

1. Основные черты систем автоматизированного проектирования

1.1 САПР как объект проектирования

В условиях рынка и конкуренции, спрос на продукцию диктует потребитель. Поэтому спросом пользуется только конкурентоспособная продукция. Что бы продукция была конкурентоспособной производители продукции должны постоянно ее обновлять. Т.е. количество модификаций изделий, изготавливаемых производителем, должно постоянно увеличивается.

На современных предприятиях, значительное количество времени и средств тратится на разработку и проектирование.

Поэтому первыми двумя целями и задачами автоматизации проектирования и технологической подготовки производства являются следующие:

- 1. Сокращение трудоемкости проектирования и технологической подготовки производства и, как следствие, сокращение роста числа конструкторов и технологов.**
- 2. Сокращение сроков проектирования и подготовки производства в целом.**

При этом сокращение числа проектировщиков приводит к уменьшению себестоимости изделия. А необходимость сокращения сроков подготовки производства обуславливается тем, что в конкурентной борьбе выстоит та фирма, которая не только выпускает конкурентоспособную продукцию, но и укладывается в минимальные сроки по подготовке этой продукции к выпуску. Если представить, что две конкурирующие фирмы одновременно решили выпускать одинаковое изделие, но первая из них затратила полгода на проектирование и производство первого образца, а у второй фирмы на это ушел год, то конечно же первая фирма будет находиться в более выгодном положении на рынке. Современная фирма считается конкурентоспособной, если время от идеи создания нового современного изделия до выхода первого образца этого изделия за ее ворота составляет не более 1,5 лет.

Третьей целью и задачей автоматизации проектирования производства является **повышение качества проектирования и разрабатываемых процессов, и как следствие снижение материальных затрат на него.** Эта необходимость объясняется следующими причинами.

Техническое перевооружение современного производства осуществляется в основном по двум направлениям:

1. Замена универсального оборудования с ручным управлением, обслуживаемого рабочим высокой квалификации, оборудованием с автоматическим циклом обработки. Переналадка такого оборудования осуществляется наладчиками по тщательно разработанным операционным и наладочным картам. Возможно многостаночное обслуживание такого оборудования. В связи с увеличением дефицита квалифицированных рабочих это направление достаточно перспективно, особенно в условиях средне – и крупносерийного производства.

2. Внедрение станков с ЧПУ, обладающих гораздо большей степенью универсальности. Их переналадка занимает в десятки раз меньшее время, чем в первом случае. Но и здесь необходимо тщательно прорабатывать технологические процессы и затем составлять управляющие программы.

Необходимость тщательной проработки технологических решений в приведенных выше случаях объясняется тем, что указанное оборудование является дорогостоящим и использовать его нужно рационально.

Кроме этого при ручном проектировании конструктор сравнивает в уме ряд вариантов разрабатываемого изделия и технологического процесса и интуитивно выбирает лучшие на его взгляд решения. Подробного экономического обоснования не производится за неимением времени. Применение ЭВМ на базе соответствующих математических моделей позволяет находить оптимальные решения.

С применением САПР практически исключаются «человеческие» ошибки. Если компьютер работает на основе качественного программного обеспечения, технически исправен, то при вводе одинаковых входных данных любое количество раз выдаются правильные результаты.

Что же такое проектирование?

Проектирование – процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях еще не существующего объекта, на основе первичного описания данного объекта и (или) алгоритма его функционирования ... (ГОСТ 22487).

Проектирование является сложным творческим процессом целенаправленной деятельности человека, основанным на глубоких научных знаниях, использовании практического опыта и навыков в определенной сфере.

Автоматизированное проектирование – проектирование, при котором отдельные преобразования описаний объекта и (или) алгоритма его функционирования ..., осуществляются взаимодействием человека и ЭВМ (ГОСТ 22487).

Функции между человеком и ЭВМ должны быть рационально распределены. Человек должен решать задачи творческого характера, а ЭВМ – задачи, допускающие формализованное описание в виде алгоритма рутинного характера.

Объектами проектирования в САПР могут быть здания, сооружения, оборудование, в т.ч. и электромеханическое и т.д., в САПР ТП – технологические процессы.

Проектирование по содержанию – это процесс переработки определенного объема различной информации. **Входами** такого процесса (рисунок 1) являются:

1. **Замысел** (цель) проектирования, выраженный в виде определенной совокупности условий и требований, которым должен удовлетворять искомый объект.
2. **Средства**, т.е. факторы, которыми можно варьировать при проектировании.

Выход процесса – такое описание искомого объекта, которое необходимо и достаточно для материально – вещественного воплощения идеи проектирования в конкретный физический объект (т.е. его информационная модель в виде схем, чертежей, спецификаций, технологических карт и другой документации).

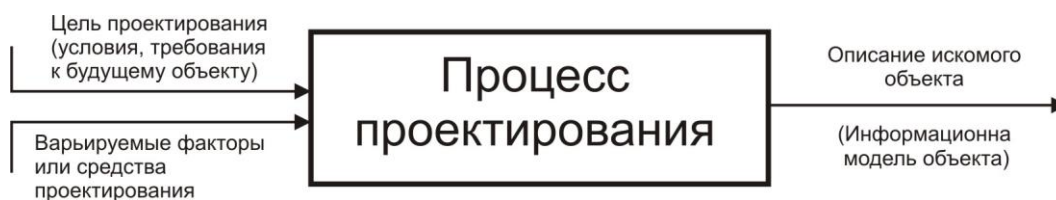


Рисунок 1. Процесс проектирования с информационной точки зрения

Таким образом, **смысл процесса проектирования в любой САПР** независимо от объекта проектирования один и тот же: получить в соответствии с замыслом такую информационную систему – модель, которая позволяет создать систему – оригинал, полностью соответствующую замыслу.

В процессе проектирования с помощью САПР в качестве промежуточных и окончательных решений используют математические модели:

- формы и геометрических параметров;
 - структуры;
 - временных и пространственно – временных отношений;
 - функционирования;
 - состояний и значений свойств объекта;
 - имитационные.
- **Модели формы и геометрических параметров** – это плоские и объемные изображения объектов проектирования, выполненные в соответствии с правилами ЕСКД, ЕСТД, ЕСТПП (чертежи, схемы, карты эскизов и т.д.).
 - **Модели структуры** – это кинематические, гидравлические, электронные и др. схемы. Для технологического процесса – это его структура, представленная, например, в виде маршрутной, операционной карты, а в процессе проектирования – в виде графа.
 - **Модели временных и пространственно–временных отношений** – это циклограммы, сетевые графики и т.д.

- **Модели функционирования** – это, например, динамические и кинематические схемы, выполненные в режиме анимации.
- **Модели состояний и значений свойств объекта** – это формальное (упрощенное) описание объекта (процесса) в виде отдельных формул, систем уравнений и т.д. Они предназначены для расчетов параметров объекта, проведения численных экспериментов (для технологического проектирования – это математические модели для расчета припусков и межпереходных размеров, режимов резания и т.д.).
- **Имитационные** (статистические) **модели** позволяют, учитывая большую совокупность случайных факторов проигрывать (имитировать) на ЭВМ многочисленные и разнообразные реальные ситуации, в которых может оказаться будущий объект проектирования.

1.2 Признаки современных САПР. Классификация пользователей САПР

Существенным отличием автоматизированного проектирования от неавтоматизированного является возможность замены дорогостоящего и занимающего много времени физического моделирования — математическим моделированием. Математические модели при этом должны удовлетворять требованиям универсальности, точности, адекватности и экономичности. При этом следует иметь в виду одно важнейшее обстоятельство: при проектировании число вариантов необозримо. Поэтому нельзя ставить задачу создания универсальной САПР, а необходимо решать вопросы проектирования для конкретного семейства машин.

Различные вычислительные средства уже давно используются специалистами в проектно-конструкторских работах. Быстродействие современных ЭВМ позволяет решать такие задачи, которые в принципе недоступны для «ручных» методов расчета, дает возможность учесть значительно большее число факторов, влияющих на функционирование и производство аппаратуры и электротехнического оборудования, резко повысить число рассматриваемых вариантов при проектировании. С помощью ЭВМ осуществляются анализ и синтез схем, их оптимизация, компоновка и размещение элементов конструкции электротехнического оборудования, находятся оптимальные варианты электрического соединения элементов (трассировки) и решаются многие другие сложные задачи.

Под математическим (имитационным) моделированием на ЭВМ обычно понимается весь комплекс вопросов, связанных с составлением математической модели устройства и ее использованием на ЭВМ в процедурах расчета, анализа, оптимизации и синтеза. По сравнению с макетированием математическое моделирование на ЭВМ имеет следующие преимущества.

- В задачах расчета с помощью модели можно найти выходные параметры схем или их характеристики, которые нельзя непосредственно измерить на макете из-за недоступности точек измерения, что особенно характерно для интегральных схем.
- В задачах анализа моделирование позволяет проанализировать выходные параметры и характеристики схемы в предельных и запредельных режимах, физическая реализация которых опасна для макета. Кроме того, моделирование позволяет выполнить, например, расчет серийнопригодности и анализ различных статистических характеристик схемы без ее запуска в серию, анализ воздействия на схему внешних условий без реальных климатических и других испытаний, анализ нереализуемых на макете зависимостей выходных параметров схемы от внутренних, например зависимостей выходных параметров схемы от внутренних параметров транзистора.
- В задачах оптимизации возможности макета ограничены небольшим числом регулировочных элементов, тогда как в модели можно варьировать любые управляемые параметры, добиваясь максимального улучшения выходных параметров.

Роль моделирования в задачах синтеза состоит в проверке правильности функционирования синтезированных схем путем расчета их математических моделей. Очевидно, это можно сделать гораздо быстрее, чем выполнить макетирование каждой синтезированной схемы.

Вместе с тем следует заметить, что нельзя полностью заменить макетирование моделированием. Перечисленные преимущества моделирования имеют место лишь в том случае, если проектировщик располагает хорошо отработанным комплексом программ, содержащим проверенные, достаточно точные модели элементов средств автоматизации, гарантирующие достоверность результатов проектирования. Если же необходимо спроектировать новую оригинальную схему, для расчета которой имеющийся комплекс программ по каким-либо причинам непригоден, то макетирование этой схемы может оказаться более приемлемым, чем разработка новой программы.

Кроме того, даже проектируя схему путем ее моделирования, разработчики схем часто проверяют окончательные результаты проектирования на опытном макете, однако, разумеется, такой способ проектирования нельзя назвать макетированием, хотя, в конце концов, и приходится иметь дело с макетом.

Отметим в заключение, что, как и макетирование, определенную роль в проектировании электрооборудования продолжают играть и традиционные неавтоматизированные методы. Ведь моделировать можно только то, что предварительно синтезировано. Довольно часто неавтоматизированный синтез первоначального варианта средств автоматизации оказывается быстрее и проще автоматизированного.

Таким образом, реальный процесс автоматизированного проектирования электрооборудования обычно состоит из *двух этапов*:

- *неавтоматизированного синтеза* структуры и эскизного, обычно тоже неавтоматизированного, по упрощенным формулам расчета ее параметров с целью получения работоспособного варианта электрооборудования, играющего роль начального приближения; в настоящее время ведутся работы по автоматизации этого этапа проектирования;
- *доводки полученного варианта* до кондиций, соответствующих техническому заданию (ТЗ), с помощью программ автоматизированного проектирования.

Широко используются автоматизированные средства для подготовки технической документации. Так, для изготовления чертежей и описательных документов (электрических схем, сборочных чертежей, таблиц соединений, спецификаций) применяются специальные чертежные автоматы, графопостроители и алфавитно-цифровые печатающие устройства, управляемые с помощью ЭВМ.

На первом этапе применения ЭВМ для автоматизации проектирования дело сводилось к решению частных задач проектирования, носивших главным образом расчетный характер. Для каждой задачи строилась ее математическая модель, выбирался численный метод и разрабатывался алгоритм решения. На основе алгоритма создавалась программа на одном из алгоритмических языков. Полученные от ЭВМ результаты подвергались необходимой обработке «вручную».

Однако при описанном «позадачном» подходе к автоматизации ЭВМ решают весьма ограниченный круг вопросов, не соответствующий их потенциальным возможностям, по существу отсутствует взаимодействие разработчиков с ЭВМ, не учитывается сильная взаимосвязь между различными этапами и уровнями проектирования.

Так, этап конструкторского проектирования часто сводится к решению задач, оторванных от электрической природы аппаратуры и ее функционирования. Критерии оптимизации конструкции в большинстве случаев не учитывают функциональных факторов. В то же время электромагнитные связи элементов конструкции существенно проявляются во многих случаях на функционировании электротехнического оборудования.

С другой стороны, схмотехнический этап проектирования во многих случаях не учитывает конструкторско-технологических, эксплуатационных и экономических факторов. В результате этого разрыва спроектированная аппаратура по эффективности оказывается далекой от оптимальной, хотя на каждом этапе принимаются меры и затрачиваются большие интеллектуальные и материальные средства на оптимизацию.

При традиционном методе вмешательство проектировщика в автоматические процедуры проектирования не предусматривается, хотя это может обеспечить значительный эффект.

Все эти трудности и противоречия привели к необходимости решения задач автоматизации проектирования на основе системного подхода как в части его организации, так и в части

аппаратных вычислительных средств и их программно математического обеспечения. Это породило новый этап автоматизации проектирования — этап создания систем автоматизированного проектирования (САПР).

Система автоматизированного проектирования (САПР) — комплекс средств автоматизации проектирования, взаимосвязанных с необходимыми подразделениями проектной организации или коллективом специалистов (пользователей системы), выполняющий автоматизированное проектирование (ГОСТ 22487).

Для создания САПР необходимо:

- совершенствовать проектирование на основе применения математических методов и средств вычислительной техники;
- автоматизировать процессы поиска, обработки и выдачи информации;
- использовать методы оптимального и вариантного проектирования;
- применять эффективные, отражающие существенные особенности, математические модели проектируемых объектов, комплектующих изделий и материалов;
- создавать банки данных, содержащих систематизированные сведения справочного характера, необходимые для автоматизированного проектирования объектов;
- повышать качество оформления проектной документации;
- повышать творческую долю труда проектировщиков за счет автоматизации нетворческих работ;
- унифицировать и стандартизовать методы проектирования;
- подготавливать и переподготавливать специалистов;
- реализовывать взаимодействие с автоматизированными системами различного уровня и назначения.

Классификация пользователей САПР.

Специалистов, работающих с САПР, называют пользователями САПР. Их можно разделить на три категории.

- ***Пользователи-разработчики САПР.*** Это наиболее квалифицированная категория пользователей, в совершенстве владеющая программированием, математическими методами, а также хорошо знающая предмет проектирования.
- ***Пользователи-сопроводители САПР.*** Эта категория пользователей выполняет профилактические работы по поддержанию САПР в рабочем состоянии (пополнение библиотек необходимой информацией, модификация САПР в рамках запланированных возможностей, учет и диагностика ошибок, выявляемых в процессе эксплуатации САПР). Эта же категория консультирует инженеров по вопросам методики использования САПР для проектирования. Пользователи-сопроводители должны в совершенстве знать алгоритмы и программы, содержащиеся в эксплуатируемой САПР.
- ***Пользователи-разработчики аппаратуры*** и электротехнического оборудования. Это наиболее широкая категория пользователей, использующая САПР для решения конкретных прикладных задач и называемая часто конечными пользователями. По некоторым оценкам эта категория составляет около 80% от общей численности всех пользователей. Разработчики электротехнического оборудования должны хорошо знать, какие задачи проектирования можно решать с помощью САПР, какие модели можно использовать для проектирования, приближенно оценивать затраты машинного времени для решения своих задач, уметь составить исходную информацию на входном языке данной САПР и самостоятельно разбираться в выходной информации, выдаваемой САПР разумеется, необходимо всемерно стремиться к повышению квалификации этой группы пользователей, так как от этого зависит общая культура проектирования с помощью САПР, а следовательно и его эффективность.

1.3 Сущность и этапы проектирования средств автоматизации

Сущность процесса проектирования электротехнического оборудования заключается в разработке конструкций и технологических процессов производства новых радиоэлектронных средств, которые должны с минимальными затратами и максимальной эффективностью выполнять предписанные им функции в требуемых условиях. Следует подчеркнуть, что в результате проектирования создаются новые, более совершенные электротехнические системы, отличающиеся от своих аналогов и прототипов более высокой эффективностью за счет использования новых физических явлений и принципов функционирования, более совершенной элементной базы и структуры, улучшенных конструкций и прогрессивных технологических процессов.

По степени новизны проектируемых изделий различают следующие задачи проектирования:

1. **Частичная модернизация** существующего устройства (изменение его параметров, структуры и конструкции), обеспечивающая сравнительно небольшое (несколько десятков процентов) улучшение одного или нескольких показателей качества для лучшего решения тех же или новых задач.
2. **Существенная модернизация**, которая предполагает значительное улучшение (в несколько раз) показателей качества.
3. **Создание новых электротехнических средств**, основанных на новых принципах действия, конструирования и производства для резкого увеличения (на несколько порядков) показателей качества при решении тех же или существенно новых задач.

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

С точки зрения последовательности выполнения различают основные стадии проектирования:

1. **Предварительное проектирование**, результатом которого являются технические предложения (аванпроект). Эта стадия в наибольшей степени насыщена элементами научного поиска, теоретическими расчетами, экспериментальными исследованиями. Они завершаются обычно созданием лабораторных макетов.
2. **Эскизное проектирование**, результатом которого является эскизный проект. На этой стадии усилия разработчиков во многом направлены на поиски эффективных конструкторских решений. Она также связана с большим объемом теоретических изысканий, сложных расчетов и заканчивается созданием экспериментального образца проектируемого изделия и его тщательными экспериментальными исследованиями (натурным моделированием).
3. **Техническое проектирование**, при котором выполняется тщательная проработка всех схемных, конструкторских и технологических решений. На стадии технического проектирования создается техническая документация на разрабатываемую аппаратуру и процессы ее производства. Итогом является технический проект, содержащий необходимую документацию и опытный образец изделий, прошедший всесторонние испытания в реальных условиях эксплуатации. Следует подчеркнуть чрезвычайную важность и трудоемкость создания технической документации, на основе которой происходит в дальнейшем единичное, серийное или массовое производство проектируемых устройств.

С точки зрения содержания решаемых задач процесс проектирования можно разбить на следующие этапы:

1. **Системотехническое проектирование**, при котором выбираются и формулируются цели проектирования, обосновываются исходные данные и определяются принципы построения системы. При этом формируется структура проектируемого объекта, его составных частей, которыми обычно являются функционально завершенные блоки, определяются энергетические и информационные связи между составными частями. В результате формулируются частные технические задания на проектирование отдельных составных частей объекта.
2. **Функциональное проектирование**, применительно к средствам автоматизации называемое также схемотехническим, имеет целью аппаратную реализацию составных частей системы (комплексов, устройств, узлов). При этом выбирают элементную базу,

принципиальные схемы и оптимизируют параметры (осуществляют структурный и параметрический синтез схем) с точки зрения обеспечения наилучшего функционирования и эффективного производства. При выборе элементной базы и синтезе схем стремятся учитывать конструкторско-технологические требования.

3. **Конструирование**, называемое также техническим проектированием, решает задачи компоновки и размещения элементов и узлов, осуществления печатных и проводных соединений для средств автоматизации всех уровней (модулей, ячеек, блоков, шкафов), а также задачи теплоотвода, электрической прочности, защиты от внешних воздействий и т.п. При этом **стремятся** оптимизировать принимаемые решения по конструктивно-технологическим, экономическим и эксплуатационным показателям. На этом этапе проектирования разрабатывают техническую документацию, необходимую для изготовления и эксплуатации устройств.

4. **Технологическая подготовка** производства обеспечивает разработку технологических процессов изготовления отдельных блоков и всей системы в целом. На этом этапе проектирования создается технологическая документация на основе предшествующих результатов. Каждый этап проектирования сводится к формированию описаний проектируемого устройства, относящихся к различным иерархическим уровням и аспектам его создания и работы.

Этапы проектирования состоят из отдельных **проектных процедур**, которые заканчиваются **частным проектным решением**.

Проектная процедура соответствует части проектной подсистемы, в результате выполнения которой принимается некоторое проектное решение. Она состоит из элементарных проектных операций, имеет твердо установленный порядок их выполнения и направлена на достижение локальной цели в процессе проектирования.

Для проектирования средств автоматизации типичными процедурами является решение задач **расчета, анализа, оптимизации и синтеза**. Эти задачи называются проектными процедурами и имеют следующее содержание.

Расчет — определение выходных параметров и характеристик устройства при неизменных значениях его внутренних параметров и постоянной структуре.

Анализ — определение изменения выходных параметров и характеристик устройства в зависимости от изменения его внутренних и входных параметров. В случае применения ЭВМ задача расчета часто называется одновариантным анализом, а задача анализа — многовариантным анализом.

Процедура **анализа** состоит в определении свойств заданного (или выбранного) описания. Примерами такой процедуры могут служить расчет частотных или переходных характеристик электронных схем, определение реакции схемы на заданное воздействие и др. Анализ позволяет оценить степень удовлетворения проектного решения заданным требованиям и его пригодность. Процедуры синтеза и анализа в процессе проектирования тесно связаны между собой, поскольку обе они направлены на создание приемлемого или оптимального проектного решения.

Оптимизация — определение наилучших в том или ином смысле значений выходных параметров и характеристик путем целенаправленного изменения внутренних параметров устройства (при параметрической оптимизации) или структуры устройства (при структурной оптимизации). Внутренние параметры, за счет изменения которых выполняется параметрическая оптимизация, называются **варьируемыми**. Способ изменения варьируемых параметров определяется конкретным алгоритмом оптимизации. В качестве варьируемых следует выбирать управляемые внутренние параметры, значение которых легко изменять и контролировать в процессе производства.

Процедура **синтеза** заключается в создании проектного решения (описания) по заданным требованиям, свойствам и ограничениям. Например, широко используются при проектировании средств автоматизации процедуры синтеза электронных схем по их заданным характеристикам в частотной или временной области. При этом в процессе синтеза может создаваться структура схемы (структурный синтез), либо определяться параметры элементов заданной схемы, обеспечивающие требуемые характеристики (параметрический синтез).

Наиболее сложными являются задачи параметрического и структурного синтеза. В общем случае **синтезом** называется генерация исходного варианта устройства, включая его структуру

(структурный синтез) и значения внутренних параметров (параметрический синтез). Генерация может выполняться различными способами — выбором из уже известных устройств, построением на основе теоретических соотношений, путем изобретательства и др. Полученное в результате синтеза устройство не обязательно должно быть наилучшим, но обязательно работоспособным. Если же полученное устройство — наилучшее в каком-либо смысле, то такой синтез называется оптимальным. Однако процедуры оптимального синтеза разработаны лишь для узкого класса устройств, преимущественно линейного типа, например линейных схем с заданной структурой или линейных систем автоматического управления. В большинстве случаев устройство, полученное в результате синтеза, даже оптимального, требует доработки, чтобы удовлетворить многочисленным требованиям, учесть которые на стадии синтеза невозможно из-за их многообразия и сложности.

Типичной проектной процедурой является **оптимизация**, которая приводит к оптимальному (по определенному критерию) проектному решению. Например, широко используется оптимизация параметров электронных схем с целью наилучшего приближения частотных характеристик к заданным. Процедура оптимизации состоит в многократном анализе при целевом изменении параметров схемы до удовлетворительного приближения к заданным характеристикам. В сущности, оптимизация обеспечивает создание (синтез) проектного решения, но включает поэтапную оценку характеристик (анализ).

Вследствие этого процесс проектирования практически всегда включает наряду с синтезом решение всех перечисленных выше задач, как показано на рис. 1.1, где цепочка блоков 2-3-4-5-6-2 соответствует циклу параметрической оптимизации, а цепочка блоков 2-3-4-5-7-8 — циклу структурной оптимизации, например введением дополнительных положительных или отрицательных обратных связей.

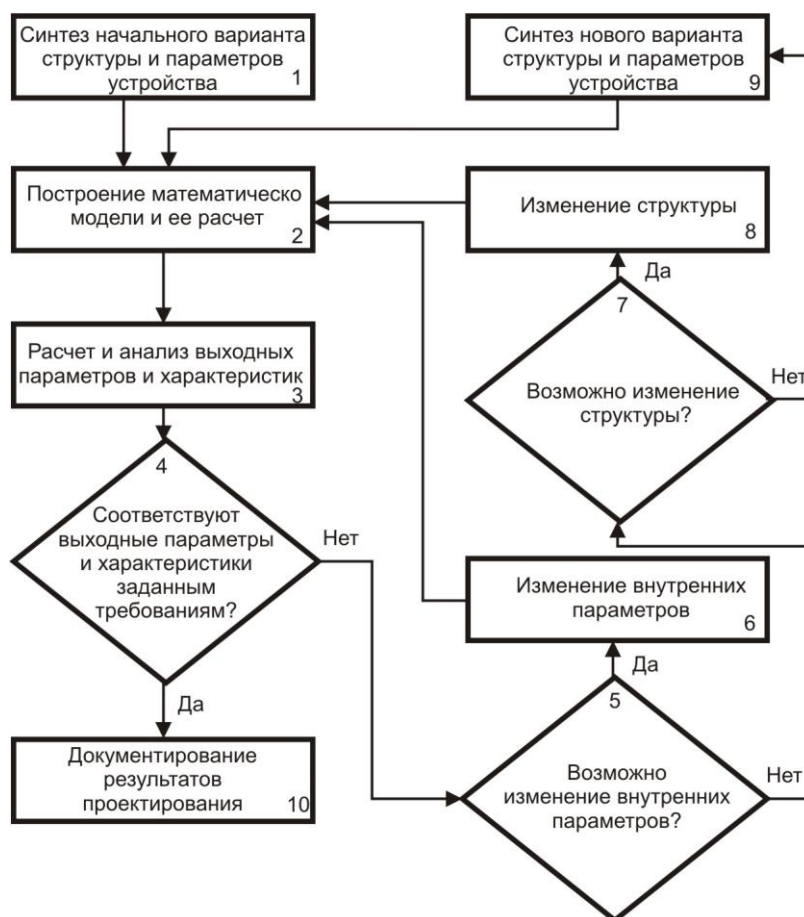


Рисунок 2. Типовая схема отдельного этапа проектирования

Проектные процедуры состоят из отдельных **проектных операций**. Под **проектной операцией** понимают условно выделенную часть проектной процедуры или элементарное действие, совершаемое конструктором в процессе проектирования. Примерами проектных процедур могут служить процедуры разработки кинематической или компоновочной схемы

станка, технологии обработки изделий и т. п., а примерами проектных операций — расчет припусков, решение какого-либо уравнения и т. п.

В процессе анализа математических моделей электротехнического оборудования приходится решать дифференциальные и алгебраические уравнения, осуществлять операции с матрицами и т.п. Такие операции могут иметь обособленный характер, но в целом они образуют единую проектную процедуру.

Проектные процедуры и операции выполняются в определенной последовательности, называемой *маршрутом проектирования*.

Маршруты проектирования могут начинаться с нижних иерархических уровней описаний (*восходящее проектирование*) либо с верхних (*нисходящее проектирование*).

Следует особо подчеркнуть, что между всеми этапами проектирования существует глубокая связь и взаимосвязь. Так, определение окончательной конструкции и разработка всей технической документации часто не могут быть выполнены до окончания разработки технологии. В процессе конструирования и разработки технологии может потребоваться коррекция принципиальных схем, структуры системы и даже исходных данных. Поэтому процесс проектирования является не только многоэтапным, но и многократно корректируемым по мере его выполнения, т.е. процесс носит итерационный характер.

В процессе проектирования необходимо не просто создать аппаратуру, которая будет обеспечивать заданное функционирование, но и оптимизировать ее по широкому спектру функциональных, конструкторско-технологических, эксплуатационных и экономических показателей. На отдельных этапах для отдельных частных задач оптимизацию можно осуществить на основе разработанных формальных математических методов. Однако применительно к комплексным средствам автоматизации задача оптимизации часто не поддается формализации. Встречаясь с такой ситуацией, разработчики обычно рассматривают несколько вариантов решения поставленной задачи, подсказанных, как правило, предшествующим коллективным опытом, интуицией, и выбирают лучший из них. Такой подход называется эвристическим многовариантным анализом. Однако в связи со все возрастающей сложностью средств автоматизации, с повышением требований к ним необходимые расчеты оказываются все более трудоемкими, а количество вариантов, целесообразных для рассмотрения, катастрофически возрастает. Эта ситуация получила название «тирания альтернатив». Часто на этапе проектирования трудно предвидеть некоторые требования, вытекающие из условий эксплуатации. В результате всего этого создание нового устройства затягивалось на долгие годы. Представляемые к испытаниям опытные образцы часто оказывались не удовлетворяющими заданным требованиям, а доводка аппаратуры происходила в процессе испытаний, что удорожало проектирование во много раз.

Подобное положение не было виной разработчиков. Это результат возникшего принципиального несоответствия традиционного подхода к проектированию и сложности современных радиоэлектронных средств. Указанное противоречие и вызвало интенсивное развитие новой технологии проектирования средств автоматизации, базирующейся

- на системном подходе и совершенствовании процессов проектирования с применением математических методов и средств вычислительной техники,
- комплексной автоматизации трудоемких и рутинных проектных работ,
- замены макетирования и натурного моделирования математическим моделированием,
- использованием эффективных методов многовариантного проектирования и оптимизации, а также повышением качества управления проектированием.

Системный подход позволяет найти оптимальное, в широком смысле, решение задачи проектирования за счет всестороннего, целостного рассмотрения как проектируемого изделия, так и самого процесса проектирования и способен привести к подлинно творческим новаторским решениям, включая крупные изобретения и научные открытия.

Главным средством автоматизации проектирования являются ЭВМ и управляемые ими другие технические средства, которые создают необходимую основу для полной реализации потенциальных возможностей системного подхода.

1.4 Подсистемы САПР

САПР — система, объединяющая технические средства, математическое и программное обеспечение, параметры и характеристики которых выбирают с максимальным учетом особенностей задач инженерного проектирования и конструирования.

В САПР обеспечивается удобство использования программ за счет применения средств оперативной связи инженера с ЭВМ, специальных проблемно-ориентированных языков и наличия информационно-справочной базы.

Основными структурными составными звеньями САПР являются подсистемы, обладающие всеми свойствами систем и создаваемые как самостоятельные системы. Это выделенные по некоторым признакам части САПР, обеспечивающие выполнение некоторых законченных проектных задач с получением соответствующих проектных решений и проектных документов.

По назначению подсистемы САПР разделяют на два вида:

- проектирующие;
- обслуживающие.

К **проектирующим** относятся подсистемы, выполняющие проектные процедуры и операции, например:

- подсистема компоновки машины;
- подсистема проектирования сборочных единиц;
- подсистема проектирования деталей;
- подсистема проектирования схемы управления;
- подсистема технологического проектирования.

К **обслуживающим** относятся подсистемы, предназначенные для поддержания работоспособности проектирующих подсистем, например:

- подсистема графического отображения объектов проектирования;
- подсистема документирования;
- подсистема информационного поиска и др.

В зависимости от отношения к объекту проектирования различают два вида проектирующих подсистем:

- объектно-ориентированные (объектные);
- объектно-независимые (инвариантные).

Объектные подсистемы осуществляют непосредственное проектирование. К **объектным подсистемам** относят подсистемы, выполняющие одну или несколько проектных процедур или операций, непосредственно зависящих от конкретного объекта проектирования, например:

- подсистема проектирования технологических систем;
- подсистема моделирования динамики, проектируемой конструкции и др.

Применительно к САПР осуществляющим комплексное проектирование средств автоматизации, объектными являются, например, подсистемы схмотехнического и конструкторского проектирования. Для конструкторских САПР объектными являются подсистемы компоновки, размещения, трассировки и т.п.

Инвариантные подсистемы выполняют функции управления и обработки информации, не зависящие от объекта проектирования. К **инвариантным подсистемам** относят подсистемы, выполняющие унифицированные проектные процедуры и операции, например:

- подсистема расчетов деталей машин;
- подсистема расчетов режимов резания;
- подсистема расчета технико-экономических показателей;
- подсистемы управления САПР, диалоговых процедур, оптимизации, подсистемы ввода, обработки и вывода графической информации, подсистемы информационно-поисковых процедур и др.

Каждая подсистема, в свою очередь, состоит из компонентов, объединенных общей для подсистемы целевой функцией. Под **компонентом** обычно понимают элемент средства обеспе-

чения, выполняющий определенную функцию. Так, например, компонентами подсистемы схемотехнического проектирования являются: методическое обеспечение анализа схем; программы, реализующие те или иные алгоритмы анализа; графические дисплеи, обеспечивающие отображение самих схем и, например, частотных характеристик этих схем; файлы, содержащие модели транзисторов; совокупность их основных характеристик и т.п.

Очевидно, что все указанные компоненты связаны между собой внутри подсистемы. На рисунке приведена обобщенная структурная схема САПР, отражающая ее составные части и связи между ними. На этом рисунке компоненты подсистем обозначены тремя знаками. Первый знак характеризует разновидность обеспечения, к которому относится данный компонент, второй указывает номер компонента для данного вида обеспечения, а третий — к какой подсистеме относится данный компонент, например М1А первый компонент методического обеспечения подсистемы А; И2Н — второй компонент информационного обеспечения подсистемы Н и т.д.

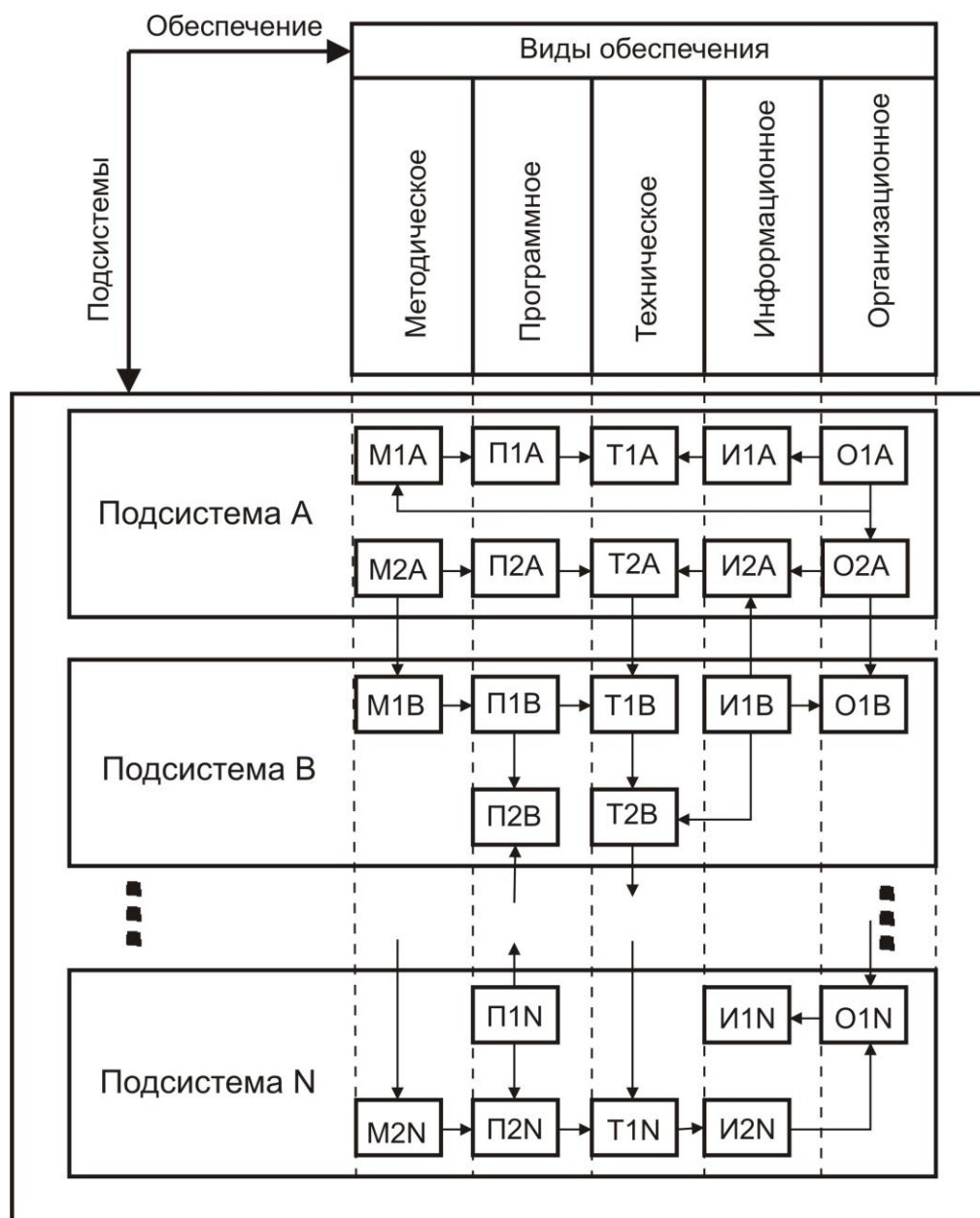


Рисунок 3. Обобщенная структурная схема САПР

САПР создается и функционирует в проектной организации как самостоятельная система. Однако она может быть связана с подсистемами и банками данных других автоматизированных систем предприятия: автоматизированной системой управления технологическими процессами (АСУ ТП), автоматизированной системой для научных исследований (АСНИ). В частности, основная задача АСНИ может состоять именно в том, чтобы получать и обрабатывать

математические модели для САПР. На крупных предприятиях АСНИ, САПР и АСУ могут функционировать как взаимосвязанные на уровне технических средств и банков данных.

Структурное единство подсистем САПР обеспечивается строгой регламентацией связей между различными видами обеспечения, объединенных общей для данной подсистемы целевой функцией.

Различают следующие виды обеспечения:

- **методическое** обеспечение (МО) (MeO) — документы, в которых отражены состав, правила отбора и эксплуатации средств автоматизации проектирования. Оно включает в себя теорию процессов, происходящих в схемах и конструкциях устройств, методы анализа и синтеза схем и конструкций устройств, систем и их составных частей, их математические модели, математические методы и алгоритмы численного решения систем уравнений, описывающих схемы и конструкции устройств. Указанные компоненты МО составляют ядро САПР. В методическое обеспечение САПР входят также алгоритмические специальные языки программирования, терминология, нормативы, стандарты и другие данные. Очевидно, что, например, разработка методического обеспечения САПР средств автоматизации требует глубоких специальных знаний в областях радиотехники, электроники, в частности системотехники, схемотехники и микроэлектроники, конструирования и технологии производства средств автоматизации. Отсюда вытекает, что разработка методического обеспечения САПР — прерогатива специалистов в области разрабатываемого оборудования.

Обычно в качестве обособленных блоков в методическом обеспечении выделяются математическое и лингвистическое обеспечения.

- **математическое** обеспечение (МО) — методы, математические модели, алгоритмы; программное обеспечение — документы с текстами программ, программы на машинных носителях и эксплуатационные документы. Т.е. это совокупность математических моделей, методов и алгоритмов для решения задач автоматизированного проектирования.

- **лингвистическое** обеспечение (ЛО) — языки проектирования, терминология. Оно представляет собой совокупность языков, используемых в САПР для представления информации о проектируемых объектах, процессе и средствах проектирования и для осуществления диалога между проектировщиками и ЭВМ.

Если математическое и лингвистическое обеспечения являются полностью самостоятельными в составе САПР, под методическим обеспечением понимается совокупность документов, описывающих состав, правила отбора и эксплуатации средств автоматизированного проектирования.

Компоненты МО создаются на основе перспективных методов проектирования, поиска новых принципов действия и технических решений, эффективных математических и других моделей проектируемых объектов, применения методов многовариантного проектирования и оптимизации, использования типовых и стандартных проектных процедур, стандартных вычислительных методов.

- **Программное обеспечение** (ПО) включает в себя документы с текстами программ, программы на машинных носителях и эксплуатационные документы, обеспечивающие функционирование САПР.

Программное обеспечение подразделяется на **общесистемное и прикладное**. Компонентами **общесистемного** ПО являются, например, операционные системы, трансляторы с алгоритмических языков, супервизоры и т.п., то есть совокупность программ, которая осуществляет управление вводом и обработкой информации в ЭВМ, диалоговый режим работы и другие обслуживающие функции независимо от объекта проектирования. **Прикладное** ПО включает программы и пакеты прикладных программ, предназначенные непосредственно для получения проектных решений. Прикладное ПО разрабатывается обычно совместно специалистами в области проектируемого оборудования и системного программирования.

- **техническое** обеспечение (ТО) — устройства вычислительной и организационной техники, средства передачи данных, измерительные и другие устройства и их сочетания.

- **информационное** обеспечение (ИО) — документы, содержащие описание стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, типовых элементов, комплектующих изделий, материалов и другие данные;

- **организационное** обеспечение (ОО) — положения и инструкции, приказы, штатное расписание и другие документы, регламентирующие организационную структуру подразделений и их взаимодействие с комплексом средств автоматизации проектирования.

1.5 Основные черты систем автоматизированного проектирования

Различные возможности и границы применения вычислительной техники для автоматизации проектирования определяются уровнем формализации научно-технических знаний в конкретной отрасли. Чем глубже разработана теория того или иного класса технических систем, тем большие возможности объективно существуют для автоматизации процесса их проектирования. Применение ЭВМ при проектно-конструкторских работах в своем развитии прошло несколько стадий и претерпело значительные изменения.

С появлением вычислительной техники был сделан акцент на автоматизацию проектных задач, имеющих четко выраженный расчетный характер, когда реализовывались методики, ориентированные на ручное проектирование. Затем, по мере накопления опыта, стали создавать программы автоматизированных расчетов на основе методов вычислительной математики (параметрическая оптимизация, метод конечных элементов и т. п.).

С внедрением специализированных терминальных устройств появляются универсальные программы для ЭВМ для решения как расчетных, так и некоторых рутинных проектных задач (изготовление чертежей, спецификаций, текстовых документов и т. п.).

В последние годы большое внимание уделяется автоматизации расчетно-конструкторских работ при проектировании типовых узлов и агрегатов, когда синтез конструкции проводится эвристически, а основные параметры выбираются и оптимизируются в интерактивном режиме диалога проектировщика и ЭВМ.

Однако на всех этих стадиях автоматизации проектирования инженеру помимо изучения инструкций по эксплуатации и написанию программ приходится познавать ряд по сути дела ненужных ему подробностей системных программ и языков программирования. Кроме того, при использовании в проектировании специализированных по объектам разрозненных пакетов прикладных программ (ППП) инженер вынужден каждый раз вновь кодировать и вводить информацию согласно инструкции ППП. Отмеченные недостатки приводят к тому, что частичная («позадачная») автоматизация не оказала существенного влияния на повышение качества и производительности проектирования технических систем и средств в целом.

Решение проблем автоматизации проектирования с помощью ЭВМ основывается на системном подходе, т. е. на создании и внедрении САПР — систем автоматизированного проектирования технических объектов, которые решают весь комплекс задач от анализа задания до разработки полного объема конструкторской и технологической документации. Это достигается за счет объединения современных технических средств и математического обеспечения, параметры и характеристики которых выбираются с максимальным учетом особенностей задач проектно-конструкторского процесса. САПР представляет собой крупные организационно-технические системы, состоящие из комплекса средств автоматизации проектирования, взаимосвязанного с подразделениями конкретной проектной организации.

Таким образом, разработка САПР представляет собой крупную научно-техническую проблему, а ее внедрение требует значительных капиталовложений. Накопленный опыт позволяет выделить следующие основные черты систем автоматизированного проектирования и их принципиальные отличия от «позадачных» методов автоматизации?

1. **Первой** характерной особенностью является возможность **комплексного решения общей задачи проектирования**, установления тесной связи между частными задачами, т.е. возможность интенсивного обмена информацией и взаимодействие не только отдельных процедур, но и этапов проектирования. Например, применительно к техническому (конструкторскому) этапу проектирования САПР позволяет решать задачи компоновки, размещения и трассировки в тесной взаимосвязи, которая должна быть заложена в технических и программных средствах системы.

Применительно к системам более высокого уровня можно говорить об установлении тесной информационной связи между схмотехническим и техническим этапами проектирования. Такие системы позволяют создавать радиоэлектронные средства, более

эффективные с точки зрения комплекса функциональных и конструкторско-технологических требований.

Это особенность базируется на двух основных принципах:

- **САПР — иерархическая система**, реализующая комплексный подход к автоматизации всех уровней проектирования. Иерархия уровней проектирования отражается в структуре специального программного обеспечения САПР в виде иерархии подсистем. Следует особо подчеркнуть целесообразность обеспечения комплексного характера САПР, так как автоматизация проектирования лишь на одном из уровней оказывается значительно менее эффективной, чем полная автоматизация всех уровней. Иерархическое построение относится не только к специальному программному обеспечению, но и к техническим средствам САПР, разделяемых на центральный вычислительный комплекс и автоматизированные рабочие места проектировщиков.

- **САПР — совокупность информационно-согласованных подсистем**. Этот очень важный принцип должен относиться не только к связям между крупными подсистемами, но и к связям между более мелкими частями подсистем. Информационная согласованность означает, что все или большинство возможных последовательностей задач проектирования обслуживаются информационно согласованными программами. Две программы являются информационно согласованными, если все те данные, которые представляют собой объект переработки в обеих программах, входят в числовые массивы, не требующие изменений при переходе от одной программы к другой. Так, информационные связи могут проявляться в том, что результаты решения одной задачи будут исходными данными для другой задачи. Если для согласования программ требуется существенная переработка общего массива с участием человека, который добавляет недостающие параметры, вручную перекомпоновывает массив или изменяет числовые значения отдельных параметров, то программы информационно не согласованы. Ручная перекомпоновка массива ведет к существенным временным задержкам, росту числа ошибок и поэтому уменьшает спрос на услуги САПР. Информационная несогласованность превращает САПР в совокупность автономных программ, при этом из-за неучета в подсистемах многих факторов, оцениваемых в других подсистемах, снижается качество проектных решений.

2. **Вторым** отличием САПР является **интерактивный режим проектирования**, при котором осуществляется непрерывный процесс диалога «человек — машина». Сколь ни сложны и изощренны формальные методы проектирования, сколь ни велика мощность вычислительных средств, невозможно создать сложную аппаратуру без творческого участия человека. Системы автоматизации проектирования по своему замыслу должны не заменять конструктора, а выступать мощным средством обеспечения его творческой деятельности.
3. **Третья** особенность САПР заключается в возможности **имитационного моделирования радиоэлектронных систем в условиях работы, близких к реальным**. Имитационное моделирование дает возможность предвидеть реакцию проектируемого объекта на самые различные возмущения, позволяет конструктору «видеть» плоды своего труда в действии без макетирования. Ценность этой особенности САПР заключается в том, что в большинстве случаев крайне трудно сформулировать системный критерий эффективности средств автоматизации. Эффективность связана с большим числом требований различного характера и зависит от большого числа параметров электронных систем и внешних факторов. Поэтому в сложных задачах проектирования практически невозможно формализовать процедуру поиска оптимального по критерию комплексной эффективности решения. Имитационное моделирование позволяет провести испытания различных вариантов решения и выбрать лучший, причем сделать это быстро и учесть всевозможные факторы и возмущения.
4. **Четвертая** особенность заключается в **значительном усложнении программного и информационного обеспечения проектирования**. Речь идет не только о количественном, объемном увеличении, но и об идеологическом усложнении, которое связано с необходимостью создания языков общения проектировщика и ЭВМ, развитых банков данных, программ информационного обмена между составными частями системы,

программ проектирования, коррекции работы машины, ее обучения, систематизации и обобщения опыта, усовершенствования стратегии принятия решений.

5. **Пятая** особенность заключается в **значительном усложнении технических средств САПР**.

Системы автоматизации проектирования требуют применения машин высокой производительности, многомашинных комплексов, разветвленной системы периферийных устройств, в частности устройств отображения информации, диалога и изготовления документации.

6. И наконец, **последняя** особенность САПР, которую можно отметить, заключается в **замкнутости процесса автоматизированного проектирования**. Под этим подразумевается, что проектировщик вводит в машину информацию на уровне замысла, а в результате диалогового процесса проектирования машина выдает технические решения и документацию, необходимую для изготовления устройства и автоматизированного управления технологическими процессами ее производства.

1.6 Принципы построения САПР

В соответствии с особенностями построения САПР при создании и приобретении САПР и их составных частей необходимо руководствоваться следующими общесистемными **принципами**:

1. Принцип **включения** состоит в том, что требования к созданию, функционированию и развитию САПР определяются со стороны более сложной системы, включающей в себя САПР в качестве подсистемы. Такой сложной системой может быть, например, комплексная система АСНИ — САПР — АСУ ТП предприятия, САПР отрасли и т.п.
2. Принцип **системного единства** предусматривает обеспечение целостности САПР за счет связи между ее подсистемами и функционирования подсистемы управления САПР, а так же иерархичности проектирования отдельных частей и объекта в целом.
3. Принцип **комплексности** требует связности проектирования отдельных элементов и всего объекта в целом на всех стадиях проектирования.
4. Принцип **информационного единства** предопределяет информационную согласованность отдельных подсистем и компонентов САПР. Это означает, что в средствах обеспечения компонентов САПР должны использоваться единые термины, символы, условные обозначения, проблемно-ориентированные языки программирования и способы представления информации, которые обычно устанавливаются соответствующими нормативными документами. Принцип информационного единства предусматривает, в частности, размещение всех файлов, используемых многократно при проектировании различных объектов, в банках данных. За счет информационного единства результаты решения одной задачи в САПР без какой-либо перекомпоновки или переработки полученных массивов данных могут быть использованы в качестве исходной информации для других задач проектирования.
5. Принцип **совместимости** состоит в том, что языки, коды, информационные и технические характеристики структурных связей между подсистемами и компонентами САПР должны быть согласованы так, чтобы обеспечивалось совместное функционирование всех подсистем и сохранялась открытая структура САПР в целом. Так, введение каких-либо новых технических или программных средств в САПР не должно приводить к каким-либо изменениям уже эксплуатируемых средств. Т.е. Принцип **совместимости** обеспечивает совместное функционирование составных частей САПР и сохраняет открытой систему в целом.
6. Принцип **инвариантности (типизации)** предусматривает, что подсистемы и компоненты САПР должны быть по возможности универсальными или типовыми, т.е. инвариантными к проектируемым объектам и отраслевой специфике. Применительно ко всем компонентам САПР это, конечно, невозможно. Однако многие компоненты, например программы оптимизации, обработки массивов данных и другие могут быть сделаны одинаковыми для разных технических

объектов. Т.е. **принцип типизации** предусматривает разработку и использование типовых и унифицированных элементов САПР. Типизируют элементы, имеющие перспективу многократного использования.

7. Принцип **развития** требует, чтобы в САПР предусматривалось наращивание и совершенствование компонентов и связей между ними. При модернизации подсистемы САПР допускается частичная замена компонентов, входящих в подсистему, с изданием соответствующей документации. Т.е. **принцип развития** дает возможность пополнения, совершенствования и обновления составных частей САПР.

Приведенные общесистемные принципы являются чрезвычайно важными на этапе разработки САПР. Контроль за их соблюдением обычно осуществляет специальная служба САПР предприятия.

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

1. **Объектно – ориентированное взаимодействие человека и ЭВМ.** Пользователь работает в режиме манипулирования изображениями заготовок, деталей, сборочных единиц, со схемами, текстом и т.д. в реальном масштабе времени. В основу манипулирования заложено программирование соответствующих процедур, выполняемых ЭВМ. Человек видит информационные объекты, получаемые посредством средств вывода информации, и воздействует на них за счет средств ввода информации.
2. **Сквозная информационная поддержка на всех этапах обработки информации на основе интегрированной базы данных.** База данных предусматривает единую унифицированную форму представления, хранения, поиска, отображения, восстановления и защиты информации.
3. **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.
4. **Интерактивный режим решения задач, выполняемый в режиме диалога пользователя и ЭВМ.** Новые информационные технологии требуют высокого интеллектуального уровня, профессиональной и психологической подготовки пользователя. Пользователь должен досконально знать принципы и все нюансы работы САПР, ее возможности, уметь свободно пользоваться средствами общения с компьютером, квалифицированно ставить задачи и осмысливать результаты их решения.