

Курс лекций к дисциплине
Системы
автоматизированного
проектирования
технологических процессов
(САПР ТП)

Лектор, преподаватель:

к.т.н., доцент

Уразбахтина Анжелика Юрьевна

Введение

Применение математических методов и ЭВМ при проектировании способствует повышению технического уровня и качества проектируемых объектов, сокращению сроков разработки и освоения их в производстве. Автоматизация проектирования особенно эффективна, когда от автоматизации выполнения отдельных инженерных расчетов переходят к комплексной автоматизации, создавая для этой цели системы автоматизированного проектирования (САПР).

При создании САПР ТП различают два подхода: с одной стороны – создание САПР в крупных, ведущих проектных и конструкторских организациях, а с другой – широкое распространение типовых расчетов, алгоритмов и программ в средних и заводских проектно-конструкторских организациях.

Возможность широко распространять в проектных организациях наиболее прогрессивные, а также типовые и стандартные методы расчетов, различные нормативные и справочные данные определяют высокую эффективность САПР ТП.

1 История развития САПР

1950-е гг

Под термином «САПР в машиностроении» в нашей стране обычно подразумеваются пакеты, выполняющие функции CAD/CAM/CAE/PDM, т. е. автоматизированного проектирования, подготовки производства и конструирования, а также управления инженерными данными.

Проектирование изделий машиностроения/ракетостроения заключается прежде всего в конструировании, т.е. в определении геометрических форм тел и их взаимного расположения. Поэтому история автоматизация проектирования в машиностроении связана с историей компьютерной графики и практически началась с создания первой графической станции.

В 1955...1959 г.г. – в Массачусетском технологическом институте (МТМ) под руководством доктора Росса была разработана система программирования АРТ, она давала возможность подготовки программ для станков с ЧПУ путем описания рабочего хода инструмента; в это же время и сформировался термин CAD – Computer Aided Design – проектирование с помощью компьютера. В настоящее время CAD – системы для автоматизированного выполнения чертежей.

1960-е годы

Среди первых работ по автоматизации проектирования технологических процессов нужно отметить создание языка АРТ (Automatic Programming Tools) в 1961 г. в США. Этот язык стал родоначальником многих других языков программирования для оборудования с числовым программным управлением. В СССР Г.К. Горанский создает программы для расчетов режимов резания в первой половине 1960-х годов. Станция Sketchpad с использованием дисплея и светового пера, представлена в 1963 г. И. Сазерлендом. В 1965 г. NASA для поддержки проектов, связанных с космическими исследованиями, ставит задачу разработки конечно-элементного программного пакета. К 1970 г. такой пакет под названием NASTRAN (NAsa STRuctural ANalysis) был создан и начал эксплуатироваться. Стоимость разработки, продолжавшейся 5 лет, составила 3-4 млн долларов.

В компании General Motors в 1960-х годах была разработана интерактивная графическая система подготовки производства, а в 1971-м ее создатель – доктор Патрик Хэнретти (его называют отцом САПР) – основал компанию Manufacturing and Consulting Services (MCS). По мнению аналитиков, идеи MCS составили основу почти 70% современных САПР. В 1967...1968 г.г. – в Англии в Кембриджском университете доктором Грау был разработан удобный способ хранения данных в компьютере, так появились первые базы данных (БД).

1970-е гг

В 1970-е годы стали применяться растровые дисплеи. В СССР в 1970-е годы В.Д. Цветков, Н.М. Капустин, С.П. Митрофанов и др. разрабатывают методы синтеза технологических процессов. В 1970...1977 г.г. – изобретен язык программирования высокого уровня FORTRAN для выполнения сложных инженерных расчетов; в 1970...1980 г.г. – широко используются чертежные автоматы (графопостроители) и автоматизированные системы при подготовке производства деталей типа «тело вращения». В разработках преобладали системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) и средств технологического оснащения (САПР СТО). Обобщение накопленного положительного опыта позволило НИИИМаш создать комплекс стандартов для Единой Системы Технологической Подготовки Предприятия (ЕСТПП) и Единой Системы Технологической Документации (ЕСТД). Эти стандарты закрепили достижения СССР по проблеме автоматизации технологической подготовки производства (ТПП) и сыграли серьезную роль в подготовке промышленных предприятий к переходу на широкое использование ЭВМ в ТПП.

1980-е гг

В начале 1980-х, когда вычислительная мощность компьютеров значительно выросла, вышли первые САМ-пакеты (Computer Aided Manufacturing – управление производством с помощью компьютера), позволяющие частично автоматизировать процесс производства с помощью программ для станков с ЧПУ, и САЕ-продукты (Computer Aided Engineering – инженерные расчеты с помощью компьютера), предназначенные для анализа сложных конструкций. В системах инженерных расчетов и анализа САЕ центральное место занимают программы моделирования полей физических величин, прежде всего это программы анализа прочности по методу конечных элементов (МКЭ).

К 1982 г. твердотельное моделирование начинают применять в своих продуктах компании Computervision, IBM, Prime и др., однако методы получения моделей тел сложной формы еще не развиты, отсутствует поверхностное моделирование. В начале 1982 г. появляется система Graphical Kernel System (GKS), задающая примитивы, сегменты и преобразования графических данных и ставшая стандартом в 1985 г. В 1983 году разработана техника создания 3D-моделей. С 1983 года концерн Крайслер (США) использовал САПР для моделирования испытаний автомобиля на прочность при столкновении с препятствием, что позволило уменьшить число опытных образцов автомобилей; с 1984 года на предприятиях концерна Форд (США) все внешние панели из листового материала для автомобиля разрабатывались с помощью графической САПР; с 1985 года фирмой MCS используется САПР со встроенной системой управления базами данных (СУБД).

1980-е гг

Эти годы отличаются большим количеством работ по проектированию локальных систем САПР, таких как системы проектирования технологии обработки на станках токарной группы, холодной штамповкой, на сверлильных и фрезерных станках. Для разработанных систем характерны большая сложность алгоритмов и программ, большой объем нормативно-справочной информации, которую необходимо хранить в памяти ЕС ЭВМ. Из-за высокой стоимости часа работы на ЕС ЭВМ стоимость спроектированных технологических процессов также оказывалась весьма высокой. Полиграфическое качество документов, выводимых на алфавитных цифровых печатающих устройствах, было весьма невысоким, что вызывало трудности с их размножением. Был осуществлен постепенный переход на СМ ЭВМ, что позволило организовать решение технологическим задач в режиме диалога и отказаться от ввода данных с помощью перфокарт и перфолент.

В 1983...1986 годах на КАМАЗе была разработана и внедрена система автоматизированного проектирования оборудования и сложной оснастки; созданы подсистемы «Кулачек», «Подшипник», «Передача», названия которых говорят сами за себя; в 1982...1988 г.г. в Институте атомной энергии им. Н.В. Курчатова разработана САПР машиностроительных изделий (КАПРИ), она представляла собой замкнутый автоматизированный цикл: научные исследования – опытное производство; в 1988 году на Запорожском ПО «Моторостроитель» применялись: САПР «Техпроцесс-18» для оформления маршрутно-операционной технологии в инструментальном производстве (годовой экономический эффект 22 тыс. руб., сокращены сроки разработки ТП в 1,5 раза, высвобождены 4 технолога); САПР «АВТОШТАМП-2» автоматизированного проектирования разделительных штампов и подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ (годовой экономический эффект 22 тыс. руб., трудоемкость проектирования снижена в 3...4 раза); САПР «ИНСТРУМЕНТ» с информационно-поисковой системой для хранения и подбора информации о параметрах режущего и мерительного инструментов (годовой экономический эффект 63,6 тыс. руб., трудоемкость проектирования снижена в 2 раза, за счет унификации инструмента сокращена его номенклатура на 20%, высвобождены 8 конструкторов); система планирования сменного задания на ЭВМ на основании месячного подетального плана участка, ежедневного пооперационного учета движения производства и выработки рабочих (годовой экономический эффект от 40 до 80 тыс. руб. по одному цеху).

В 1986 г. компания Autodesk выпускает свой первый САД-продукт Autocad. В 1987 г. разработан вариант GKS-3D с ориентацией на 3D графику. В этих системах используются графические форматы для обмена данными, обеспечивающими возможность запоминать графическую информацию единым образом, передавать ее между различными системами и интерпретировать для вывода на различные устройства. В 1988 г. создается аппаратура для прототипирования изделий с помощью лазерной стереолитографии по данным, получаемым в САД. Также в 1988 г. компания РТС впервые реализует параметризацию моделей. В 1989 г. основана компания Аскон. 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 г.

Недостаток систем был один: по данным Dataquest в начале 1980-х гг. стоимость одной лицензии САД/САМ/САЕ-системы доходила до \$90000. В 1980-х появились и начали использоваться графические рабочие станции компаний Intergraph, Sun Microsystems и автоматизированные рабочие места на компьютерах VAX под управлением ОС Unix. К концу 1980-х годов стоимость САД/САМ/САЕ-лицензии снизилась, примерно, до \$20000.

1990-е гг

Бурное развитие САПР происходило в течение 1990-х годов – появились механизмы твердотельного моделирования ACIS и Parasolid, которые сейчас используются во многих ведущих САПР. Появилась возможность использования рабочих станций на базе персональных ЭВМ, что заметно снизило стоимость внедрения САПР на предприятиях.

С 1990 года в России проводятся работы по созданию комплексных систем АСТПП, основанных на использовании единой системы кодирования и единого математического обеспечения. Однако изменение в 90-х годах экономической обстановки в России и отсутствие должной государственной поддержки не дали возможности быстро осуществить полноценный перевод САПР ТП на персональные ЭВМ и реализовать новые идеи, накопленные на основе анализа результатов функционирования промышленных САПР ТП. В период с 1991 по 1996 год, в силу специфики политической ситуации («перестройки»), Россия отстала по САД-технологиям от развитых промышленных стран на 10...20 лет [9, 10, 34, 37].

В 1992 году корпорация Intergraph, один из ведущих на тот момент производителей САД-систем для машиностроения, приняла решение о разработке нового программного продукта, целиком построенного на базе платформы Wintel. В 1993 г. в США создается компания Solidworks Corporation и уже через два года она представила свой первый пакет твердотельного параметрического моделирования Solidworks.

В результате в конце 1995 года появилась система геометрического моделирования Solid Edge (такое имя получила новая система). В 1998 году к Unigraphics перешло все отделение Intergraph, занимающееся САПР для машиностроения.

По оценке аналитической компании Daratech, в 1999 г. объем продаж систем САД/САМ/САЕ за год увеличился на 11,1%, в 2000-м – на 4,7%, в 2001-м – на 3,5%, а в 2002 г. – на 1,3%. Начиная с 1997 г., рабочие станции на платформе Wintel не уступают Unix-станциям по объемам продаж. Стоимость лицензии снизилась до нескольких тысяч долларов.

2000-е гг

В 2000-х на первый план вышли две основные тенденции – поглощения компаний и поиск новых направлений для роста. Яркий пример первой тенденции – покупка компанией EDS в 2001 г. двух известных разработчиков тяжелых САПР – Unigraphics и SDRС, а второй – активное продвижение концепции PLM (Product Lifecycle Management), подразумевающей управление информацией об изделии на протяжении всего его жизненного цикла. Начинается интеграция САD/САМ/САЕ-систем с системами управления проектными данными PDM (PDM – Product Data Manager – системы технического документооборота [15]) и с другими средствами информационной поддержки изделий. В 2000 г. САПР Компас осуществляет и 3D проектирование. В 2003 г. выпущена 6-я версия Компас и PDM система PLM (Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом изделия) Лоцман.

2010-е гг

В настоящее время в группе САПР (CAD-систем) помимо CAD, CAE, CAM, PDM, PLM продуктов выделяют:

- системы автоматизации проектирования технологических процессов (CAPP – Computer Automated Process Planning, здесь «Automated» – автоматический, «Process» – процесс, «Planning» – планировать, планирование, составление плана) [12]. В России эти системы принято называть САПР ТП или АС ТПП (автоматизированные системы технологической подготовки производства). С помощью этих систем разрабатывают технологические процессы и оформляют их в виде маршрутных, операционных, маршрутно-операционных карт, проектируют технологическую оснастку, разрабатывают управляющие программы (УП) для станков с ЧПУ. CAPP-системы могут генерировать технологические процессы, но только при условии предварительного специального описания изделия с помощью конструкторско-технологических элементов. Почти все творческие функции CAPP-системы перекладывают на инженера;
- системы производственного планирования и управления PPS (Produktions plaungs system), что соответствует отечественному термину АСУП (автоматизированная система управления производством, предприятием, цехом);
- системы управления качеством CAQ (Computer Aided Qulity Control). Здесь Qulity – качество, Control – управление. В России используется термин АСУК (автоматизированная система управления качеством) [9, 10].

Имеются также пакеты прикладных программ (ППП) для автоматизированного выполнения инженерных расчетов; информационно-поисковые системы (ИПС); системы автоматизированного проектирования инструмента (САПР И); программы роботизированного управления оборудованием.

Термин «САПР для машиностроения» (машиностроительные САПР) в нашей стране обычно используют в тех случаях, когда речь идет о пакетах программ для автоматизированного проектирования (CAD), автоматизации проектирования технологических процессов (CAPP), подготовки производства (CAM) и инженерного анализа (CAE).

1.2 Классификация САПР

Современные САПР сильно различаются и по назначению, и по возможностям, и по составу, и качеству применяемых средств автоматизации. Чтобы их различать, применять, оценивать, САПР как сложное изделие, классифицируют [9, 37, 34]. Классификация создает условия для разработки технически обоснованных норм обеспечения процесса создания, функционирования и стандартизации в области САПР.

Системы классифицируют по общим характеристикам, определяющим взаимодействие САПР как единого целого; по программным характеристикам и по отдельным особенностям программных решений; по техническим характеристикам, определяющим особенности используемых в САПР средств вычислительной техники и периферийного оборудования; по эргономическим характеристикам, оценивающим эффективность взаимодействия пользователя с программно-техническими средствами САПР; по экономическим эффектам от внедрения конкретной САПР.

Рассмотрим некоторые из них.

Классификация САПР по программному обеспечению:

- чертежные пакеты, предназначенные только для получения двухмерного электронного чертежа, т.н. «электронный кульман»;
- узкоспециализированные системы, в состав которых входит двухмерный графический редактор и несколько специализированных предметных приложений, позволяющих проводить требуемые инженерные расчеты и создавать пользовательские БД;
- широкопрофильные специализированные системы;
- универсальные САПР с элементами интеграции;
- полностью интегрированные САПР – системы будущего.

Классификация САПР по общим характеристикам:

- Программы «легкой» категории предназначены для автоматизации выпуска конструкторской и технологической документации, подготовки управляющих программ для 2.5-осевого оборудования с ЧПУ «по электронному чертежу». То есть для сокращения сроков выпуска документации, что позволяет сократить время разработки проектов, но не гарантируют проектировщиков от ошибок даже при полном соответствии документации ЕСКД и ЕСТД. Поэтому экономический эффект таких систем зависит от квалификации и размера зарплаты конструктора или технолога и от их навыков использования САПР.
- Системы среднего уровня позволяют создать объемную модель изделия, по которой контролируется взаимное расположение деталей, определяются инерционно-массовые, прочностные и прочие характеристики, моделируются все виды ЧПУ-обработки, отрабатывается внешний вид по фотореалистичным изображениям и выпускается документация. Кроме того, обеспечивается управление проектами на базе электронного документооборота. Экономический эффект состоит в многократном сокращении затрат на доводку опытных образцов изделий в результате исключения ошибок при проектировании.
- «Тяжелые» системы высшего уровня, кроме перечисленных функций, дают возможность конструировать детали с контролем технологичности и учетом особенностей материала (пластмасса, металлический лист), моделировать работу механизмов, проводить динамический анализ сборки с имитацией сборочных приспособлений и инструмента, проектировать оснастку с моделированием процессов изготовления (штамповки, литья, гибки), что исключает брак в оснастке и изготовление натуральных макетов, то есть значительно уменьшает затраты и время на подготовку производства изделия.

По поддержке трехмерного моделирования САПР различают:

- двумерные системы;
- трехмерные каркасные;
- трехмерные, с удалением скрытых линий;
- трехмерные, со светотеневой раскраской;
- трехмерные, с фотореалистическим отображением.

По характеру базовой подсистемы бывают:

- САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования. Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т.е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов. К этой группе систем относится большинство САПР в области машиностроения, построенных на базе графических ядер.
- САПР на базе СУБД. Они ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчетах перерабатывается большой объем данных. Такие САПР преимущественно встречаются в технико-экономических приложениях.
- САПР на базе конкретного прикладного пакета. Фактически это автономно используемые программно-методические комплексы (ПМК), например, имитационного моделирования производственных процессов, расчета прочности, синтеза и анализа систем автоматического управления и т.п. Примерами могут служить программы проектирования на базе математического пакета MathCAD или Matlab.
- Комплексные (интегрированные) САПР, состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов. Характерными примерами комплексных САПР являются САЕ/CAD/CAM-системы в машиностроении.

Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, также обуславливает разнообразие применяемых САПР.

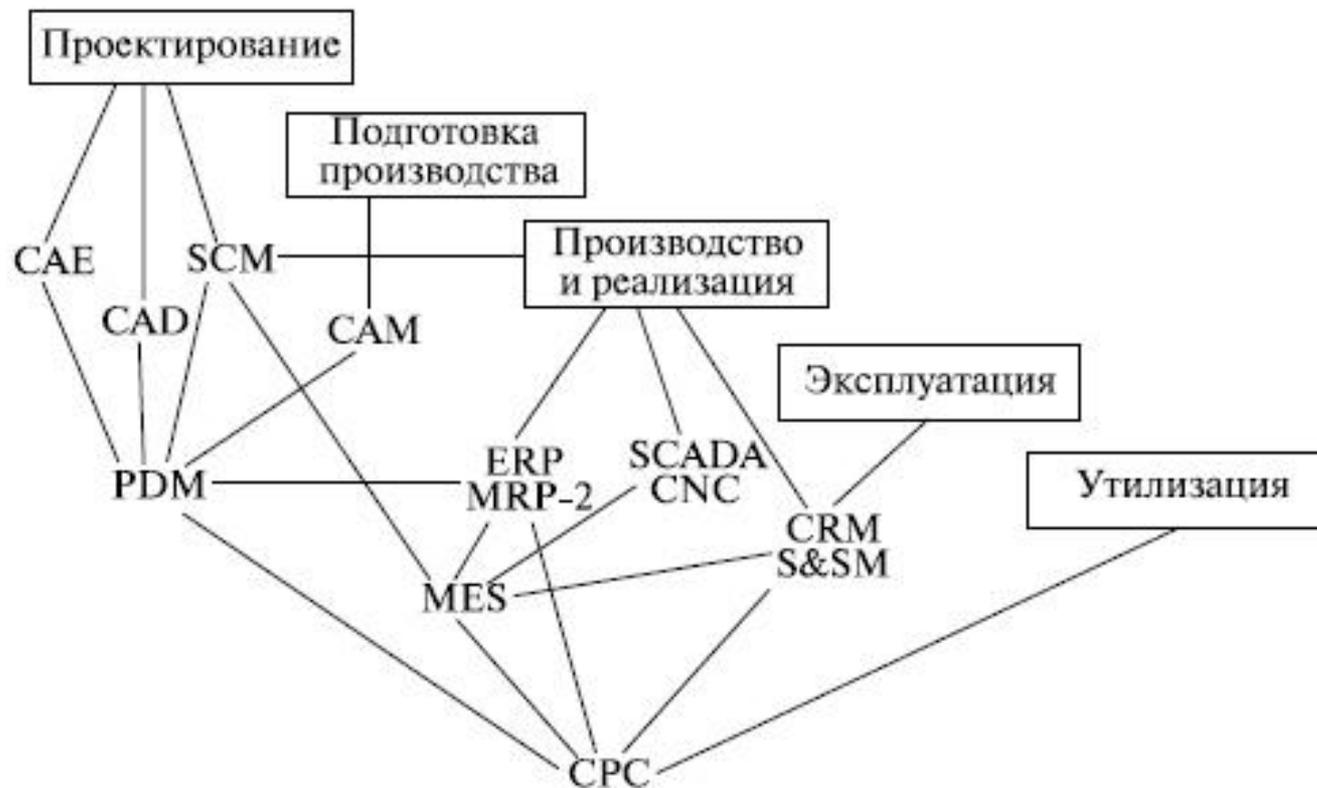


Рисунок – Этапы жизненного цикла промышленных изделий и используемые автоматизированные системы (АС)

В зависимости от уровня обслуживания производственных процессов на предприятии АС, САПР или их составная часть (подсистемы) могут быть отнесены к различным классам:

Класс *A*: системы (подсистемы) управления технологическими объектами и/или процессами. К этому классу и относятся САПР ТП.

- Объектами контроля и управления таких систем выступают: технологическое оборудование; датчики; исполнительные устройства и механизмы.

В качестве классических примеров систем класса *A* можно считать:

- SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерский контроль и накопление данных) для выполнения диспетчерских функций (сбор и обработка данных о состоянии оборудования и технологических процессов);
- DCS – Distributed Control Systems (распределенные системы управления);
- Batch Control – системы последовательного управления;
- АСУ ТП – Автоматизированные Системы Управления Технологическими Процессами.

Класс *B*: системы (подсистемы) подготовки и учета производственной деятельности предприятия – это системы (подсистемы) подготовки и учета производственной деятельности предприятия. Системы класса *B* предназначены для выполнения класса задач, требующих непосредственного участия человека для принятия оперативных (тактических) решений, оказывающих влияние на ограниченный круг видов деятельности или небольшой период работы предприятия. В некотором смысле к таким системам принято относить те, которые находятся на уровне технологического процесса, но с технологией напрямую не связаны.

В перечень основных функций систем (подсистем) данного класса можно включить:

- выполнение учетных задач, возникающих в деятельности предприятия;
- сбор, предварительную подготовку данных, поступающих в АС из систем класса *A*, и их передачу в системы класса *C*;
- подготовку данных и заданий для автоматического исполнения задач системами класса *A*.
- С учетом прикладных функций этот список можно продолжить следующими пунктами:
- управление производственными и человеческими ресурсами в рамках принятого технологического процесса;
- планирование и контроль последовательности операций единого технологического процесса;
- управление качеством продукции;
- управление хранением исходных материалов и произведенной продукции по технологическим подразделениям;
- управление техническим обслуживанием и ремонтом.
- Эти системы, как правило, имеют следующие характерные признаки и свойства:
- наличие взаимодействия с управляющим субъектом (персоналом), при выполнении стоящих перед ними задач;
- интерактивность обработки информации;
- небольшой длительностью обработки данных, колеблющейся от нескольких минут до несколько часов или суток;
- наличием существенных временных и параметрических зависимостей (корреляций) между обрабатываемыми данными;
- система оказывает влияние на ограниченный круг работ и видов деятельности предприятия;
- система оказывает влияние на небольшой период работы предприятия (в пределах от месяца до полугода);
- наличием сопряжения с системами класса *A* и/или *C*.

Классическими примерами систем класса *B* можно считать:

- MES – Manufacturing Execution Systems (система управления производством или исполнительная производственная система); системы MES ориентированы на решение оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом;
- MRP – Material Requirements Planning (системы планирования потребностей в материалах);
- MRP 2 – Manufacturing Resource Planning (системы планирования ресурсов производства); системы MRP-2 ориентированы, главным образом, на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством;
- CRP – Computing Resource Planning (система планирования производственных мощностей)

Класс *C*: системы (подсистемы) планирования и анализа производственной деятельности предприятия – это системы (подсистемы) планирования и анализа производственной деятельности предприятия. Они предназначены для выполнения класса задач, требующих непосредственного участия человека для принятия стратегических решений, оказывающих влияние на деятельность предприятия в целом.

В круг задач решаемых системами (подсистемами) данного класса можно включить:

- анализ деятельности предприятия на основе данных и информации, поступающей из систем класса *B*;
- планирование деятельности предприятия;
- регулирование глобальных параметров работы предприятия;
- планирование и распределение ресурсов предприятия;
- подготовку производственных заданий и контроль их исполнения;
- наличие взаимодействия с управляющим субъектом (персоналом), при выполнении стоящих перед ними задач;
- интерактивность обработки информации;
- повышенной длительностью обработки данных, колеблющейся от нескольких минут до несколько часов или суток;
- длительным периодом принятия управляющего решения;
- наличием существенных временных и параметрических зависимостей (корреляций) между обрабатываемыми данными;
- система оказывает влияние на деятельность предприятия в целом;
- система оказывает влияние на значительный период работы предприятия (от полугода до нескольких лет);
- наличием непосредственного сопряжения с системами класса *B*.

Классическими представителями систем класса *C* можно считать: автоматизированные системы управления предприятием (АСУП) и автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП). К АСУП относятся системы планирования и управления предприятием ERP (Enterprise Resource Planning – Планирование Ресурсов Предприятия); Наиболее развитые системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учетом основных фондов и т. п.; IRP – Intelligent Resource Planning (системами интеллектуального планирования); АСУП; EIS.

Кроме того, принято выделять среди машиностроительных САПР системы функционального, конструкторского и технологического проектирования.

Рассмотренные в данной работе виды классификаций не единственные, но являются основными, т.к. в них САПР рассматривается с нескольких точек зрения.

1.3 САПР как объект проектирования

Система автоматизированного проектирования (САПР) ТП – комплекс средств автоматизации проектирования, взаимосвязанных с необходимыми подразделениями проектной организации или коллективом специалистов (пользователей системы), выполняющий автоматизированное проектирование.

- При создании и/или приобретении САПР ТП и их составных частей необходимо руководствоваться следующими принципами:
- системного единства;
- совместимости;
- типизации;
- развития.

Принцип системного единства обеспечивает целостность системы и иерархичность проектирования отдельных частей и объекта в целом.

- Принцип совместимости обеспечивает совместное функционирование составных частей САПР ТП и сохраняет открытой систему в целом.
- Принцип типизации предусматривает разработку и использование типовых и унифицированных элементов САПР ТП. Типизируют элементы, имеющие перспективу многократного использования.
- Принцип развития дает возможность пополнения, совершенствования и обновления составных частей САПР ТП.

Современные САПР ТП базируются на новых информационных технологиях (ИТ). Вследствие этого для них характерен ряд признаков:

- Объектно-ориентированное взаимодействие человека и ПК. Пользователь работает в режиме манипулирования изображениями заготовок, деталей, сборочных единиц, со схемами, текстом и т.д. в реальном времени. В основу манипулирования заложено программирование соответствующих процедур, выполняемых ПК. Человек видит информационные объекты, получаемые посредством средств вывода информации, и воздействует на них за счет средств ввода информации.
- Сквозная информационная поддержка на всех этапах обработки информации на основе интегрированной базы данных (БД). БД предусматривает единую унифицированную форму представления, хранения, поиска, отображения, восстановления и защиты информации.
- Безбумажный процесс обработки информации. Все промежуточные варианты и необходимые численные данные записываются на машинных носителях и доводятся до пользователя через экран монитора. На бумаге фиксируется только окончательный вариант документа: технологическая карта, карта эскизов и т.д.
- Интерактивный режим решения задач, выполняемый в режиме диалога пользователя и ПК.

1.4 Процесс создания САПР

Создание и развитие САПР осуществляется самой проектной организацией с привлечением (при необходимости) других организаций-соисполнителей, в том числе научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений.

Процесс создания САПР включает в себя восемь стадий: предпроектные исследования, техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочий проект, изготовление, отладка и испытание, ввод в действие.

Предпроектные исследования проводятся для выявления готовности конкретной проектной организации к внедрению автоматизированных методов. Основу этой работы составляет системное обследование объекта проектирования и используемых в инженерной практике традиционных методов и приемов проектирования, а также объема технической документации, разрабатываемой в процессе проектирования. Процесс обследования осуществляется главным образом опросом опытных проектировщиков и конструкторов.

В результате обследования определяется необходимость и экономическая эффективность создания автоматизированной системы. При этом учитывается объем проектно-конструкторских работ, их периодичность, общие затраты инженерного труда, возможность создания адекватного математического описания и оптимизационных процедур, необходимость повышения качественных показателей проектируемого изделия, сокращение сроков проектирования.

Техническое задание (ТЗ) является исходным документом для создания САПР и должно содержать наиболее полные исходные данные и требования. Этот документ разрабатывает головной разработчик системы. ТЗ на создание САПР должно содержать следующие основные разделы:

- «Наименование и область применения», где указывают полное наименование системы и краткую характеристику области ее применения;
- «Основание для создания», где указывают наименование директивных документов, на основании которых создается САПР;
- «Характеристика объектов проектирования», где приводят сведения о назначении, составе, условиях применения объектов проектирования;
- «Цель и назначение», где перечисляют цель создания САПР, ее назначение и критерий эффективности ее функционирования;
- «Характеристика процесса проектирования», где приводят общее описание процесса проектирования, требования к входным и выходным данным, а также требования по разделению проектных процедур (операций), выполняемых с помощью неавтоматизированного и автоматизированного проектирования;
- «Требования к САПР», где перечисляют требования к САПР в целом и к составу ее подсистем, к применению в составе САПР ранее созданных подсистем и компонентов и т.п.;
- «Технико-экономические показатели», где оценивают затраты на создание САПР, указывают источники получения экономии и ожидаемую эффективность от применения САПР.

На стадиях технического предложения, эскизного и рабочего проектирования выбираются и обосновываются варианты САПР, разрабатываются окончательные решения. При этом выполняются следующие основные виды работ :

- выявление процесса проектирования (его алгоритм), т.е. принятие основных технических решений;
- разработка структуры САПР и ее взаимосвязи с другими системами (определение состава проектных процедур и операций по подсистемам; уточнение состава подсистем и взаимосвязи между ними; разработка схемы функционирования САПР в целом);
- определение состава методов, математических моделей для проектных операций и процедур; состава языков проектирования; состава информации (объем, способы ее организации и виды машинных носителей информации); состава общего, специализированного общего и специального программного обеспечения;
- формирование состава технических средств (ПК, периферийные устройства и другие элементы);
- принятие решений по математическому, информационному, программному и техническому видам обеспечения по САПР в целом и отдельно по подсистемам;
- расчет технико-экономических показателей САПР.

Оформление всей документации, необходимой для создания и функционирования САПР, выполняют на стадии рабочего проектирования.

На стадии изготовления, отладки и испытания производят монтаж, наладку и испытание комплекса технических средств автоматизации проектирования, на тестовых примерах доводят программное обеспечение и подготавливают проектную организацию к вводу в действие САПР.

Ввод в действие системы осуществляют после опытного функционирования и приемочных испытаний у заказчика.

К показателям успешности экономического, промышленного и технического развития государства относят: число создаваемых систем автоматизированного проектирования (САПР) и сроки их внедрения; уровень автоматизации проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства; удельный вес промышленной продукции, изготавливаемой по документации, подготовленной средствами автоматизированного проектирования, в общем объеме промышленной продукции; экономию от снижения себестоимости изготовления продукции; условное сокращение численности работающих в проектно-конструкторских организациях и занимающихся не творческим трудом; сокращение численности работающих в основном производстве. Определение большинства таких показателей САПР ТП трудоемко и требует применения специальных методик расчета экономической эффективности САПР.

Расчет экономической эффективности САПР ТП позволяет:

- установить необходимость и целесообразность автоматизации проектирования конкретных объектов (объектами проектирования могут быть изделия, оборудование, машины, аппараты, системы, материалы, технологические процессы, здания, сооружения и т.п.);
- определить основные сферы и источники экономии от автоматизации проектирования;
- определить объем и очередность автоматизации задач проектирования объекта;
- выбрать наиболее рациональный вариант системы и все виды обеспечения САПР;
- определить оптимальный состав методов и средств автоматизации проектирования в условиях конкретного предприятия;
- оценить объем требуемых капитальных затрат на создание и внедрение САПР;
- определить показатели, характеризующие влияние САПР на качество проектных решений и деятельность проектной, проектно-конструкторской, технологической организации и промышленного предприятия;
- рассчитать ожидаемую экономию текущих затрат и снижение себестоимости выпускаемой продукции;
- определить годовой экономический эффект (годовую экономию приведенных затрат), т.е. разницу между годовой экономией на себестоимости продукции и капитальными затратами на внедрение САПР, пересчитанными на год с помощью нормативного коэффициента сравнительной экономической эффективности;
- оценить срок окупаемости САПР или сравнить расчетный коэффициент экономической эффективности с установленными нормативами;
- обеспечить сравнение экономической эффективности САПР с эффективностями других автоматизированных систем.

Эффективность САПР ТП и процесса создания систем автоматизации достигается за счет следующих факторов:

- достижения системного единства автоматизации всех составляющих процесса (проектирование – конструирование – технологическая подготовка производства);
- обеспечения аппаратной и программной совместимости САПР и их элементов;
- обеспечения возможности модификации систем;
- создания унифицированных и стандартизованных модулей, узлов, элементов ТП и операций;
- создания и использования единой унифицированной информационной базы САПР;
- применения унифицированного математического обеспечения, операционных систем, СУБД, систем CAD/CAM/CAE и т.п.

Применительно к сфере автоматизации проектирования можно выделить следующие основные источники экономической эффективности САПР ТП:

- рост производительности труда проектировщиков, конструкторов и технологов;
- повышение качества проектирования объектов, технологических процессов и выпускаемой документации;
- экономии производственных ресурсов, к которым относится живой труд, сырье, материалы, топливо, энергия, капитальные вложения в производственные фонды.