, а в ряде случаев и к тестируемости схемы.

В последнее время значительное внимание уделяется процедурам совмещенного проектирования программной и аппаратной частей СБИС (SW/HW -Software/Hardware co-design). Если в традиционных маршрутах проектирования разделение алгоритмов на части, реализуемые программно и аппаратно, происходит на самых ранних шагах, то в технологии совмещенного проектирования эта процедура фактически переносится на RTL-уровень и тем самым входит в итерационный проектный цикл, что может привести к более обоснованным проектным решениям. Примером подхода к совмещенному проектированию может служить методика моделирования на уровне исполнения системы команд, в соответствии с которой моделируются события, происходящие на внешних выводах таких устройств, как арифметико-логическое, встроенная и внешняя память, системная шина и т. п. Благодаря совмещенному проектированию удастся на ранних стадиях проектирования не только найти и исправить возможные ошибки в аппаратной и программной частях проекта, но и отладить контролирующие тесты.

Для проверки работоспособности и оценки параметров синтезированных схем применяют процедуры анализа (верификации) функциональных и логических схем. Чаще всего верификацию выполняют с помощью программ моделирования, ориентированных на системный, регистровый или вентильный уровни. В итерационном цикле проектирования моделирование должно выполняться многократ-

но, сначала с ориентировочными значениями задержек, затем после этапа топологического проектирования моделирование повторяется уже с учетом уточненных задержек, обусловленных паразитными параметрами соединений.

Проводники в СБИС имеют малые площади поперечных сечений и, следовательно, увеличенное сопротивление, это приводит к тому, что по мере уменьшения проектных норм начинают доминировать задержки в соединениях. Эти задержки характеризуются заметным разбросом и существенно влияют на быстродействие схемы, поэтому во многих программах логического моделирования предусмотрены модели проводников. С помощью этих моделей рассчитываются задержки в зависимости от результатов трассировки.

Примерами программ верификации могут служить Pearl (Synopsys), Venlog-XL и Venlog-XL Turbo (Cadence TimeMill /Epic Design Technology), Voyager (IKOS Systems) и др. Компания Mod Technology разрабатывает ASIC-, FPGA- и CPLD-проекты на базе VHDL, Verilog и смешанных HDL-описаний, выполняя моделирование на регистровом и вентильном уровнях с помощью программ серии ModelSim.

Результаты логического синтеза в виде VHDL- или Verilog-описания используются далее для синтеза тестов и передают на этап конструкторского проектирования СБИС.

Актуальность проблемы тестирования обусловлена сравнительно малым числом внешних выводов СБИС, т. е. ограниченными управляемостью и наблюдаемостью СБИС. Отметим также, что синтез и анализ тестов занимают до 35 % времени в цикле проектирования СБИС и, несмотря на такие затраты, удается разрабатывать тесты с приемлемой полнотой обнаружения константных неисправностей только для комбинационных схем.

Для решения проблем тестирования в СБИС используют специальные методы проектирования самих микросхем.

Это, во-первых, методы сканирования, преобразующие в режиме тестирования последовательные схемы в комбинационные. Методы сканирования основаны на объединении триггеров, имеющих в схеме или специально вводимых в нее, в один или несколько сдвигающих регистров, управляющих состоянием схемы и управляемых через последовательный вход.

Во-вторых, это методы самотестирования (BIST Built-in Self-Test), основанные на встраивании в кристалл генераторов тестовых наборов и схем.

Среди методов сканирования значительное внимание уделяется методу граничного сканирования (BS – boundary-scan), предназначенному преимущественно для проверки соединений на печатных платах и в многокристальных СБИС. Проблема тестирования заключается в сложности подключения измерительного прибора к контактам БИС, уже смонтированных на плате, а доступ через внешние контакты платы вследствие ограниченности их числа недостаточен для выполнения контроля в должном объеме. Граничное сканирование позволяет выполнять тестирование с помощью дополнительных внешних контактов печатной платы. Для этого в каждый чип вводятся цепи граничного сканирования, включающие сдвигающие регистры и состоящие из ячеек по одной на каждый внешний вывод. Благодаря ячейкам можно при проверке соединений в печатной плате отключать внутрикристалльные цепи, а при проверке логической схемы подключать или внутренние сканирующие регистры, или (в случае BIST) генераторы тестовых наборов и схемы компрессии результатов. Для подачи в ячейки команд тестирования, сигналов управления и сдвига в каждой БИС имеется также схема управления. Команды управления и тестовые наборы могут вводиться, а результаты тестирования выводиться в сдвигающие регистры последовательно разряд за разрядом, для чего достаточно всего два вывода.

Для проектирования схем с граничным сканированием разработаны специальный стандарт IEEE 1149.1 и языки BSDL и HSDL (Boundary and Hierarchical Scan Description Languages), являющиеся подмножеством языка VHDL. Очевидно, что проектирование схем тестирования целесообразно выполнять совместно с синтезом основных схем, т. е. на уровнях RTL и вентиляльном.

Основой программного обеспечения конструкторского проектирования в системах ECAD являются средства топологического проектирования, среди которых выделяют программы разработки топологии (layout) кристаллов СБИС, многокристальных СБИС и печатных плат.

Конструкторское проектирование СБИС включает в себя ряд процедур. Разделение (partitioning) заключается в группировании компо-

нентов по критерию связности, что необходимо или для размещения формируемых групп в отдельных чипах при многокристальной реализации, или для определения их взаимного расположения в одном кристалле в процессе выполнения последующей процедуры планировки кристалла. Далее следуют процедуры размещения (placement) компонентов, трассировки (routing) соединений, сжатия (compaction) топологической схемы, проверки соответствия топологической и принципиальной схем, подготовки информации для генераторов изображений. Ответственность процедуры размещения определяется доминирующим влиянием на быстродействие СБИС задержек именно в соединениях. Трассировка состоит из глобальной фазы, во время которой намечается положение трасс, и детальной, разделяющейся на канальную и локальную. Канальная трассировка служит для конкретизации положения трасс в каналах, а локальная – для проведения соединений между каналами и контактами компонентов. Сжатие топологии выполняется во всех направлениях и позволяет уменьшить занимаемую схемой площадь. После выполнения операций размещения и трассировки следует оценка задержек и занимаемой площади, и если требования к этим параметрам не удовлетворены, то дополнительно увеличивают число итераций для приближения к оптимальным результатам.

Очевидно, что при нисходящем проектировании в большинстве предшествующих процедур приходится задаваться ориентировочными значениями данных, истинные значения которых становятся известными только после выполнения последующих процедур. Это обстоятельство обуславливает итерационный характер процесса проектирования с возвратами от последующих этапов к предыдущим, что, естественно, увеличивает затраты на проектирование. Поэтому продолжается поиск методов сокращения числа итераций в цикле проектирования СБИС. Этот поиск привел к положительным результатам в следующих двух направлениях.

Первое направление связано с использованием технологий так называемого «физического» проектирования, в которых стараются уже на ранних архитектурном и регистровом этапах проектирования учитывать физические параметры (задержки, рассеиваемые мощности). Такой учет осуществляется благодаря разработке методов совместного решения задач, ранее выполнявшихся раздельно (например задач синтеза RTL-схем и схем граничного сканирования). В частности, эта тенденция вы-

ражается в планировании кристалла на системном уровне. При этом определяется взаимное расположение блоков структурной схемы на кристалле (при многокристальном исполнении блоки предварительно распределяются между кристаллами) и намечается ориентировочное расположение внешних выводов блоков. Это позволяет приблизительно оценить длины связей и, следовательно, задержки в передаче данных в самом начале разработки, что способствует сокращению числа итераций и соответственно времени проектирования.

Второе направление основано на разумном сочетании элементов нисходящего и восходящего проектирования, при котором с самого начала ориентировочно распределяются задержки и мощности между блоками СБИС, что позволяет далее проектировать эти блоки независимо один от другого. И если принятые ранее значения параметров блоков оказываются выполнимыми, то дополнительные итерации не требуются. Например, эта идея реализована в технологии восходящего декомпозиционного проектирования фирмы Synopsys. Предварительно распределяются временные и другие заданные ограничения между составными частями СБИС. Далее для каждой части в отдельности синтезируются регистровая и вентиляная структуры и осуществляется переход к конструкторскому проектированию. Если выдерживается заданное распределение ограничений, то благодаря декомпозиции в несколько раз уменьшается время синтеза по сравнению с продолжительностью нисходящего проектирования.

Моделирование технологических процессов изготовления СБИС относят к технологическому проектированию, поддерживаемому соответствующими программами ECAD.

Процедуры схемотехнического проектирования обычно непосредственно не входят в маршрут проектирования СБИС. При проектировании интегральных схем их применяют в основном при отработке библиотек функциональных компонентов СБИС и блоков ИР. Но при разработке принципиальных электрических схем радиоэлектронных устройств в различных приложениях они могут стать основными проектными процедурами (наряду с конструкторским проектированием печатных плат). Прежде всего это относится к аналоговым и цифроаналоговым блокам.

## Автоматизация схемотехнического моделирования

В области автоматизации схемотехнического проектирования наибольшее распространение получили варианты программы Spice, созданные в нескольких фирмах.

В программе PSpice для персональных компьютеров предусмотрены статический, динамический и частотный виды анализа, смешанное логико-аналоговое моделирование, а также температурный, шумовой и ряд других видов анализов.

В библиотеках программы PSpice имеется несколько тысяч математических моделей элементов [диодов, биполярных и полевых транзисторов, операционных усилителей, стабилизаторов, тиристоров, компараторов, магнитных устройств с учетом насыщения и гистерезиса, оптронов, кварцевых резонаторов (длинных линий с учетом задержек, отражений, потерь и др.)]. Библиотека открыта для включения моделей пользователя. Разработаны соответствующие инструментальные средства пополнения библиотеки. Предусмотрено взаимодействие аналоговой и цифровой частей схемы.

Известен также ряд других программ аналогового и смешанного моделирования. К числу отечественных программ схемотехнического анализа относятся программы серии ПА – это, например, программа ПА7, в которой наряду с видами, обычными для программ анализа электронных схем, реализовано моделирование механических, гидравлических, тепловых процессов.

Схемотехническое проектирование радиотехнических схем (RF-схем) отличается рядом особенностей математических моделей и используемых методов, особенно в области СВЧ-диапазона. Для анализа линейных схем обычно применяют методы расчета полюсов и нулей передаточных характеристик. Моделирование стационарных режимов нелинейных схем чаще всего выполняют методами гармонического баланса, основанного на разложении в ряд Фурье.

Разработаны специальные программы для анализа электромагнитной совместимости компонентов в конструктивах РЭА. К ним, например, относятся программы семейства Omega PLUS, с помощью которых определяется форма сигналов в конструкциях с печатными платами, кабельными соединениями микрополосковыми линиями; анализируются статические, электрические и магнитные поля в геометрических плоских и объемных конструкциях; выполняется расчет полосковых и микрополосковых устройств, взаимных индуктивностей и емко-

стей многопроводных линий передачи; моделируются электромагнитные излучения в печатных платах; рассчитываются задержки с учетом паразитных емкостей и индуктивностей. При моделировании компоненты схемы представляются в виде линейных эквивалентных схем входных и выходных цепей, проводится частотный анализ, фиксируются максимальные амплитуды напряженностей электрического и магнитного полей, электрических токов и напряжений. Результаты используются для принятия необходимых конструктивных решений.

Комплекс программ компонентного и технологического проектирования разработан компанией Silvasco. В комплексе имеются программы: моделирования электронных приборов, в том числе мощных и высокочастотных приборов с учетом эффектов саморазогрева на основе уравнений Пуассона, моделирования технологических процессов изготовления электронных компонентов с использованием метода конечных элементов; расчета паразитных параметров соединений путем перехода от топологической схемы к схемным параметрам посредством 3D-моделирования с использованием уравнения Лапласа. Другим примером программ экстракции параметров соединений может служить продукт Arcadia (фирма Synopsys), с помощью которого можно найти критический путь в разработанной топологической схеме, определить для него паразитные параметры соединений, рассчитать перекрестные помехи.

## Проектирование печатных плат

Среди ПО проектирования печатных плат для платформы Wintel хорошо известны система OrCAD, программы SPECCTRA и PCB Design Studio (Cadence Design Systems), системы P-CAD и Protel 99SE (Protel International), а также некоторые другие.

После объединения в 1999 году компаний OrCAD и Cadence Design Systems система моделирования и сквозного проектирования аналого-цифровых электронных устройств OrCAD продолжает развиваться.

С помощью ряда редакторов, имеющихся в OrCAD, выполняется интерактивное проектирование печатных плат. Разработаны программы размещения компонентов, автотрассировки проводников и создания управляющих файлов для фотоплоттеров. В состав системы входят также средства для анализа и оптимизации электронных схем

и проектирования устройств на ПЛИС. Поэтому система OrCAD признана как система сквозного проектирования РЭА.

Программа SPECCTRA компании Cadence – одна из наиболее мощных программ проектирования печатных плат – может выполнять размещение и трассировку как в интерактивном, так и в автоматическом режиме. Размещение происходит за несколько проходов, во время которых выявляются и устраняются конфликты типа пересечений проводников в одном слое или нарушения проектных норм.

Широко известна система проектирования печатных плат P-CAD. Версия этой системы, именованная Accel EDA 15.0, после слияния компаний Accel Technologic и Protel International получила название P-CAD 2000. С ее помощью выполняют полный цикл проектирования печатных плат, включая интерактивное размещение компонентов, трассировку проводников и выпуск документации. Автоматическое размещение компонентов на плате и автоматическая трассировка проводников осуществляются с помощью отдельно поставляемого пакета SPECCTRA.

В системе P-CAD имеются библиотека корпусов микросхем, библиотека современных импортных электрорадиоэлементов, которую можно пополнить библиотеками отечественной элементной базы, препроцессоры подготовки информации для изготовления фотоплашек в форматах ряда известных фотоплоттеров. Поддержка текстовых форматов DXF и PDIF позволяет обмениваться информацией с такими распространенными пакетами, как AutoCAD, OrCAD, Viewlogic и др.

Компания Protel International (новое название Altium) предлагает наряду с P-CAD 2000 систему сквозного проектирования РЭА Protel 99SE собственной разработки, имеющую возможности, аналогичные возможностям системы P-CAD 2000. Переход от системы CAD к системе САМ выражается в преобразовании результатов конструкторского проектирования в управляющую информацию для генераторов изображений. В печатных платах для такого перехода можно использовать программы семейства LAVENIR фирмы Lavenir Technology, с их помощью создаются и дорабатываются управляющие файлы для фотоплоттеров и станков с ЧПУ, контролируется соблюдение проектных норм.

САПР CADdy разработана немецкой компанией ZIEGLER – Informatics GmbH и состоит из нескольких модулей.

Модуль разработки принципиальных схем, в котором пользователь создает принципиальные схемы печатных плат с использованием библиотек символов и базы данных по электронным компонентам плат, позволяет выполнять автоматическую генерацию списков элементов и соединений, выполнять динамическое позиционирование компонентов, содержит интерактивные функции для построения соединений. Производится автоматическая диагностика ошибок, автоматическая корректировка принципиальной схемы по монтажной схеме.

Модуль разработки монтажных схем может выполнить создание схем с использованием библиотеки символов и базы данных элементов. Имеется возможность ручной трассировки проводников, в том числе со скруглением и переходами произвольной формы, а также создания областей металлизации. Выполняется автоматическая диагностика ошибок. Есть расширяемая библиотека символов. Существует возможность создания фотошаблонов в Gerber- и Glaser-форматах автоматического формирования конструкторской документации по ЕСКД.

В системе CADdy есть модуль автоматического размещения элементов на плате с возможностью интерактивного доступа, т. е. предварительного ручного размещения специальных элементов или прерывания авторазмещения для ручного смещения элементов.

Модуль позволяет выполнить автоматическую разводку 16-слойных плат с графическим отображением процесса трассировки на экране и интерактивное задание параметров алгоритма трассировки с глубиной отката до 100 %.

Имеется модуль двумерного проектирования, предназначенный для окончательного оформления проекта; содержит развернутые функции для 2D черчения. С его помощью можно создавать планы передних панелей или чертежи размещения; содержит функции простановки размеров по стандартам ЕСКД и DIN.

Технологическое проектирование печатных плат заключается в преобразовании результатов конструкторского проектирования в файлы управляющей информации для фотоплоттеров и сверлильных станков с ЧПУ.

## Автоматизированные системы управления

## Типы производства и стратегии позиционирования изделий

Автоматизация управления предприятием начинается с процессов реинжиниринга.

Реинжиниринг (BPR – Business process reengineering) – процесс преобразования информационной структуры предприятия, изменение процессов функционирования, правил и систем производства на предприятии на основе внедрения новых информационных технологий с целью повышения эффективности бизнеса.

Реинжиниринговые мероприятия на предприятии рекомендуется проводить регулярно, а не только при первоначальном внедрении АС.

Основные этапы реинжиниринга:

- обоснование и стратегия проведения реинжиниринга;
- определение бизнес-процессов предприятия;
- отбор бизнес-процессов для реинжиниринга;
- составление и анализ карты бизнес-процессов;
- планирование корректировок бизнес-процессов с целью улучшения их характеристик;
- внедрение скорректированных бизнес-процессов.

Характер многих процедур автоматизации существенно зависит от типа производства. Тип производства определяется стратегией позиционирования изделий и производственных процессов.

Стратегия позиционирования изделий определяет оперативность удовлетворения запросов потенциальных клиентов. Возможны следующие стратегии:

- производство «на склад» – имеет место при ограниченной номенклатуре производимой продукции, которая направляется на склад для последующей продажи;
- сборка на заказ из типовых компонентов – план продаж определяется портфелем заказов;
- сборка на заказ при отсутствии типовых компонентов.

Различают три стратегии позиционирования процесса:

- поточное производство (поток может быть непрерывным, одно- и многопредметным, пакетным);
- универсальное производство;

- производство с фиксированным местоположением (например сборка самолета или космического аппарата – перемещается не предмет, а средства производства).

Производства различаются также типом систем реализации календарных планов и оперативного управления производством. Возможны следующие типы таких систем:

- пополнение запасов;
- проталкивание – поступление сырья и переходы между операциями планируются так, чтобы изделие появилось на выходе именно тогда, когда оно требуется по заказу;
- притягивание или JIT (Just-in-Time) – минимизация запасов.
- развязка узких мест.

## Системы ERP

Системы управления в промышленности, как и большинство сложных систем, имеют иерархическую структуру. Автоматизация управления на различных уровнях реализуется с помощью автоматизированных систем управления (АСУ).

Среди АСУ различают автоматизированные системы управления предприятием (АСУП) и автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП).

Основные функции АСУП относятся к организационному управлению, в то время как АСУТП ориентирована на непосредственное управление производственными процессами.

Функции АСУП в различных сочетаниях объединяются в несколько групп, соответственно появляются разновидности АСУП с названиями ERP, MRP, CRM, SCM и др. (рис. 3).

Иногда функции управления поставками и отношениями с заказчиками относят к функциям ERP, но часто эти функции реализуются в самостоятельных системах SCM и CRM соответственно.

В большинстве случаев АСУП охватывает уровни от предприятия до цеха, АСУТП – от цеха и ниже. Однако на уровне цеха могут быть средства и АСУП, и АСУТП. В то же время в АСУТП могут быть и межцеховые связи, если управление единым производственным процессом выполняется в нескольких цехах.



Рис. 3. АСУ на разных этапах жизненного цикла

Современные АСУП характеризуются следующими особенностями:

- Открытость по отношению к ведущим платформам (UNIX, Windows, OS/2, Linux) и различным СУБД (прежде всего мощным СУБД типа Oracle, Ingres, Informix Sybase, MS SQL), поддержка технологий типа ODBC (Open Data Base Connection), OLE (Object Linking and Embedding), DDE (Dynamic Data Exchange); поддержка архитектур клиент/сервер; возможность работы в среде распределенных вычислений.

- Возможность сквозного выполнения всех допустимых бизнес-функций или их части, что обеспечивается модульным построением (процедуры, выполняющие эти функции, часто называют бизнес-

функциями, а маршруты решения задач управления, состоящие из бизнес-функций, называют бизнес-процессами).

- Адаптируемость к конкретным заказчикам и условиям рынка.
- Наличие инструментальных средств, в том числе языка расширения или 4GL (языка четвертого поколения).

Техническое обеспечение АСУП – компьютерная сеть, узлы которой расположены как в административных отделах предприятия, так и в цехах.

АСУП обычно отождествляют с системами ERP. В современных системах ERP выделяют ряд подсистем:

управление запасами;

управление снабжением. Реализует следующие функции: формирование заказов на закупку; составление графика поставок; планирование потребности в материалах, понимаемое как управление заявками на закупку;

управление сбытом. Базовыми функциями этой подсистемы являются: квотирование продаж; заказы на продажу (счета фактуры); график продаж потребителям; конфигурирование продуктов; анализ продаж; управление ресурсами распределения;

транспортная логистика. Управление транспортировкой грузов, оптимизация маршрутов транспортных средств;

управление производством;

календарное и оперативное планирование;

управление персоналом. Функции этой подсистемы: кадровый учет, ведение штатного расписания, расчет зарплаты;

управление сервисным обслуживанием, включая послепродажное техническое обслуживание и техническую поддержку производимой продукции. Подсистема обеспечивает полный спектр необходимых функций: от создания графика технического обслуживания, заказа комплектующих, учета контрактов на обслуживание и формирования счетов до учета прибыли, получаемой от послепродажного обслуживания;

финансово-экономическое управление;

управление информационными ресурсами. Функции этой подсистемы: управление документами и документооборотом, инсталляция и сопровождение программного обеспечения, генерация моделей и ин-

терфейсов приложений, имитационное моделирование производственных процессов.

Наиболее популярными в мире и развитыми системами ERP являются SAP R/3, Oracle Applications, J. D. Edwards, MBS, а среди отечественных АСУП выделяются системы 1С:Предприятие 8.1, Галактика.

## Автоматизация управления технологическими процессами

В автоматизированных системах управления технологическими процессами, часто называемых системами промышленной автоматизации, можно выделить свои иерархические уровни.

На верхнем (диспетчерском) уровне АСУТП осуществляются сбор и обработка данных о состоянии оборудования и протекании производственных процессов для принятия решений по загрузке станков и выполнению технологических маршрутов. Эти функции возложены на систему диспетчерского управления и сбора данных, называемую SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Кроме диспетчерских функций, система SCADA выполняет роль инструментальной системы разработки ПО для промышленных систем компьютерной автоматизации.

На уровне управления технологическим оборудованием (на уровне контроллеров) в АСУТП выполняются запуск, тестирование, выключение станков, сигнализация о неисправностях, выработка управляющих воздействий для рабочих органов программно управляемого оборудования. Для этого в составе технологического оборудования используются системы управления на базе программируемых контроллеров – компьютеров, встроенных в технологическое оборудование. Поэтому системы промышленной автоматизации часто называют встроенными системами (Embedded Computing Systems).

Техническое обеспечение АСУТП представлено персональными ЭВМ и микрокомпьютерами (программируемыми контроллерами), распределенными по контролируемым участкам производства и связанными друг с другом с помощью шин.

Полевая (или промышленная) шина – среда передачи данных, используемая в производственных условиях для связи устройств

АСУТП. Различают параллельные и последовательные шины. Шины характеризуются скоростью передачи данных (пропускной способностью), предельным допустимым расстоянием между связываемыми устройствами, надежностью.

Примеры параллельных шин: VMEbus, PCI, CompactPCI.

Примеры последовательных шин: USB, Ethernet, FireWire (1394), Profibus, CANbus, RS-485, Fiber Channel и др.

Связь контроллеров, датчиков и другого оборудования в пределах одного функционального узла (например соединение слотов в крейте) обычно выполняется магистрально-модульными параллельными шинами VMEbus или CompactPCI.

Для связи разных функциональных узлов (например, компьютеров SCADA и стоек управления оборудованием с ЧПУ) используют последовательные шины.

В настоящее время для промышленных встроенных компьютерных систем (ВКС) наметился переход от технологий VMEbus и CompactPCI к технологиям высокоскоростных последовательных шин, соответствующих новым стандартам PICMG серии 3.x. Последовательные шины более надежны, дешевле реализуются, легче коммутируются, что позволяет иметь непосредственные связи многих узлов друг с другом (например по топологии полного графа) вместо использования сложных связных узлов.

Стандарт PICMG 3.0 содержит подробную информацию о характеристиках (размерах плат, конструкции разъемов, организации питания, охлаждения и т. п.) внутри одной конструктивной секции, называемой Shelf (крейт или полка).

Стандарт PICMG 3.1 относится к использованию технологий 10-гигабитной Ethernet.

Стандарты PICMG 3.2 и PICMG 3.3 описывают построение внутрикорпоративной сети с архитектурой AdvancedTCA (Advanced Telecom Computing Architecture) на базе шины Infiniband со скоростями передачи данных 10 Гбит/с и выше. В аппаратуре AdvancedTCA используются конструктивы Евромеханики. Платы имеют высоту 8U (8 «юнитов», 1U равен 1,75 дюйма или 44,45 мм), которые вместе с вентиляторами и некоторыми вспомогательными элементами упаковываются в крейты высотой 12U–14U и отстоянием по горизонтали друг от друга 1,2 дюйма. В крейтах имеется 14–16 слотов для разме-

щения аппаратных модулей. Полки, в свою очередь, размещаются по три в стойках высотой 42U.

Стандарт PICMG 3.4 посвящен технологии PCI Express, предназначенной для соединений «точка-точка» между чипами и платами (но не между процессорами). В этой технологии скорости передачи данных доходят до 8 Гбит/с, возможны медные и волоконно-оптические линии связи.

Программное обеспечение АСУТП представлено операционными системами, программами SCADA, драйверами и прикладными программами контроллеров.

Функции систем SCADA:

- сбор первичной информации от датчиков;
- хранение, обработка и визуализация данных;
- регистрация аварийных сигналов, выдача сообщений о неисправностях и аварийных ситуациях;
- связь с корпоративной информационной сетью;
- формирование отчетов;
- автоматизированная разработка прикладного ПО.

SCADA-системы состоят из терминальных компонентов, диспетчерских пунктов и каналов связи. Различаются SCADA-системы типами поддерживаемых контроллеров и способами связи с ними, операционной средой, типами сигнализации, числом трендов (тенденций в состоянии контролируемого процесса) и способом их вывода, особенностями человеко-машинного интерфейса и т. д.

Число одновременно выводимых трендов может быть различным, их визуализация возможна в реальном времени или с предварительной буферизацией. Предусмотрены возможности интерактивной работы операторов.

Одной из широко известных SCADA-систем является система Citect австралийской компании Ci Technology, работающая в среде Windows. Эта масштабируемая клиент-серверная система со встроенным резервированием для повышения надежности состоит из пяти подсистем: ввода-вывода, визуализации, оповещения, трендов, отчетов. Подсистемы могут быть распределены по разным узлам сети. Используется оригинальный язык программирования Cicode.

Отечественная SCADA-система Trace Mode для крупных АСУТП в различных отраслях промышленности и в городских службах соз-

дана компанией AdAstra и состоит из инструментальной части и исполнительных модулей. В ней предусмотрены управление технологическими процессами, разработка АРМ руководителей цехов и участков, диспетчеров и операторов. Возможно использование операционных систем QNX, Windows.

Другой пример популярной SCADA-системы – Bridge VIEW (другое название LabVIEW SCADA) компании National Instruments. Ядро системы управляет базой данных, взаимодействует с серверами устройств, реагирует на датчики. Подсистема HMI предназначена для интерфейса с пользователями и для исполнения задаваемых ими программ. При настройке системы на конкретное приложение пользователь конфигурирует входные и выходные каналы, указывая для них такие величины, как, например, частоту опроса, диапазоны значений сигналов, и создает программу работы приложения. Программирование ведется на графическом языке блок-диаграмм.

С развитием сетевой инфраструктуры появляется возможность более тесной интеграции АСУП и АСУТП, ранее развивавшихся автономно. Использование информации непосредственно от технологических процессов позволяет более рационально планировать производство и управлять предприятием. Интеграция выражается в использовании на этих уровнях общих программных средств, баз данных, связей с Internet на основе развития PC совместимых контроллеров и сетей Industrial Ethernet и т. п.

К операционным системам реального времени предъявляется ряд специфических требований, основными из них являются требования высокой скорости реакции на запросы внешних устройств, устойчивости системы (т. е. способности работы без зависаний) и экономного использования имеющихся в наличии системных ресурсов.

В SCADA-системах в основном применяют операционные системы UNIX или Windows XP.

Возможности операционных систем Windows можно использовать в системах реального времени, дополнив их, например, средой RTX компании VenturCom.

К операционным системам реального времени относятся многозадачная, многопользовательская, UNIX-совместимая система LynxOS; популярная ОС для встраиваемых приложений OS-9; модульная и легко модифицируемая система QNX; система планирования и

управления задачами VxWorks, которая вместе с инструментальной системой Tornado является кросс-системой для разработки прикладного ПО, и др.

Для разработки ПО реального времени используют пакеты типа Component Integrator. К числу известных комплексов Component Integrator относятся FIX, Factory Suite 2000, ISaGRAF и др. Назначение прикладного ПО – анализ производства, воздействие на него в реальном времени.

# Информационная поддержка этапов жизненного цикла изделий

## Предпосылки и причины появления CALS-технологий

В дословном переводе аббревиатура CALS означает "непрерывность поставок продукции и поддержки ее жизненного цикла". "Непрерывность поставок" требует и подразумевает оптимизацию процессов взаимодействия "заказчика и поставщика" в ходе разработки, проектирования и производства сложной продукции, срок жизни которой, с учетом различных модернизаций, составляет десятки лет. Для обеспечения эффективности, а также сокращения затрат средств и времени, процесс взаимодействия заказчика и поставщика должен быть действительно непрерывным.

Вторая часть определения CALS – "поддержка жизненного цикла" – заключается в оптимизации процессов обслуживания, ремонта, снабжения запасными частями и модернизации. Поскольку затраты на поддержку сложного наукоемкого изделия в работоспособном состоянии часто равны или превышают затраты на его приобретение, принципиальное сокращение "стоимости владения" обеспечивается инвестициями в создание системы поддержки жизненного цикла.

В США работы по CALS-технологиям ведутся с 1985 года в рамках Министерства обороны США. Началом создания системы CALS-технологий явилась разработка системы стандартов описания процессов на всех этапах жизненного цикла продукции.

Целью применения CALS-технологий как инструмента организации и информационной поддержки всех участников создания, производства и пользования продуктом является повышение эффективности их деятельности за счет ускорения процессов исследования и разработки продукции, придания изделию новых свойств, сокращения издержек в процессах производства и эксплуатации продукции, повышения уровня сервиса в процессах ее эксплуатации и технического обслуживания.

CALS-технологии призваны служить средством, интегрирующим промышленные автоматизированные системы (АС) в единую многофункциональную систему. Целью интеграции АС проектирования и

управления является повышение эффективности создания и использования сложной техники.

В чем выражается повышение эффективности?

Во-первых, повышается качество изделий за счет более полного учета имеющейся информации при проектировании и принятии управленческих решений. Так, обоснованность решений, принимаемых в автоматизированной системе управления предприятием (АСУП), будет выше, если лицо, принимающее решение (ЛПР), и соответствующие программы АСУП имеют оперативный доступ не только к базе данных АСУП, но и к БД других автоматизированных систем (САПР, АСТПП и АСУТП) и, следовательно, могут оптимизировать планы работ, содержание заявок, распределение исполнителей, выделение финансов и т. п. При этом под оперативным доступом следует понимать не просто возможность считывания данных из БД, но и легкость их правильной интерпретации, т. е. согласованность по синтаксису и семантике с протоколами, принятыми в АСУП. То же относится и к другим системам, например, технологические подсистемы должны с необходимостью воспринимать и правильно интерпретировать данные, поступающие от подсистем автоматизированного конструирования. Этого не так легко добиться, если основное предприятие и организации-смежники работают с разными АС.

Во-вторых, сокращаются материальные и временные затраты на проектирование и изготовление продукции. Применение CALS-технологий позволяет существенно сократить объемы проектных работ, так как описания ранее выполненных удачных разработок компонентов и устройств, многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в БД сетевых серверов, доступных любому пользователю CALS-технологий. Доступность опять же обеспечивается согласованностью форматов, способов, руководств в разных частях общей интегрированной системы. Кроме того, появляются более широкие возможности для специализации предприятий, вплоть до создания виртуальных предприятий, что также способствует снижению затрат.

В-третьих, существенно снижаются затраты на эксплуатацию благодаря реализации функций интегрированной логистической поддержки. Существенно облегчается решение проблем ремонтпригод-

ности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации и т. п.

Перечисленные преимущества интеграции данных достигаются применением современных CALS-технологий.

Промышленные АС могут работать автономно, и в настоящее время так обычно и происходит. Однако эффективность автоматизации будет заметно выше, если данные, генерируемые в одной из систем, будут доступны в других системах, поскольку принимаемые в них решения станут более обоснованными.

Чтобы достичь должного уровня взаимодействия промышленных АС, требуется создание единого информационного пространства в рамках как отдельных предприятий, так и, что более важно, в рамках объединения предприятий. Единое информационное пространство обеспечивается благодаря унификации как формы, так и содержания информации о конкретных изделиях на различных этапах их жизненного цикла.

Унификация формы достигается использованием стандартных форматов и языков представления информации в межпрограммных обменах и при документировании.

Унификация содержания, понимаемая как однозначная правильная интерпретация данных о конкретном изделии на всех этапах его жизненного цикла, обеспечивается разработкой онтологии (метаописаний) приложений, закрепляемых в прикладных протоколах CALS.

Унификация перечней и наименований сущностей, атрибутов и отношений в определенных предметных областях является основой для единого электронного описания изделия в CALS-пространстве.

## Обзор CALS-стандартов

Основным понятием, вокруг которого строятся все стандарты CALS, является жизненный цикл (ЖЦ) изделия, который включает в себя одиннадцать этапов:

1. Маркетинг и изучение рынка.
2. Проектирование и разработка продукции.
3. Проектирование и разработка процессов.
4. Закупки комплектующих.
5. Производство.
6. Упаковка и хранение.

7. Реализация.
8. Установка и ввод в эксплуатацию.
9. Техническая помощь и обслуживание.
10. Эксплуатация и потребление.
11. Утилизация.

Центральное место в системе CALS-стандартов занимают стандарты, разработанные под эгидой Международной организации стандартизации ISO и получившие название STEP (Standard for Exchange of Product data) и номер 10303. Стандарты ISO 10303 определяют средства описания (моделирования) промышленных изделий на всех стадиях жизненного цикла.

Единообразная форма описаний данных о промышленной продукции обеспечивается введением в STEP языка Express, инвариантного к приложениям. В стандартах STEP использован ряд идей, ранее воплощенных в методиках информационного IDEF1X и функционального IDEF0 проектирования. Но роль стандартов STEP не ограничивается введением только грамматики единого языка обмена данными. В рамках STEP предпринята попытка создания единых информационных моделей (онтологии) целого ряда приложений. Эти модели получили название прикладных протоколов.

Стандарт ISO 10303 состоит из ряда документов (томов), в которых описываются основные принципы STEP, правила языка Express, даны методы его реализации, модели, ресурсы, как общие для приложений, так и некоторые специальные (например, геометрические и топологические модели, описание материалов, процедуры черчения, конечно-элементного анализа и т. п.), прикладные протоколы, отражающие специфику моделей в конкретных предметных областях, методы тестирования моделей и объектов.

Удовлетворению требований создания открытых систем в STEP уделяется основное внимание; специальный раздел посвящен правилам написания файлов обмена данными между разными системами, созданными в рамках STEP-технологии.

Развитие CALS-технологий находит выражение также в разработке серий других стандартов. Это ISO 13584 Parts Library (сокращенно P\_Lib), ISO 14959 Parametrics, ISO 15531 Manufacturing management data (Mandate), ISO 18876 Integration of Industrial Data for Exchange,

Access, and Sharing (IIDEAS), ISO 8879 Standard Generalized Markup Language (SGML).

Стандарты *Parts Library (P\_Lib)* содержат обзор и основные принципы построения библиотек с данными о стандартных компонентах промышленных изделий. В этих стандартах представлены сведения о семействах таких типовых широко используемых компонентов изделий, как болты, подшипники, электронные компоненты и др., с целью использования этих данных в системах автоматизированного проектирования. В *P\_Lib* содержатся также правила использования, интерфейса и модификации библиотечных описаний. Цель стандарта – обеспечить инвариантный для приложений механизм оперирования частями библиотеки.

Благодаря *P\_Lib* различные прикладные САПР могут разделять данные из обобщенных баз, беспрепятственно обмениваться данными о типовых компонентах.

Представление библиотечных моделей дается на языке Express. Для описания структуры частей, вводимых определений и других текстовых фрагментов используется язык SGML. Поведенческие модели электронных компонентов могут быть выражены на языке VHDL.

Стандарты Parametrics введены в 1996 году в связи с тем, что стандарты STEP в недостаточной мере учитывали особенности современных САПР в части представления параметризованных моделей изделий и обмена параметризованными данными. Рабочая группа ISO по Parametrics решает как краткосрочные, так и перспективные задачи. Первые из них связаны с потребностями геометрического проектирования и машинной графики в существующих САПР. Вторые касаются попыток распространения идей параметризации на более ранние этапы проектирования и более широкий круг моделей и процедур проектирования, имеющих не только геометрический характер.

Часть стандарта, обозначаемая ISO 15531-21, содержит обзор и основные принципы представления данных о промышленной продукции. Содержание этой части характеризуется следующими ключевыми словами: системы промышленной автоматизации и интеграция, промышленные данные, обмен данными об управлении производством, обмен данными с внешней средой.

Том ISO 15531–31 посвящен обзору и основным принципам использования данных о производственных ресурсах. Описаны модель, форма и атрибуты представления данных о производственных ресурсах, об управлении их использованием.

Том ISO 15531–41 содержит обзор и основные принципы управления потоками производственных данных.

Оформление технической документации на создаваемые изделия в CALS-технологиях должно выполняться на основе языков разметки SGML или XML (eXtensible Markup Language). Язык SGML входит в семейство стандарта ISO 8879 и предназначен для унификации представления текстовой информации в АС.

Язык XML стал основой технологий семантической паутины (Semantic Web), которой реализована возможность интеграции информации из разных источников с распознаванием семантики данных. Вместе с унифицированным способом указания информационных ресурсов URI (*Uniform Resource Identifiers*) язык XML составляет нижний уровень в иерархии средств семантической паутины. Над этим уровнем расположены уровень модели RDF (*Resource Description Framework*) – среда описания ресурсов, которая служит для определения и использования мета-данных, описывающих информационные ресурсы. RDF определяет набор ресурсов и свойств с обозначением их смысла, эти наборы могут быть использованы для описания новых RDF-словарей. В целях стандартизации технологий Semantic Web международный консорциум W3C разработал ряд спецификаций: XML, RDF и др. Работы по развитию технологий CALS и Semantic Web составляют пока разные направления, однако есть немало причин для пересечения этих направлений (рис. 4).

Стандарт MIL-STD-1840С посвящен представлению и обмену данными CALS-технологиях. Основные положения этого стандарта признаны в России и представлены в документе Р50.1.027–2001. Стандарт определяет международные, национальные, военные стандарты и спецификации для электронного обмена информацией между организациями или системами. В нем к стандартам и спецификациям CALS-технологий отнесен ряд стандартов – таких, как вышеназванные стандарты STEP, SGML, а также стандарты шифрования данных и электронной подписи, кодирования аудио- и видеоданных, спецификации MIME электронной почты и т. п.

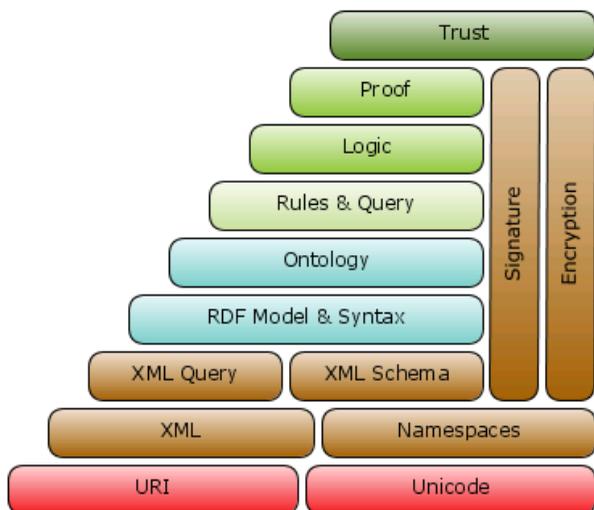


Рис. 4. Стек понятий семантической паутины

В соответствии с MIL-STD-1840C документы могут быть SGML-документами, обменными файлами на языке Express, а для представления иллюстраций и текста допускается использование ряда других форматов. Так, для передачи и представления в технических руководствах иллюстративного материала (схем, рисунков) в соответствии с американским стандартом MIL-PRF-28003 можно использовать формат BMP, но более экономичен формат JPEG. Стандартным растровым форматом является формат TIFF. Документы MIL-PRF-28000 и MIL-PRF-28001 посвящены соответственно форматам IGES и SGML. Формат IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*), утвержденный в качестве стандарта в начале 80-х годов XX века, был предшественником STEP, но он был ориентированным в основном на описание геометрических свойств изделий.

В структуре документа выделяют реквизитную и содержательную части. В реквизитной части записываются метаданные в виде списка идентификаторов атрибутов и их значений, а также сведения об электронных подписях документа. Содержательная часть состоит из одного или более блоков данных, каждый блок имеет собственно передаваемые данные и их описание.

Электронная цифровая подпись (ЭЦП) представляет собой хэш-функцию передаваемого документа, закодированную составителем документа закрытым ключом по асимметричной схеме. Прочитать ЭЦП можно с помощью открытого ключа, но подделать подпись, не зная закрытого ключа, практически нельзя.

К CALS-технологиям относят также технологии интегрированной логистической поддержки изделий (ИЛП). Под ИЛП понимают комплекс мер и процедур, направленных на снижение общих затрат на всех этапах жизненного цикла изделий (ЖЦИ), прежде всего на этапе эксплуатации. В понятие ИЛП входят:

- определение инфраструктуры системы обслуживания изделий в период эксплуатации, в том числе планирование процедур обслуживания и проектирование ремонтпригодной техники, разработка средств обслуживания сложной техники параллельно с разработкой самого изделия;
- определение требований и обучение обслуживающего персонала;
- поддержка связей между производителем и потребителем путем доступа потребителя к интегрированной БД изделия с целью упрощения диагностики состояния и ремонта изделий, а также получения изготовителем данных о неисправностях и отказах с целью принятия мер по повышению надежности изделий;
- присвоение кодов изделиям и материалам, что необходимо для упрощения поиска нужных данных в справочниках и БД, исключения дублирования проектов, ускорения составления заявок на поставки комплектующих и т. п.;
- традиционные логистические процедуры, такие, как упаковка, складирование, транспортировка изделий.

Реализация ИЛП осуществляется в рамках систем ИЛП. Следует отметить, что ИЛП тесно связана с обеспечением управления качеством продукции в соответствии со стандартами серии ISO 9000.

Эксплуатационные документы должны создаваться в соответствии с концепциями, развиваемыми в CALS-технологиях, обеспечивая повышенные удобства и эффективность освоения и эксплуатации сложной техники. Концепция создания и сопровождения электронной эксплуатационной документации получила название технологии IETM или ИЭТР (интерактивных электронных технических руководств).

В CALS-технологиях к эксплуатационной документации ИЕТМ предъявляются повышенные требования. Это, прежде всего, представление документов в электронном виде, открытость пособий и руководств, т. е. их приспособленность к внесению изменений и конвертированию форматов, должная степень интерактивности и управления данными, адаптация учебного материала к конкретным запросам пользователей, малые затраты на создание документов для новых версий изделий.

В ИЭТР используют классификацию документов. По одной из существующих систем классификации выделяют следующие классы ИЭТР.

*Класс 1* – бумажно-ориентированные электронные документы. Это отсканированные страницы и электронные копии бумажных руководств. Преимущества: большие объемы бумажной документации заменяет компактный электронный носитель. Недостатки: отсутствуют какие-либо новые функции по сравнению с возможностями бумажных руководств.

*Класс 2* – неструктурированные документы, текстовые электронные документы. Преимущества: возможность использования аудио- и видеотрегментов, графических изображений и возможность осуществлять поиск по тексту документа. Недостатки: ограниченные возможности обработки информации.

*Класс 3* – структурированные документы. Начиная с класса 3, руководства представляют собой документы, имеющие три компонента: структуру, оформление и содержание. Кроме того, начиная с класса 3, ИЭТР имеют стандартизированный интерфейс пользователя. Преимущества: существует возможность стандартизировать структуру, оформление и пользовательский интерфейс руководств (например в соответствии с отраслевыми стандартами на эксплуатационную документацию), стандартизированный интерфейс пользователя позволяет облегчить работу с ИЭТР. Недостатки: при создании руководств к сложным промышленным изделиям появляются проблемы управления большим объемом информации.

*Класс 4* – интерактивные БД. Преимущества: можно создавать технические руководства большого объема. Недостатки: отсутствие системы диагностики изделия.

*Класс 5* – интегрированные БД. Дают возможность прямого взаимодействия с электронными модулями диагностики изделий, что существенно облегчает обслуживание и ремонт изделия. Преимущества: возможность проведения диагностики изделия. Недостатки: очень высокая стоимость создания. Вариант использования конкретного класса ИЭТР в общем случае зависит от сложности изделия, от финансовых и технических возможностей пользователя.

В соответствии с другой из существующих классификаций ИЕТМ выделяют 6 классов. Класс 0 относится к обычным документам, переведенным в электронный вид (например с помощью редактора Word) и предназначенным для архивации. Класс 1 относится к документам, части которого индексируются и доступны по ссылкам из оглавления. Документы класса 2 – файлы в коде ASCII, внутри которых применена разметка с помощью тегов, что позволяет осуществлять навигацию внутри документа. Документы класса 3 отличаются тем, что в них применена разметка с помощью языка SGML.

Документы классов 0–3 являются линейными в том смысле, что в них, как и в обычных бумажных пособиях, материал излагается последовательно страница за страницей. В отличие от них документы класса 4 имеют не линейную, а иерархическую структуру, и предназначены для интерактивных презентаций. Развитие класса 4 в направлении увеличения степени интеллектуализации приводит к классу 5, в котором имеются средства формирования версий пособий, адаптированных к запросам и уровню подготовленности пользователя.

В технологиях ИЕТМ используется ряд стандартов. Кроме стандарта ISO 8879 (SGML), здесь находят применение стандарт ISO 10744 (HyTime Hypermedia / Time-based Document Structuring Language), спецификации MIL 87268...87270 и т. д. Так, документ MIL-M-87268 (Interactive Electronic Technic; Manual Content) определяет общие требования к содержанию, стилю, формату и средствам диалогового общения пользователя с интерактивными электронными техническими руководствами. В спецификации MIL-D-87269 содержатся требования к базам данных для интерактивных электронных технических руководств и справочников, описаны методы представления структуры, состава промышленного изделия и его компонент на языке SGML, даны шаблоны документов на составные части технической документации, перечислены типовые элементы документов.

Особенности проектирования радиоэлектронной аппаратуры находят отражение и в форматах обмена данными. Основные методики функционального и логического проектирования электронных устройств основаны на использовании языка VHDL, получившего в 1987 году статус международного стандарта IEEE 1076. При конструкторском проектировании для описания топологии СБИС и печатных плат широко применяются форматы EDIF (*Electronic Design Interchange Format*) и CIF (*Caltech Intermediate Format*).

Развитие методологии моделирования на базе языка VHDL привело в 1999 году к принятию стандарта IEEE 1076.1, посвященного смешанному моделированию. Смешанным принято называть аналого-цифровое моделирование, т. е. исследование моделей, в которых используются как непрерывные, так и дискретные величины. Объединение стандартов IEEE 1076 и 1076.1 в одном документе VHDL-AMS (VHDL Analog and Mixed Signal) позволило унифицировать описание моделей не только электрических систем, но и систем механических, гидравлических, тепловых, а также систем с физически разнородными компонентами.

В CALS-технологиях, кроме вопросов описания данных и организации информационных обменов, представлены и вопросы моделирования приложений. Для выполнения начальных шагов моделирования сложных слабо структурированных приложений рекомендуется использовать методики объектного моделирования на базе языка UML, функционального моделирования систем IDEF0, информационного моделирования IDEF1X.

## Стандарты управления качеством промышленной продукции

Международные стандарты серии ISO 9000 разработаны для управления качеством продукции, их дополняют стандарты серии ISO 14000, отражающие экологические требования к производству и промышленной продукции. Хотя эти стандарты непосредственно не связаны с CALS-стандартами, их цели – совершенствование промышленного производства, повышение его эффективности – совпадают.

У каждого руководителя и у каждого покупателя (заказчика) продукции имеются две альтернативы поведения в отношении контроля работы поставщика (исполнителя):

1. Контролировать ход выполнения работы с целью предотвращения некачественного результата, затрачивая при этом значительные средства на контрольные мероприятия.

2. Полностью доверить выполнение работы исполнителю, экономя средства, затрачиваемые на контроль, но подвергаясь риску убытков, связанных с получением некачественного результата.

Один из главных идеологов теории управления качеством Эдвард Деминг описывает ряд закономерностей, позволяющих наглядно показать значение стандартизации систем качества:

"Правило недоверия": рациональный покупатель (заказчик) выберет альтернативу 1 при  $R > C/L$ ;

"Правило доверия": рациональный покупатель (заказчик) выберет альтернативу 2 при  $R < C/L$ ,

где  $R$  – вероятность некачественного результата;  $C$  – затраты на контроль для предотвращения некачественного результата;  $L$  – ущерб от возникновения некачественного результата.

Естественно, экономически более выгодной является вторая альтернатива поведения, предполагающая доверие между партнерами. Для ее применения, очевидно, необходимо, чтобы вероятность получения некачественного результата от поставщика была как можно более низкой. Проблема только в том, чтобы объективно оценить значение  $R$ , т. е. определить, насколько можно доверять партнеру, поставщику или сотруднику и не контролировать его работу.

Очевидно, что управление качеством тесно связано с его контролем. Контроль качества традиционно основан на измерении показателей качества продукции на специальных технологических операциях контроля и выбраковке негодных изделий. Однако есть и другой подход к управлению качеством, основанный на контроле качественных показателей не самих изделий, а проектных процедур и технологических процессов, используемых при создании этих изделий.

Такой подход во многих случаях более эффективен. Он требует меньше затрат, поскольку позволяет обойтись без 100 %-го контроля продукции и благодаря предупреждению появления брака снижает производственные издержки. Именно этот подход положен в основу

стандартов ISO 9000, принятых ISO в 1987 году и проходящих корректировку приблизительно каждые пять лет.

Таким образом, методической основой для управления качеством являются международные стандарты серии ISO 9000. Они определяют и регламентируют инвариантные вопросы создания, развития, применения и сертификации систем качества в промышленности. В них устанавливается форма требований к системе качества в целях демонстрации поставщиком своих возможностей и оценки этих возможностей внешними сторонами.

Основными причинами появления стандартов ISO 9000 были потребности в общем для всех участников международного рынка базисе для контроля и управления качеством товаров. Американское общество контроля качества определило цели ISO 9000 как помощь в развитии международного обмена товарами и услугами и кооперации в сфере интеллектуальной, научной, технологической и деловой активности.

В стандартах ISO 9000 используется определение качества из стандарта ISO 8402, в котором под качеством продукции подразумевается своевременное удовлетворение требований заказчика по приемлемой цене. Вводится понятие системы качества (QS – Quality System), под которой понимают документальную систему с руководствами и описаниями процедур достижения качества. Другими словами, система качества есть совокупность организационной структуры, ответственности, процедур, процессов и ресурсов, обеспечивающая осуществление общего руководства качеством.

Стандарты разрабатывались путем анализа опыта по обеспечению и гарантии качества ведущих организаций в мире и ориентировались на всемирно известный подход к обеспечению качества – теории "TQM" (Total Quality Management). Теория TQM определяет следующую концепцию: для того, чтобы организация могла успешно существовать на рынке, ей необходимо добиться удовлетворения требований всех заинтересованных в существовании организации сторон:

- клиентов организации;
- сотрудников организации;
- собственников организации;
- государства;

- общества в целом;
- субподрядчиков организации.

Стандарты в полной мере ориентируются на удовлетворение в первую очередь одну из главных заинтересованных сторон – Клиента организации.

Система качества обычно представляет собой совокупность трех слоев документов:

- 1) описание политики управления для каждого системного элемента;
- 2) описание процедур управления качеством (что, где, кем и когда должно быть сделано);
- 3) тесты, планы, инструкции и т. п.

Сертификация предприятий по стандартам ISO 9001–9003 выполняется некоторой уполномоченной внешней организацией. Наличие сертификата качества – одно из важных условий для успеха коммерческой деятельности предприятий.

Стандарты серии ISO 9000 управления качеством промышленной продукции делятся на первичные, вторичные и поддерживающие.

В свою очередь, первичные стандарты делятся на внешние и внутренние. Внешние стандарты инвариантны приложениям, – они описывают требования, соблюдение которых гарантирует качество при выполнении контрактов с внешними заказчиками. Внутренние стандарты предназначены для внутреннего использования – они описывают мероприятия по управлению качеством внутри компании.

ISO предлагает следующие внешние стандарты (рис. 5):

ISO 9001 – модель качества, достигаемого при проектировании, производстве, обслуживании;

ISO 9002 – сокращенная по сравнению с ISO 9001 модель (без процессов проектирования);

ISO 9003 – модель качества при финальном тестировании продукции.

Вторичные стандарты включают:

ISO 9000 – основные понятия, руководство по применению ISO 9001;

ISO 9004 – элементы систем управления качеством.

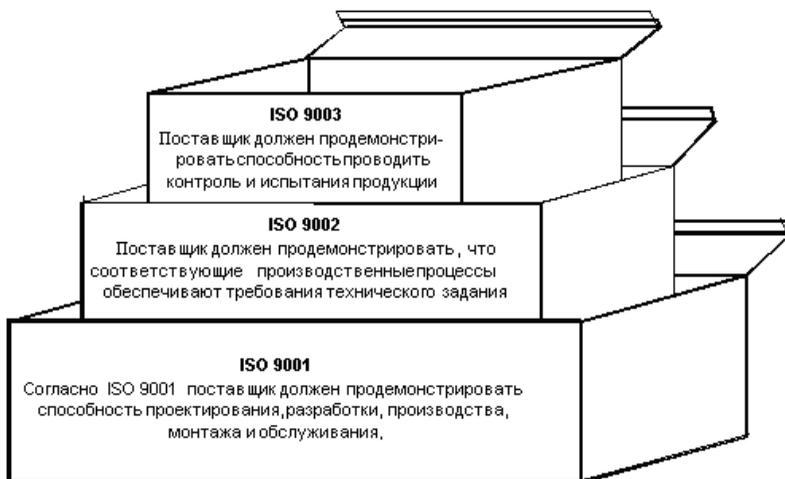


Рис. 5. Три модели обеспечения качества

В стандарте ISO 2004 содержатся 20 основных требований к качеству, называемых системными элементами, которые разделены на группы, относящиеся к производству, транспортировке и постпроизводственным операциям, документации, маркетингу. Например, при производстве контролируются планирование, процедуры, программы и инструкции для управления и улучшения производственных процессов. При маркетинге контролируются такие системные элементы, как функциональное описание продукции, организация обратной связи с заказчиками (отслеживание и анализ рекламаций).

Поддерживающие стандарты предназначены для развития и установки систем качества:

ISO 10011 – аудит, критерии для аудита систем качества;

ISO 10012 – требования для измерительного оборудования;

ISO 10013 – пособие для развития руководств по управлению качеством.

Часть этих стандартов утверждена в качестве государственных стандартов Российской Федерации (рис. 6). В частности, к ним относятся:

ГОСТ Р ИСО 9001–96 «Системы качества. Модель обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании»;

ГОСТ Р ИСО 9002–96 «Системы качества. Модель обеспечения качества при производстве, монтаже и обслуживании»;

ГОСТ Р ИСО 9003–96 «Системы качества. Модель обеспечения качества при окончательном контроле и испытаниях».



Рис. 6. Взаимосвязь между ИСО 9001, ИСО 9002 и ИСО 9003

В настоящее время разработана новая версия стандартов серии ISO 9000 под названием ISO 9000:2001 Quality management systems (Системы управления качеством), в которую включены документы:

ISO 9000:2001 Fundamentals and vocabulary (Основы и терминология);

ISO 9001:2001 Requirements (Требования);

ISO 9004:2001 Guidelines for performance improvement (Руководство по развитию).

Главные отличия новой версии от предыдущей обусловлены стремлением упростить практическое использование стандартов, направлены на их лучшую гармонизацию и заключаются в следующем.

В стандарте ISO 9001 минимизируется объем требований к системе качества. Стандарты ISO 9002–9003 из новой версии исключают-

ся. Расширяется круг контролируемых ресурсов, в их число включены такие элементы, как информация, коммуникации, инфраструктура. Введенные в стандарте ISO 9004 20 элементов качества сворачиваются в четыре группы:

- распределение ответственности (management responsibility);
- управление ресурсами (resource management);
- реализация продукции и услуг (product and/or service realization);
- измерения и анализ (measurement, analysis, and improvement).

Стандарты ISO 14000 посвящены проблеме выполнения промышленными предприятиями экологических требований. По своей целевой направленности они близки к стандартам управления качеством промышленной продукции ISO 9000, которые служат базой для ISO 14000. Стандарты ISO 14000 являются также системой управления влиянием на окружающую среду, они, как и ISO 9000, реализуются в процессе сертификации предприятий, задают процедуры управления и контроль документации, аудит, подразумевают соответствующее обучение и сбор статистики. Кроме требований заказчиков и покупателей, в них воплощаются внутренние требования организации.

## Стандарт STEP

При разработке стандартов STEP были поставлены цели обеспечения единообразного описания и интерпретации данных в АС на различных этапах жизненного цикла изделий. К разработке стандартов STEP под эгидой ISO был привлечен ряд ведущих компаний и специалистов фирм в разных отраслях промышленности.

Основу стандартов STEP составляет язык Express – язык унифицированного представления данных и обмена данными в компьютерных средах. Язык инвариантен к приложениям. Хотя он разрабатывался с ориентацией прежде всего на описание жизненных циклов промышленной продукции, области его применения значительно шире.

В стандартах STEP используются следующие важные понятия:

ААМ (*Application Activity Model*) – функциональная модель IDEF0 для определенного приложения;

АРМ (*Application Requirements Model*) – модель, представляющая данные с точки зрения пользователя. В частности, в этой модели

данные могут быть выражены как средствами, типичными для приложения, так и с использованием синтаксиса языка Express;

AIM (*Application Interpreted Model*) – ARM-модель, переведенная в STEP-представление с использованием ряда унифицированных в STEP-понятий, закрепленных в интегрированных ресурсах;

AP (*Application Protocol*) – STEP-стандарт, отражающий специфику конкретного приложения;

SDAI (*Standard Data Access Interface*) – программный интерфейс к БД, разделяемой рядом прикладных систем (в том числе CAD/CAM системами) и представленной на языке Express. SDAI представляет собой унифицированный набор процедур доступа к БД, используется в STEP средах для организации обменов между приложениями через общую БД.

STEP – совокупность стандартов; состоит из ряда томов. Тома имеют свои номера и обозначаются как «часть xx» или ISO 10303-xx. К настоящему времени разработано более сотни томов, часть из них имеет статус проектов, часть уже утверждена в качестве стандартов ISO.

Том 1 стандартов STEP (ISO 10303-1) – вводный стандарт, выполняющий роль аннотации всей совокупности томов. В этом стандарте вводится ряд терминов, используемых в других стандартах, например таких, как продукт (product), приложение (application), проектные данные (product data), модель (model), модели AAM, AIM, ARM, прикладной протокол (AP), интегрированный ресурс (integrated resource), элемент функциональности (unit of functionality – UoF);

тома 11–14 – методы описания (Description methods);

тома 21–29 – методы реализации (Implementation methods);

тома 31–35 – основы тестирования моделей (Conformance testing methodology and framework);

тома 41–50 – интегрированные основные ресурсы (Integrated generic resources);

тома 101–108 – интегрированные прикладные ресурсы (Integrated application resources);

тома 201–236 – прикладные протоколы (Application protocols);

тома 301–332 – абстрактные тестовые наборы (Abstract test suites);

тома 501–520 – прикладные компоненты (Application interpreted constructs).

Ряд томов переведен на русский язык и представлен в виде национальных стандартов России. Это, например, ГОСТ Р ИСО 10303–1–99, посвященный обзору и основополагающим принципам STEP, ГОСТ Р ИСО 10303–11–99 – справочное руководство по языку Express, ГОСТ Р ИСО 10303–21–99 – то же, по обменному файлу, ГОСТ Р ИСО 10303–41–99 – описание интегрированных родовых ресурсов. Перечисленные документы соответствуют стандартам ISO 10303–1, ISO 10303–11, ISO 10303–21, ISO 10303–41.

## Интеллектуальные средства поддержки принятия решений

В общем случае полная формализация управления проектированием не может быть достигнута, поэтому полезную роль играют СППР – системы поддержки проектных решений, принимаемых людьми (обозначаемые также *DSS -Decision Support Systems*). Такие системы часто используются совместно с хранилищами данных и OLAP-системами (*On-Line Analytical Processing*).

OLAP-системы должны обеспечивать оперативный доступ к данным, на основе которого выявляются зависимости между параметрами (измерениями в многомерной модели приложения). В OLAP-системах на реляционных СУБД аналитическая обработка, или, другими словами, многомерный динамический анализ данных, требует просмотра большого числа записей из разных таблиц. Поэтому производительность оказывается невысокой. В специализированных OLAP-системах, обеспечивающих более быстрый многомерный анализ, но с более существенными ограничениями на объем базы данных, данные хранятся в виде гиперкубов или поликубов – многомерных таблиц с постоянным или переменным числом ячеек соответственно. Пример OLAP-системы – Oracle Express, которая помогает менеджерам и аналитикам получать данные в виде разрезов таких многомерных таблиц, готовить отчеты, обосновывать решения.

В составе подсистем управления методологией проектирования полезно иметь средства консультирования по принятию проектных решений. Они могут быть представлены в виде множества модулей, объединяемых гипертекстовой оболочкой. Каждый модуль содержит некоторый совет по выбору решений. При построении сложных сис-

тем из независимо созданных подсистем существенное значение имеет также семантический аспект интеграции, что подразумевает автоматическое распознавание разными системами смысла передаваемых между ними данных.

## Программное обеспечение CALS-технологий

Программное обеспечение CALS-технологий должно выполнять функции, обеспечивающие создание и поддержку интегрирующей информационной среды для промышленных АС:

- функции управления данными, разделяемыми разными АС и подсистемами на этапах ЖЦ-изделий. Эти функции в настоящее время выполняют системы управления ЖЦ-изделий PLM. Внутри этапа проектирования управление проектными данными, разделяемыми разными подсистемами САПР, выполняют системы управления проектными данными PDM;

- функции управления данными и программами в распределенной сетевой среде, включая функции защиты информации. Эти функции реализуются в технологиях распределенных вычислений, таких, как удаленный вызов процедур RPC, архитектура на основе посредников объектных запросов CORBA, объектная модель COM/DCOM, технология SOAP и др. Использование имеющихся систем распределенных вычислений позволяет разработчикам CALS-средств сконцентрировать усилия на решении специфичных задач и не тратить время на реализацию взаимодействия в сетевой среде;

- программные средства логистической поддержки изделий, обслуживания сложной техники и обучения обслуживающего персонала правилам эксплуатации и ремонта изделий, представленные, в частности ИЭТР, создаваемыми в CALS-системах с помощью специальных инструментальных средств. Развитые ИЭТР служат не только целям обучения пользователей, но выполняют также функции автоматизированного заказа материалов и запасных частей, планирования и учета проведения регламентных работ, обмена данными между потребителем и поставщиком, диагностики оборудования и поиска неисправностей. Примерами инструментальных систем создания ИЭТР могут служить TG Builder (компания «Прикладная логистика») или Adobe FrameMaker+SGML (Adobe).

К программному обеспечению CALS-технологий следует отнести многочисленные средства поддержки моделирования и обмена данными с использованием языка Express, которые можно объединить под названием STEP-средства (STEP Tools). К STEP-средствам относятся редакторы, компиляторы, визуализаторы, анализаторы, конверторы, связанные с языком Express. Редакторы помогают синтезировать и корректировать Express-модели. Анализаторы служат для синтаксического анализа и выявления ошибок, допущенных при написании модели. Анализатор входит в состав компилятора, который после анализа осуществляет трансляцию Express-моделей в ту или иную требуемую языковую форму. Визуализаторы генерируют графические представления моделей на языке Express-G. Конверторы используются для преобразования Express-моделей на основе языка Express-X.

Кроме того, к программному обеспечению CALS-технологий можно отнести средства поддержки языков SGML, XML, EDIF, ACT.

Например, с помощью программ ST-Developer компании STEP Tools реализуется SDAI-интерфейс на языках C, C++, Java, IDL/Corba, интерфейс Express-моделей к SQL БД и графическим ядрам ACIS и Parasolid машиностроительных CAD-систем осуществляют тестирование Express-моделей, генерируют модели на языке Express-G

Ряд STEP-средств предлагает Национальный институт стандартов и технологий США (NIST). Это средства оперирования обменными файлами и Express-моделями трансляции моделей в C++ и IDL представления.

Компания Rational Rose предлагает транслятор Express-моделей в UML-представление.

Программные средства компании EPM Technology AS характеризуются разнообразием выполняемых функций. Так, программа EDMdeveloperSeat поддерживает БД с Express-моделями, EDMvisualExpress осуществляет визуализацию моделей с помощью расширения языка Express-G, EDMmodelChecker служит для диагностики допущенных нарушений правил языка Express.

Технологии распределенных вычислений и их программное обеспечение используются, но не являются специфичными в CALS-приложениях. Поэтому основными компонентами ПО CALS являются

ся системы PLM, PDM и интерактивные электронные технические руководства (IETM).

Системы PDM предназначены преимущественно для информационного обеспечения проектирования – упорядочения информации о проекте, управления соответствующими документами, включая спецификации и другие виды представления данных, обеспечения доступа к данным по различным атрибутам, навигации по иерархической структуре проекта. Системы, аналогичные PDM, но в большей мере ориентированные на управление информацией в системах ERP, часто называют системами *EDM (Enterprise Data Management)*. В системах PLM поддерживаются информационные связи не только внутри САПР, с их помощью обеспечивается взаимодействие различных АС на протяжении всего ЖЦ-изделия.

В последнее время усилия многих компаний, производящих программно-аппаратные средства АС, направлены на создание систем электронного бизнеса (E-commerce). Основу развитых систем E-commerce составляют средства PLM и СРС.

Среди систем E-commerce различают системы B2C и B2B.

Система B2C (Business-to-Customer) предназначена для автоматизации процедур взаимоотношений предприятия с конечными потребителями его продукции, чаще всего это взаимоотношения юридического лица с физическими лицами (покупателями товаров).

Однако значимость систем E-commerce отнюдь не определяется организацией электронной торговли путем размещения на сайтах Internet витрин товаров и услуг. Цель электронного бизнеса заключается в объединении в едином информационном пространстве информации, во-первых, о возможностях различных организаций, специализирующихся на предоставлении различных услуг и на выполнении тех или иных процедур и операций по проектированию и изготовлению заказанных изделий; во-вторых, о запросах на использование этих услуг и заказов на поставки изделий и полуфабрикатов. В отличие от B2C такие E-commerce системы называют системами B2B (Business-to-Business). Эти системы автоматизируют процедуры взаимодействия юридических лиц друг с другом, более конкретно, системы B2B автоматизируют процессы обмена информацией между компаниями-партнерами.

Возникает задача создания единого информационного пространства, в котором функционируют автоматизированные системы управления взаимодействующих предприятий.

Технология интегрированного информационного пространства и управления данными – технология взаимодействия производителей, поставщиков и покупателей на различных этапах ЖЦ-изделия, направленная на оптимальное удовлетворение потребностей заказчиков в продукции и услугах. Благодаря более высокой степени специализации предприятий, проектированию под заказ, комплексному учету затрат на проектирование, можно минимизировать временные и финансовые затраты при высоком качестве изделий. Чтобы использовать эти возможности, требуются системы PLM, главное назначение которых – обеспечивать информационную согласованность действий всех участников процесса создания продукции. В PLM учитывается, что число участников в цепи поставок может быть весьма значительным, причем состав участников непостоянен, а определяется исходя из конкретных задач и условий. Для эффективного управления процессами на протяжении всего жизненного цикла продукции все участники должны пользоваться доступными для правильного восприятия, интерпретации и исчерпывающе полными данными.

Именно системы PLM интегрируют данные, вырабатываемые и используемые системами CAD/CAM, ERP, SCM, CRM.

В большинстве АС для обменов данными внутри системы используют те или иные форматы, или не являющиеся унифицированными, или признанные в ряде систем лишь как стандарты де-факто. Языки типа Express используют для межсистемных обменов и представления часто встречающихся данных в общих БД; для выполнения роли внутренних форматов они неудобны. Поэтому в прикладные АС для связей с общей информационной CALS-средой должны быть включены конверторы для взаимных преобразований внутренних форматов данных в STEP-форматы. Такие конверторы также относят к программному обеспечению CALS-технологий.

В системах PDM разнообразие типов проектных данных поддерживается их классификацией и соответствующим выделением групп с характерным множествами атрибутов. Такими группами данных являются аспекты описания, т. е. описания изделий с различных точек зрения. Для большинства САПР машиностроения характерными

аспектами являются свойства компонентов и сборок (эти сведения называют BOM – Bill of materials), модели и их документальное выражение (основными примерами могут служить чертежи, 3D-модели визуализации, сеточные представления для конечно элементного анализа, текстовые описания), структура изделий, отражающая взаимосвязи между компонентами и сборками и их описаниями в разных группах.

Вследствие большого объема проектных данных и наличия ряда версий проектов в системах PLM и PDM должна быть развитая система поиска нужных данных по различным критериям.

## Защита информации в корпоративных системах

Понятие информационной безопасности относится к широкому кругу проблем обеспечения целостности информации и предотвращения несанкционированного доступа к информации в различных системах. При этом под целостностью информации понимают ее свойство оставаться семантически неизменной в условиях случайных или преднамеренных искажающих воздействий.

Очевидно, что в САПР необходимо иметь средства, обеспечивающие безопасность информации. Поскольку в САПР зачастую используются связи со смежными предприятиями через сети общего пользования (как правило, через Internet), то существенную опасность представляют собой попытки несанкционированного доступа к корпоративной сети предприятия извне. Для нормального функционирования САПР и других автоматизированных систем при реализации CALS-технологий необходимо иметь систему защиты от определенного множества угроз информационной безопасности. Политика безопасности реализуется путем административно-организационных мер, физических и программно-технических средств и определяет структуру системы защиты информации.

Рассмотрим основные способы защиты информации.

Аутентификация – проверка подлинности информационного объекта или субъекта при его попытке доступа к информации. Аутентификация пользователя информационной системы чаще всего выполняется через пароли или персональные карточки с номерами идентификации. Целесообразна периодическая смена паролей, доступ к файлам пароля должен быть только у администратора и т. п. Однако

пароли и идентификационные номера могут быть забыты, утеряны или похищены. Поэтому более надежными, но и сложными считаются методы аутентификации, основанные на достижениях биометрии. В этих методах идентификация личности основана на уникальных для каждого человека признаках, таких как, отпечатки пальцев, окраска радужной оболочки глаз, геометрические особенности лица, спектральные составляющие речи, динамические характеристики ударов пальцев по клавишам.

Управление доступом к информации выполняется на основе дискреционного (избирательного) или мандатного способов. В этих способах для каждой группы пользователей устанавливаются свои права доступа. В дискреционном способе права пользования объектом (ресурсом) устанавливает субъект – владелец ресурса. Значениями прав при дискреционном доступе могут быть «чтение», «запись», «модификация» данных. При мандатном способе информационные ресурсы различаются метками конфиденциальности, а пользователи – значением статуса.

Системы защиты информации должны обеспечивать как защиту от несанкционированного доступа и от несанкционированной модификации информации, так и восстановление информации после ее разрушения.

Меры обеспечения информационной безопасности делятся на административные, правовые, морально-этические, физические, программно-аппаратные.

К функциям программно-аппаратных средств систем защиты информации относятся:

- аутентификация пользователей и разграничение доступа к сетевым ресурсам, направленные на предупреждение несанкционированного доступа к защищаемым данным; в частности, эти функции включают использование паролей, администрирование привилегий пользователей;
- шифрование данных для обеспечения конфиденциальности и целостности информации;
- защита информации в сетях, включая мониторинг сетевого трафика, контроль доступа к сетевым ресурсам, фильтрацию пакетов, обнаружение попыток несанкционированного доступа и т. д.

Различают три типа угроз безопасности: направленные на нарушение конфиденциальности информации, нарушение ее целостности и нарушение работоспособности информационной системы.

Политика безопасности реализуется путем административно-организационных мер, физических и программно-технических средств и определяет структуру системы защиты информации.

## Основные функции систем PDM

В информационных моделях приложений фигурируют сущности (типы данных) и связи между ними. Установление сущностей, их атрибутов, связей и атрибутов связей означает *структурирование проектных данных*. Структура изделий обычно может быть представлена иерархически, в виде дерева. Иерархическая форма удобна при внесении и отслеживании изменений в модели, например, при добавлении и удалении сущностей, изменениях их атрибутов, введении новых связей. Поэтому одной из первоочередных функций систем PDM является поддержка интерактивной работы пользователя при создании моделей изделий (процессов), структурирование описаний проектируемых объектов, предъявление пользователю этой иерархической структуры вместе с возможностями навигации по дереву и получению нужной информации по каждой указанной пользователем структурной компоненте.

Интерфейс с пользователем поддерживается *визуализацией данных проекта* одновременно в нескольких окнах. Для визуализации данных разных аспектов в системах PDM имеется ряд браузеров. Типичные изображения, создаваемые браузерами: дерево проекта или его фрагментов; различные виды, такие, как 2D-чертеж или 3D-изображение; описания моделей; принципиальные схемы; атрибуты объекта (исполнитель, номер версии, дата утверждения и т. п.). Иногда для визуализации и редактирования данных в PDM конкретной фирмы привлекаются браузеры и редакторы других изготовителей.

*Управление версиями проекта и внесении изменений в проект* должно обеспечивать целостность проектных данных. Если в проект нужно внести изменения, то создается новая версия проекта, основанная на первоначальном проекте, и изменения вносятся уже в эту новую версию. Исходный вариант проекта при этом сохраняется в прежнем виде. Одна версия каждого объекта является текущей или

активной версией. Если имеется несколько версий объекта, то текущей является та, которая последней подвергалась изменениям.

Целостность данных поддерживается также тем, что нельзя одновременно изменять один и тот же объект разными разработчиками, каждый из них должен работать со своей рабочей версией. Другими словами, необходимо обеспечение синхронизации изменения данных, разделяемых многими пользователями. Для этого выполняется авторизация пользователей и разрабатываются средства ведения многих версий проекта. Во-первых, пользователи делятся на классы (администрация системы, руководство проектом и частями проекта, группы исполнителей-проектировщиков), и для каждого класса вводятся определенные ограничения, связанные с доступом к разделяемым данным; во-вторых, доступ регламентируется по типам разделяемых данных. Данным могут присваиваться различные значения статуса, например «правильно», «необходим перерасчет», «утверждено в качестве окончательного решения» и т. п. Собственно синхронизация выполняется с помощью механизмов типа рандеву или семафоров, которые подробно рассмотрены в пособиях по параллельным вычислениям.

В современных условиях обострившейся конкуренции на рынках продукции выигрывают те предприятия, которые проектируют изделия высокого качества и меньше время тратят на проектирование и производство. Использование систем PDM должно способствовать повышению конкурентоспособности предприятий. Поэтому в число функций систем PDM входят *управление качеством продукции и поддержка совмещенного (параллельного) проектирования.*

Совмещенное проектирование используют в целях сокращения временных затрат, однако совмещение процедур, взаимосвязанных по входным и выходным данным, возможно не всегда и лишь при наличии специальных методик и программных средств. Совмещение проектных процедур применяется, например, при проектировании СБИС. Совмещение некоторых процедур имеет место и в САПР машиностроения, например, в ряде случаев проектирование технологических процессов можно начинать до полного окончания конструирования.

Совмещенное проектирование требует организации групповой работы проектировщиков. Важными функциями PDM являются

*управление документами и документооборотом.* Проектная документация характеризуется разноплановостью и большими объемами. В процессе проектирования используют чертежи, конструкторские спецификации или перечни элементов, пояснительные записки, ведомости применяемости изделий, различного рода отчеты и т. д. Кроме того, в интегрированных автоматизированных системах проектирования и управления в документооборот входит большое число документов, связанных с процедурами маркетинга, снабжения, планирования, администрирования и т. п.

Важно обеспечить автоматический учет влияния и распространения вносимых в проект изменений на другие части проектной документации.

Для подготовки, хранения и сопровождения необходимых документов, в том числе чертежей и схем, в PDM включают специализированные системы управления документами и документооборотом или адаптируют полнофункциональные системы делопроизводства, разработанные независимо от конкретных PDM.

Часто используют программы Lotus Notes и Lotus Domino компании Lotus Development. Возможности управления чертежно-конструкторской документацией, подготовленной в AutoCAD и Microstation, имеются в продуктах DOCS Open (компания Hummingbird), CADLink, входящем в систему управления документами и бизнес-процессами Documentum, Search (Белорусская компания Интермех) и ряде других.

В системе Search осуществляются хранение и поиск данных, доступ к ним, документооборот, разработка спецификаций, внесение изменений и др. Для этого имеются редактор извещений об изменениях в проекте, средства обеспечения групповой работы над проектом, модуль доступа к документам, расположенным на других узлах сети. Редактирование и просмотр выполняются с помощью внешних редакторов.

*Управление проектами (процессом проектирования)* также входит в число функций PDM. Проектирование состоит из многих этапов, объединяемых в потоки работ. Управление потоком работ включает в себя большое число действий и условий, поддерживающих параллельную работу многих пользователей над общим проектом. Необ-

ходимо распределить работы как между исполнителями, так и во времени, а также обеспечить контроль выполнения работ.

Этапы заданного или динамически определяемого маршрута работ могут представлять собой выполнение проектных операций и процедур, пересылку документов и файлов другим пользователям, изменение статуса объекта, просмотр, контроль и утверждение инженерных проектов и внесение в них изменений и т. п. Между этапами маршрута перемещается пакет документов. На шагах маршрута документы проекта обрабатываются, видоизменяются, оцениваются, пакет автоматически пополняется, и в конечном счете проектная документация выпускается в производство.

Управление потоком работ выполняется на основе моделей вычислительных процессов. Используются спецификации моделей, принятые в CASE-системах, например диаграммы потоков данных, ориентированные графы, UML-диаграммы. Сначала модели составляют в терминах проектных заданий, а затем система осуществляет их покрытие имеющимися проектирующими программами и программными модулями. Применяют также описания на языках расширения или 4GL.

Часто управление крупными проектами, включающее распределение большого числа работ во времени и между исполнителями, выполняется программами, относящимися к специальной группе систем управления проектами. В эту группу входят программы верхнего уровня, такие, как Artemis Project (фирма Metier), Primavera Project Planner (Primavera Systems), Open Plan (Welcom Software), среднего уровня – Time-Line (Symantec), Microsoft Project (Microsoft) и др.

Например, система Project Manager Workbench служит для одновременного управления различными проектами с оптимальным распределением ресурсов, помогает построить иерархическую структуру плана, сформировать несколько видов отчетов, описывающих расписания, расходы, контроль качества. С ее помощью контролируют общее использование ресурсов, составляют расписания разнохарактерных работ. В качестве ресурсов могут рассматриваться люди, финансовые средства, устройства.

Интеграция данных на ранних этапах развития систем PDM связывалась только с организацией сквозного проектирования изделий в рамках конкретной САПР. В настоящее время в связи с развитием

CALS-технологий основным содержанием проблемы интеграции стало обеспечение интерфейса САПР с другими АС. Проблема решается с помощью поддержки типовых форматов, например, путем конвертирования данных из общепринятых форматов во внутренние представления конкретных САПР через стандартные интерфейсы взаимодействия (рис. 7).

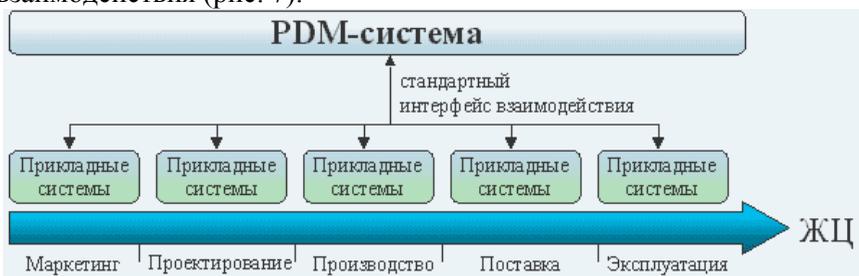


Рис. 7. Общая структура PDM-системы

В CALS-технологиях взаимодействие систем основано на стандартах STEP, поэтому в ряде PDM имеются конверторы из предложенного в STEP языка Express. В стандарте STEP введен прикладной протокол AP208, представляющий собой информационную модель, относящуюся к управлению процессами изменений в жизненном цикле изделий. В соответствии с AP208 внесению изменений предшествуют идентификация событий (недостатков), требующих внесения изменений, установление вызвавших их причин и определение лиц, вносящих изменения.

Среди других форматов данных обычно используют IGES, DXF, VRML, SAL, EDIF, текстовые и графические форматы и т. д.

Предусматривается возможность адаптации САПР к конкретным условиям с помощью языков расширения. Язык расширения – язык программирования, позволяющий адаптировать и настраивать системную среду на выполнение новых проектов. Язык расширения должен обеспечивать доступ к различным компонентам системной среды, объединять возможности базового языка программирования и командного языка, включать средства процедурного программирования. Для большинства языков расширения базовыми являются Lisp или C.

Примерами таких языков могут служить язык Skill из Design Framework-2 фирмы Cadence и язык CCL (CASE Comment Language) фирмы Matra Datavision, являющиеся Lisp-подобными, или язык AMPLE из PDM Falcon Framework фирмы Mentor Graphics, базирующийся на языках C и Pascal.

## Примеры систем PLM и PDM

Многие известные системы PDM создавались фирмами, специализировавшимися на разработке САПР или АСУ. Примерами таких PDM, разработанных в свое время с ориентацией на конкретные САПР или АСУ, являлись системы iMAN (Unigraphics Solutions), Optegra (Computervision), ProPDM (PTC), Euclid Design Manager (Matra Datavision), BaanPDM (BAAN) и др. Ряд других систем PDM разрабатывались независимо от конкретных САПР или АСУ, такие, как системы ENOVIA (IBM/Dessault), PDM StepSuite (НПО «Прикладная логистика»), Party Plus (Люция Софт), AppiusPDM (Appius).

В настоящее время основные разработчики САПР в машиностроении считают целесообразным предлагать комплексные системы PLM, в состав которых входят модули как CAD/CAM/CAE, так и PDM.

Так, компания Dessault Systemes создает систему ENOVIA на базе приобретенной PDM ProductManager. Система ENOVIA предназначена для моделирования и управления данными об изделиях, процессах и ресурсах на различных этапах жизненного цикла промышленной продукции от концептуального проектирования до эксплуатационного обслуживания. Это распределенная на базе Web-технологий система управления данными, способствующая интеграции систем проектирования, производства и управления внутри предприятия и позволяющая отдельным фирмам объединяться в виртуальные предприятия. Управление проектами и изменениями данных, их распределение, интерфейс с системами ERP – далеко не полный перечень функций этой системы.

Кроме системы ENOVIA, IBM/Dessault развивает систему SmartTeam. В базовый комплект системы SmartTeam входят модуль создания и редактирования моделей, СУБД (Interbase или Oracle), визуализатор, модуль сопряжения с различными САПР (в список входят SolidWorks, MDT, Inventor, Microstation, Solid Edge, AutoCAD 14). Базовый комплект может расширяться путем добавления модулей

документооборота, интеграции с ERP, SCM и CRM-системами, взаимодействия с партнерами через Internet и др.

Создаваемая в среде SmarTeam, информационная модель объекта состоит из двух частей. Одна часть служит для описания состава изделия (в виде дерева), его структуры (в виде файлов с данными о сборках), геометрии и материала деталей. Другая часть содержит данные о технологических процессах изготовления объекта в виде дерева операций и переходов и автоматически формируемой технологической документации.

Компания Umgraphics Solution осуществляет преобразование систем iMAN и Metaphase в новую систему PDM Teamcenter. В этой PDM имеются подсистемы управления данными на стадиях проектирования и производства.

Компания PTC располагает двумя системами PDM – это Pro/Intralink и более современная Windchill. Система Windchill основана на использовании Internet и Web-технологий для информационного взаимодействия многих предприятий. Windchill охватывает все этапы проектирования, выполняет функции, которые присущи системам документооборота, управления проектами, конфигурацией и изменениями проектных данных. Имеются возможности планирования и моделирования производственных и логистических процессов.

В SolidWorks используется PDM/Works, в SolidEdge – заимствованная система управления документами SharePoint Portal Server.

Российская компания Аскон предлагает оригинальную PLM-систему Лоцман, реализуемую в виде трехзвенной системы распределенных вычислений.

Компания «Топ Системы» предлагает систему TFlex DOCs, ориентированную, в первую очередь, на работу с программными пакетами серии TFlex этой же фирмы.

## Выгоды от использования PDM-системы

Основной выгодой от использования на предприятии PDM-системы является сокращение времени разработки изделия, т. е. сокращение времени выхода изделия на рынок и повышение качества изделия.

Сокращение времени выхода на рынок достигается в первую очередь за счет повышения эффективности процесса проектирования изделия, которое характеризует четыре аспекта:

1. Избавление конструктора от непроизводительных затрат своего времени, связанных с поиском, копированием и архивированием данных, что при работе с бумажными данными составляет 25–30 % его времени;

2. Улучшение взаимодействия между конструкторами, технологами и другими участниками ЖЦ изделия за счет поддержки методики параллельного проектирования, что приводит к сокращению количества изменений изделия;

3. Значительное сокращение срока проведения изменения конструкции изделия или технологии его производства за счет улучшения контроля за потоком работ в проекте;

4. Резкое увеличение доли заимствованных или слегка измененных компонентов в изделии (до 80 %) за счет предоставления возможности поиска компонента с необходимыми характеристиками.

## Изготовление прототипов и оснастки

В условиях быстрой сменяемости объектов производства и острой конкурентной борьбы за рынок сбыта задача изготовления прототипа в сжатые сроки становится все более актуальной. Современные технологические средства позволяют эффективно решить эту задачу, не прибегая к традиционным методам, связанным с механической обработкой материалов. Изготовление прототипов осуществляется по САД-данным. В качестве исходных данных используется трехмерная математическая модель, представленная в формате STL.

Методы быстрого создания прототипов начали разрабатываться относительно недавно и позволяют решать проблемы, связанные с традиционными методами макетирования. В настоящий момент используется достаточно большое количество методов быстрого создания прототипов, каждый из которых обладает своими сильными и слабыми сторонами. Наибольшее преимущество современных технологий быстрого прототипирования – время создания детали. Детали, на создание которых раньше уходили недели и месяцы, сегодня могут быть созданы как физические объекты в течение нескольких дней или в некоторых случаях нескольких часов. Обратная сторона данных технологий – материал. Он не является материалом серийной детали или, как минимум, имеет отличия по механическим и химическим свойствам. Это влияет на возможность использования прототипов, полученных с использованием технологий быстрого прототипирования, в функциональном тестировании. Например, прототип, выполненный по технологии SLA, не может быть использован в горячей среде, так как имеет низкую температурную устойчивость.

### Технология быстрого прототипирования

Быстрое прототипирование (Rapid Prototyping – RP) – это процесс послойного построения физической модели (прототипа) в соответствии с геометрией САД-модели. Основное отличие этой технологии от традиционных методов изготовления моделей заключается в том, что модель создается не отделением «лишнего» материала от заготовки, а послойным наращиванием материала, составляющего мо-

дель, включая входящие в нее внутренние и даже подвижные части. Модели, выполненные по технологиям RP, могут изготавливаться из различных материалов (в зависимости от применяемой в оборудовании технологии): из пластиков, жидких смол, специальных порошков, различных листовых материалов (бумаги, алюминия и др.). Процессы построения в значительной степени автоматизированы и позволяют получать качественные и сравнительно недорогие модели, затрачивая на их изготовление часы, а не дни и недели, как это было при использовании традиционных методов. Технологии, предоставляющие такие уникальные возможности, были сразу востребованы и взяты на вооружение многими промышленными предприятиями. Технологии RP обеспечили этим предприятиям значительную экономию времени и денежных средств, затрачиваемых на подготовку изделия к производству. Они позволили существенно сократить сроки и стоимость дизайнерских и конструкторских работ, работ по изготовлению технологической оснастки, а также повысить качество выпускаемой продукции.

Впервые технология RP была реализована в конце 80-х годов, когда американская компания 3D Systems вывела на рынок свою первую установку SLA (Stereo Lithography Apparatus), создающую модели методом послойного отверждения фотополимера воздействием луча лазера. Начиная с этого времени, различные фирмы принимали участие в разработке оборудования для прототипирования: одни из них усовершенствовали метод, разработанный 3D Systems, другие предложили свои оригинальные и эффективные технологии. В качестве примера можно привести американскую компанию Stratasys Inc., предложившую в 1992 году технологию FDM (Fused Deposition Modeling): построение модели путем послойной укладки разогретой полимерной нити. Модели-прототипы, выполненные по этой технологии, отличаются хорошим сочетанием прочности и точности изготовления.

Но вместе с преимуществами, которыми обладают RP-технологии, у них есть и ряд недостатков. Вследствие того, что их принцип состоит в послойном построении модели, возникает необходимость в создании специальных поддерживающих элементов (поддержек) для выступающих (или нависающих) частей модели. Во-первых, это увеличивает время, затрачиваемое на подготовку процесса построения модели, так как программное обеспечение рассчи-

тывает, где необходимо поместить поддержку. Во-вторых, после окончания построения следует трудоемкий процесс тщательного отделения материала поддержки от тела модели. Это неизбежно сопровождается риском (зачастую не зависящим от опыта работников, осуществляющих этот процесс) повреждения модели и, как правило, даже при положительном исходе требует последующей обработки поверхности. В-третьих, необходимость использования поддержек и трудности в их последующем удалении могут наложить некоторые ограничения на свободу конструирования изделия.

К недостаткам RP-оборудования также можно отнести и использование в некоторых из них дорогостоящих и не всегда безопасных технологий (например, лазеров, химических процессов и т. п.).

Технологии принято подразделять (рис. 8) по типу расходных материалов (жидкие, порошкообразные и листовые твердотельные).

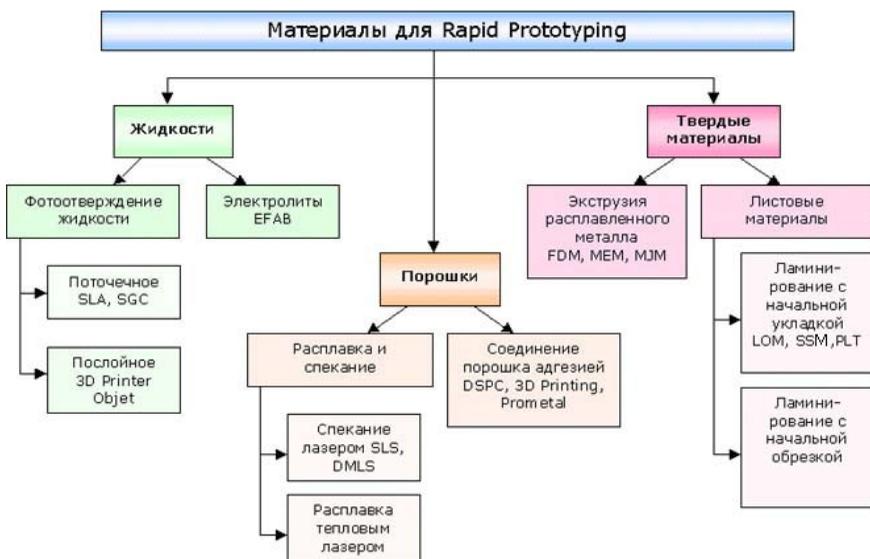


Рис. 8. Классификация технологий быстрого прототипирования

Процессы, использующие жидкие расходные материалы, подразделяются, в свою очередь, на процессы отверждения посредством контакта с лазером, отверждения электрoзаряженных жидкостей или отверждения предварительно расплавленного материала.

Процессы, использующие порошкообразные материалы, осуществляют скрепление частиц посредством воздействия лазером или выборочного нанесения связующих компонентов.

Процессы, использующие в качестве расходных материалов твердотельные листовые, могут быть классифицированы по способу их соединения – лазером, либо слоем адгезива (клея).

## Технология быстрого изготовления оснастки

В промышленности долго не было определения систем быстрого изготовления оснастки (Rapid Tooling – RT). В самом широком смысле – это любой метод или технологии, позволяющая быстро изготовить оснастку. Термин «быстрое изготовление оснастки» является продолжением RP-технологий. Следовательно, RT означает «RP-управляемую оснастку», ключ к быстрому производству.

Существует две разновидности в изготовлении оснастки. Первая – основывается на методе быстрого прототипирования, например литье по выжигаемым моделям. Вторая – RP-машина напрямую формирует объект, например технология Laser Engineered Net Shaping (LENS) компании Optomec.

Обычно задачи Rapid Tooling (рис. 9) классифицируются по способу получения формообразующих частей оснастки и технологиям получения самих деталей в этой оснастке. (Напомним, что речь идет о технологиях, исключая традиционное ЧПУ – фрезерование и электроэрозионную обработку).

Непрямой метод основан на получении оснастки с применением инструмента второго порядка. Обычно в качестве этого инструмента второго порядка выступает тот же самый прототип, полученный одним из методов быстрого прототипирования. С его помощью задают поверхность формообразующих частей оснастки. Наибольшее распространение получили:

– *эластичные (силиконовые) формы*, наилучшим образом подходящие для получения 20–50 отливок («soft tooling»). Наиболее часто используется для копирования полиуретановых деталей и восковых заготовок;

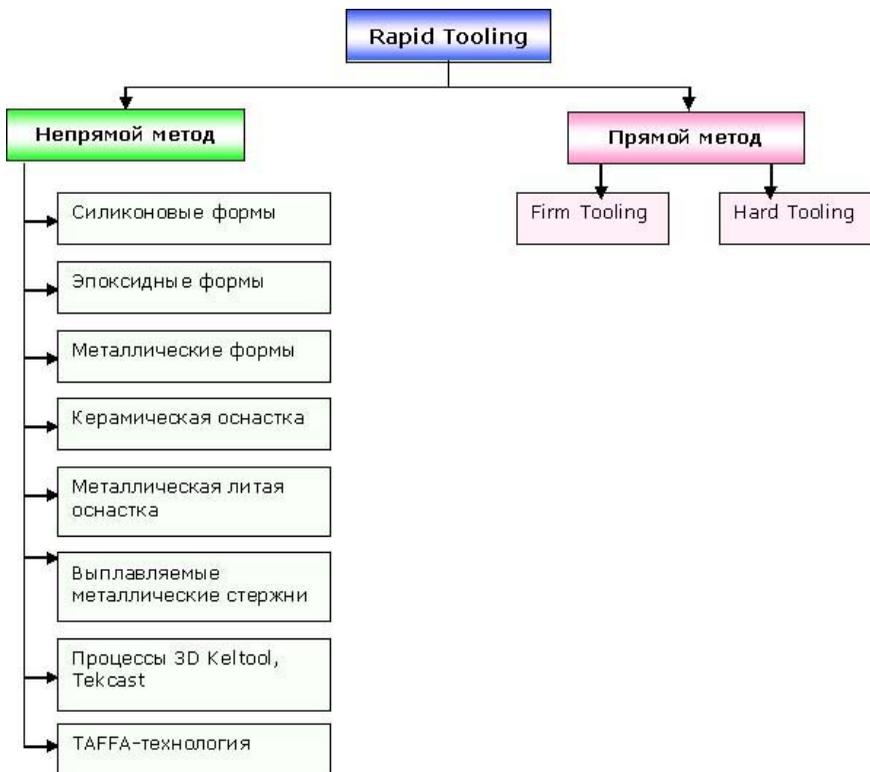


Рис. 9. Классификация технологий быстрого изготовления оснастки

– *эпоксидные формы*, имеющие значительно более широкую номенклатуру применения: пресс-формы для литья под давлением, пресс-формы для литья по технологии RIM, формовочные модели и стержневые ящики для металлургии, восковые модели для литья по выплавляемым моделям, штампы для обработки давлением листовых материалов, оснастка для термо/вакуумформования и т. д.;

– *металлические формы*, полученные методом поверхностного нанесения (напыления, осаждения). Результатом является никелевый или цинковый формообразующий слой, укрепляемый впоследствии различными инженерными способами. Наибольшее распространение получили в изготовлении пресс-форм для литья под давлением пресс-формы для литья по технологии RIM. Стойкость оснастки может достигать 10 000 съемов;

– *керамическая оснастка*, когда вместо эпоксидных композиций для получения формообразующих частей может быть использован керамический состав. Применяется для различных технологий получения пластиковых/пластмассовых деталей, при листовой штамповке металлов, а также литье металлов. Данная технология дополняет напыленную металлическую, где напыление/осаждение металлов технически трудновыполнимо;

– *металлическая оснастка (литая)* – один из самых старых способов, подразумевающий получение формообразующих частей методом литья по выплавляемым моделям либо центробежным литьем. Сегодня практически любая RP-технология позволяет получить инструмент второго порядка (технологические модели) для данного процесса. Разработаны специальные установки для литья по выплавляемым моделям в вакууме;

– *выплаваемые металлические стержни* используются для оформления внутренних поверхностей полых деталей (коллекторов, воздухопроводов и т. д.) Это безусадочные безугарные сплавы, имеющие температуру плавления 90...150 °С. Благодаря своей теплоемкости и теплопроводности вставки, заложенные в пресс-форму для оформления внутренних полостей, не теряют своей геометрии. После получения пластиковой детали данные вставки выплавляются под действием продолжительного высокотемпературного воздействия. Материал пригоден для 100 %-го повторного использования;

- *процесс 3D Keltool™* – технология данного процесса подразумевает использование силиконовой формы как промежуточного технологического этапа. Силиконовая форма заполняется смесью стальной пудры, карбида вольфрама и полимерной пудры со средним размером частиц 5 нанометров. Полимерная пудра выступает в качестве связующего вещества стальных частичек. В последующем, с помощью процесса инфильтрации, пластиковый связующий компонент заменяется на медный. Рекламные материалы информируют о возможности достижения стойкости оснастки в 1 000 000 циклов.

На сегодняшний момент в России наибольшее распространение и известность получили технологии тиражирования в силиконовых формах, эпоксидная оснастка в различных технологиях и металлические формы, полученные методом поверхностного нанесения, известная также как *ТАFFА-технология*.

Прямой метод основан на получении формообразующих частей оснастки непосредственно из компьютерных математических моделей. Согласно зарубежной классификации принято разделять «прямые методы» на 2 группы:

– *Firm tooling*. Это менее дорогие и более короткие по времени процессы, используемые на этапах доработки продукции и подготовки производства, когда изменения объекта производства не влекут за собой значительных объемов инженерной переработки. Данная инструментальная оснастка обычно заполняет разрыв между "soft tooling" и "hard tooling" и применяется для получения от 50 до нескольких сотен отливок с использованием тех же материалов, что и в основном традиционном производстве. К ним относятся: Direct AIM (3D Systems), Copper PA Tooling (DTM), SandForm Tooling (DTM), Direct Cronning Process (EOS), Tooling in Polimer LOM, 3DP Ceramic Shells (MIT);

– *Hard tooling*. Методы получения формообразующих частей предпроизводственной и производственной инструментальной оснастки средней и большой серийности. Развиваемые в данный момент технологии "Hard Tooling" основаны на спекании порошкообразных металлов (сталь, чугун или медь) с последующей инфильтрацией медью или бронзой. К ним относятся: Keltool (3D Systems), RapidTool (DTM), EOSINT Metall (EOS), Three-Dimensional Printing of metal parts (Soligen).

## Виртуальные предприятия

Виртуальное предприятие – это сетевая, компьютерно-опосредованная организационная структура, состоящая из неоднородных взаимодействующих агентов, расположенных в различных местах. Автор термина «виртуальное предприятие» – один из ведущих менеджеров фирмы DEC Дж. Хоплэнд.

Агенты виртуального предприятия разрабатывают совместный проект (или ряд взаимосвязанных проектов), находясь между собой в отношениях партнерства, кооперации, сотрудничества, координации и т. п. Поэтому создание виртуального предприятия связано с интеллектуальным моделированием взаимодействия сложных, неоднородных, отстоящих друг от друга агентов.

Виртуальное предприятие создается путем отбора требующихся человеческих, организационно-методических и технологических ресурсов различных предприятий и их компьютерной интеграции, приводящей к формированию гибкой, динамичной организационной структуры, наиболее приспособленной для скорейшего выпуска новой продукции и её оперативной поставки на рынок. В таком предприятии осуществляется интенсивное взаимодействие специалистов и подразделений различных предприятий с помощью новейших информационных и коммуникационных технологий. Это взаимодействие призвано повысить уровень кооперации и координации партнеров, а в конечном итоге, конкурентоспособность производимой ими продукции.

Понятие виртуального предприятия является полностью ориентированным на заказчика, так как его основные характеристики – быстрота выполнения заказа (minimal time-to-market) и полнота удовлетворения потребностей клиента. Создание виртуального предприятия означает интеграцию уникального опыта, производственных возможностей и передовых технологий ряда предприятий-партнеров вокруг некоего проекта, который они не могут выполнить в отдельности. Упрощенно функционирование виртуального предприятия можно представить в виде схемы на рис.10.

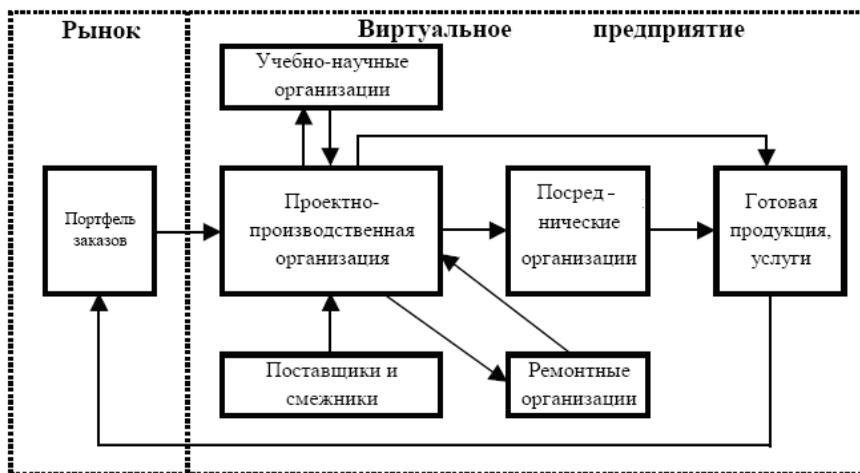


Рис. 10. Схема виртуального предприятия

Необходимо отметить, что создание виртуального предприятия требует решения ряда задач таких, как:

- выбор критериев и оценка эффективности предприятий при их отборе для участия в виртуальном предприятии;
- выбор оптимального проектного решения по разработке маршрутных технологических процессов изготовления гаммы изделий;
- определение оптимальной производственной структуры виртуального предприятия для разработки, изготовления и продвижения на рынок конкурентоспособного изделия и др.

Виртуальное предприятие должно обеспечивать реализацию всего производственного цикла изделия. При этом портфель заказов может изменяться в короткие сроки так же, как и состав участвующих в его выполнении организаций. Поэтому организация производства виртуального предприятия требует наличия специальной инфраструктуры. Типичная инфраструктура виртуального предприятия, получившая широкое распространение в зарубежной практике, включает в себя следующие основные составляющие: сеть Internet/Intranet, международный стандарт STEP (Standard for the Exchange of Product model data) для обмена данными по моделям продукции и стандарт на взаимодействие прикладных программ CORBA (Common Object Request Broker Architecture). При этом прикладные программы, пред-

ставленные в стандарте CORBA, могут использовать данные, получаемые через Internet в формате STEP. При создании общей инфраструктуры язык IDL, применяемый в CORBA, объединяется с языком описания данных EXPRESS, используемом в стандарте STEP.

Здесь IDL описывает интерфейсы работы с прикладными программами, а объектно-ориентированный язык EXPRESS служит для получения нормализованных моделей данных.

Таким образом, основой инфраструктуры является World Wide Web Server, содержащий протоколы коммуникации для организации данных и обеспечения доступа к ним через Internet. Стандарт STEP позволяет осуществлять обмен данными по различным моделям продукции, что дает возможность другим приложениям понимать семантику производственной информации. С его помощью строятся нормализованные объектные модели, называемые информационными моделями и служащие для производственных приложений. В свою очередь, открытая спецификация CORBA обеспечивает применение совместных ресурсов путем поддержки обмена сообщениями между объектами или агентами сети (например, многократно используемыми программами, составляющими приложение «клиент-сервер» в распределенной среде). CORBA-совместимые брокеры объектных запросов не зависят от вида платформы и могут использоваться с различными операционными системами.

## Заключение

В учебном пособии были кратко рассмотрены информационные технологии, применяемые в настоящее время на производственных предприятиях различного масштаба. Проведен анализ построения таких систем, рассмотрены функции, возлагаемые на различные модули. Указаны перспективы развития информационных систем.

Рассмотрены и классифицированы системы и методологии, позволяющие построить автоматизированные системы управления предприятия и обеспечить информационную поддержку изделия на протяжении жизненного цикла в соответствии с CALS-технологиями.

Особое внимание уделено программным пакетам, обеспечивающим информационную поддержку для радиоэлектронных изделий. Дана их классификация, рассказано об основных выполняемых функциях.

Таким образом, после изучения учебного пособия студенты будут иметь возможность обоснованно выбирать САПР в соответствии с требуемыми функциями, понимать принципы построения таких систем, предьявлять место этих систем в жизненном цикле изделия.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования / И. П. Норенков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006.
2. Кунву, Ли. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / Ли Кунву. – СПб. : Питер, 2004.
3. Норенков, И. П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И. П. Норенков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002.
4. Амосов, В. В. Схемотехника и средства проектирования цифровых устройств / В. В. Амосов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007.
5. Разевиг, В. Д. Проектирование печатных плат в P-CAD 2001 / В. Д. Разевиг. – Солон-Пресс, 2003.
6. Талалай, П. Компас-3D V9 на примерах / П. Талалай. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008.
7. Кудрявцев, А. М. Проектирование печатных плат в системах P-CAD 2000-2002 / А. М. Кудрявцев, А. В. Лопаткин. – М. : Изд-во САЙНС-ПРЕСС, 2006.
8. Разевиг, В. Д. Система проектирования печатных плат ACEL EDA (P-CAD для WINDOWS) / В. Д. Разевиг. – М. : СК Пресс, 1997.
9. Грэхам Гари, Pro/ENGINEER 2001 (Inside Pro/ENGINEER 2001) / Гари Грэхам, Деннис Стеффен. – Лори, 2003.
10. Основы современных компьютерных технологий: учеб. пособие // Под ред. А. Д. Хоменко – СПб. : Корона прин, 1998.
11. Разевиг, В. Д. Система проектирования электронных устройств Design Lab 8.0 / В. Д. Разевиг. – М. : СК Пресс, 1999.
12. Романычева, Э. Т. Дизайн и реклама. Компьютерные технологии / Э. Т. Романычева. – ДМК, 2000.
13. Романец, Ю. В. Защита информации в компьютерных системах и сетях / Ю. В. Романец, П. А. Тимофеев, В. Ф. Шаньгин. – М. : Изд-во Радиосвязь, 1999.
14. Романычева, Э. Т. AutoCAD : практ. руководство. Изд. 2-е, стер. / Э. Т. Романычева. – М. : ДМК, 1998.
15. Калянов, Г. Н. CASE. Структурный системный анализ (автоматизация и применение) / Г. Н. Калянов. – М. : Лори, 1996.

16. Новоженев, Ю. В. Объектно-ориентированные технологии разработки сложных программных систем / Ю. В. Новоженев; под ред. Е. Г. Ойхмана. – М. : Лори, 1996.
17. Панфилов, Д. И. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: практикум на Electronics Workbench: В 2-х т. / В. С. Иванов, И. Н. Чепурин; под общей ред. Д. И. Панфилова. – М. : ДОДЭКА, 1999.
18. Энсор, Д. Oracle. Проектирование баз данных / Д. Энсор. – ВНУ-Киев, 1998.
19. CALS. Поддержка жизненного цикла продукции: Руководство по применению. – М. : Министерство экономики РФ; ГУП "ВИМИ", 2000.
20. ТРЕЙС МОУД – графическая инструментальная система для разработки АСУ. Версия 5.0: Руководство пользователя. – М. : AdAstra Research Group, Ltd, 1998.
21. Бурков, В. Н. Как управлять проектами : науч.-практ. изд. / В. Н. Бурков. – М. : Синтег, 1997.
22. <http://ru.wikipedia.org>
23. <http://multitrans.ru>
24. <http://www.apm.ru>
25. <http://www.sapr.ru/>
26. <http://www.rpm-novation.com/>
27. <http://ascon.ru/>
28. <http://www.tflex.ru/>
29. <http://www.autodesk.ru>
30. <http://appius.ru/>

## Список сокращений

2D	Two Dimension	Двухмерная (графика)
3D	Three Dimension	Трёхмерная (графика)
4GL	Four Generation Language	Язык программирования четвёртого поколения
ACIS		Графическое ядро, используемое фирмой Autodesk
ANSI	American National Standards Institute	Американский национальный институт стандартов
API	Application programming interface	Прикладной интерфейс программирования
APT	Automatically Programmed Tools	Инструменты автоматизированного программирования (для станков с ЧПУ)
ASIC	Application-Specific Integrate Circuits	Полузаказная интегральная микросхема
B2B	Buisness-To-Buisness	Взаимодействие между организациями
B2C	Buisness-To-Consumer	Взаимодействие между организацией и клиентом
BIST	Buid-In Self-Test	Встроенные модули самотестирования
BMP	Bit MaP	Растровый формат хранения изображений
BOM	Bill Of Materials	Список материалов и элементов в изделии
BPR	Business process reengineermg	Реинжиниринг бизнес-процессов
BS	Boundary-scan	Граничное сканирование
CAD	Computer Aided Design	Система автоматизированного проектирования
CAE	Computer Aided Engeneeing	Система автоматизированного конструирования
CALS	Continuous acquisition life-cycle support	Информационная поддержка на протяжении жизненного цикла

CAM	Computer Aided Manufacturing	Автоматизированное производство
CASE	Computer-Aided Software Engineering	Система автоматизированной разработки программ
CIF	Caltech Intermediate Format/ Common Interface Format	Форматы обмена данными
COM	Common Object Model	Объектная модель программных компонентов
CORBA	Common Object Request Broker Architecture	Обобщённая архитектура обработчика объектных запросов
CPLD	Complex Programmable Logic Device	Программируемая логическая схема, базовый матричный кристалл
CRM	Consumer Relationship Management	Управление взаимоотношениями с клиентами
DCOM	Distributed COM	Распределенная объектная модель программных компонентов
DDE	Dynamic data exchange	Динамический обмен данными
DSP	Digital Signal Processor	Цифровой сигнальный процессор
DSS	Decision Support Systems	Поддержка принятия решения
DXF	Autocad Data eXchange Format	Формат обмена данными между САПР, разработанный фирмой Autodesk
ECAD	Electronics CAD	Электронные САПР
EDA	Electronics Design Automation	Автоматизация проектирования электронных устройств
EDIF	Electronic Design Interchange Format	Формат обмена данными между электронными САПР
ERP	Enterprise resource planning	Планирование ресурсов предприятия

FEA	Finite elements analysis	Конечно-элементный анализ
FPGA	Field Programmable Gate Array	Программируемые вентильные матрицы
HDL	Hardware Design Language	Язык проектирования аппаратуры
IDEF	Integration Definition Method	Стандарты описания систем (в виде диаграмм)
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers	Институт инженеров-электронщиков
IGES	Initial Graphics Exchange Specification	Спецификация обмена графическими примитивами
IP	Intellectual Products	Интеллектуальные продукты
ISO	International Organization for Standards	Международная организация по стандартам
IETM	Interactive electronic technical manuals	Интерактивные электронные технические руководства
MCAD	Mechanical CAD	Машиностроительные САПР
MRP	Manufacturing Resources Planning	Планирование потребности материалов
ODBC	Open Data Base Connection	Соединения между открытыми базами данных
OLAP	On-Line Analytical Processing	Технология комплексного многомерного анализа данных
OLE	Object Linking and Embedding	Связывание и внедрение объектов
PDFIF	PCAD Data interchange format	Формат обмена данными между электронными САПР
PDM	Product Data Management	Управление данными об изделии

PLM	Product Lifecircle management	Управление жизненным циклом изделий
RDF	Resource Description Framework	Кадр описания ресурсов
RF	Radio Frequency	Устройства радиочастотного диапазона
RIM	Reaction injection molding	Заливка материала в форму под давлением методом впрыска
RP	Rapid Prototyping	Быстрое прототипирование
RPC	Remote procedure call	Удалённый вызов процедур
RT	Rapid Tooling	Быстрое изготовление оснастки
RTL	Register Transfer Level	Уровень регистровых передач
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	Система диспетчерского контроля и сбора данных (СКАДА-система)
SCM	Supply Chain Management	Управление цепочками поставок
SDAI	Standard Data Access Interface	Интерфейс для доступа к стандартным данным
SGML	Standard Generalized Markup Language	Стандартный обобщенный язык разметки
SOAP	simple object access protocol	Простой протокол для доступа к объектам
SoC	System-on-Chip	СБИС типа «система на кристалле»
STEP	Standard for Exchange of Product data	Стандарт обмена данными изделия
TIFF	Tagged Image File Format	Растровый формат хранения изображений
TQM	Total Quality Management	Всеобщий контроль качества
UML	Unified Modelling Language	Унифицированный язык моделирования

URI	Uniform resource identifier	Унифицированный идентификатор ресурса
URL	Universal Resource Locator	Унифицированный указатель ресурса
VHDL	VHSIC hardware design and description language	Язык для разработки и описания VHSIC-аппаратуры
XML	eXtended Markup Language	Расширяемый язык разметки

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
История развития САПР в машиностроении .....	5
Основные функции и проектные процедуры, реализуемые в ПО САПР .....	12
Программное обеспечение.....	16
Системы автоматизированного проектирования в радиоэлектронике .....	22
Автоматизация проектирования СБИС и радиоэлектронной аппаратуры .....	22
Автоматизация схмотехнического моделирования .....	32
Проектирование печатных плат .....	34
Автоматизированные системы управления.....	36
Типы производства и стратегии позиционирования изделий.....	37
Системы ERP .....	38
Автоматизация управления технологическими процессами .....	41
Информационная поддержка этапов жизненного цикла изделий .....	46
Предпосылки и причины появления CALS-технологий .....	46
Обзор CALS-стандартов .....	48
Стандарты управления качеством промышленной продукции .....	56
Стандарт STEP.....	62
Интеллектуальные средства поддержки принятия решений .....	64
Программное обеспечение CALS-технологий.....	65
Защита информации в корпоративных системах.....	69
Основные функции систем PDM.....	71
Примеры систем PLM и PDM .....	76
Выгоды от использования PDM-системы .....	77
Изготовление прототипов и оснастки.....	79
Технология быстрого прототипирования.....	79
Технология быстрого изготовления оснастки.....	82
Виртуальные предприятия.....	86
Заключение .....	88
Список источников.....	89
Список сокращений.....	91