

## **Лекция 2. Подсистемы САПР**

**План:**

**1 Подсистемы САПР**

**2 Основные черты систем автоматизированного проектирования**

**3 Принципы построения САПР**

### **1 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 зависимых 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 схемотехнического 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 обеспечения, 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.

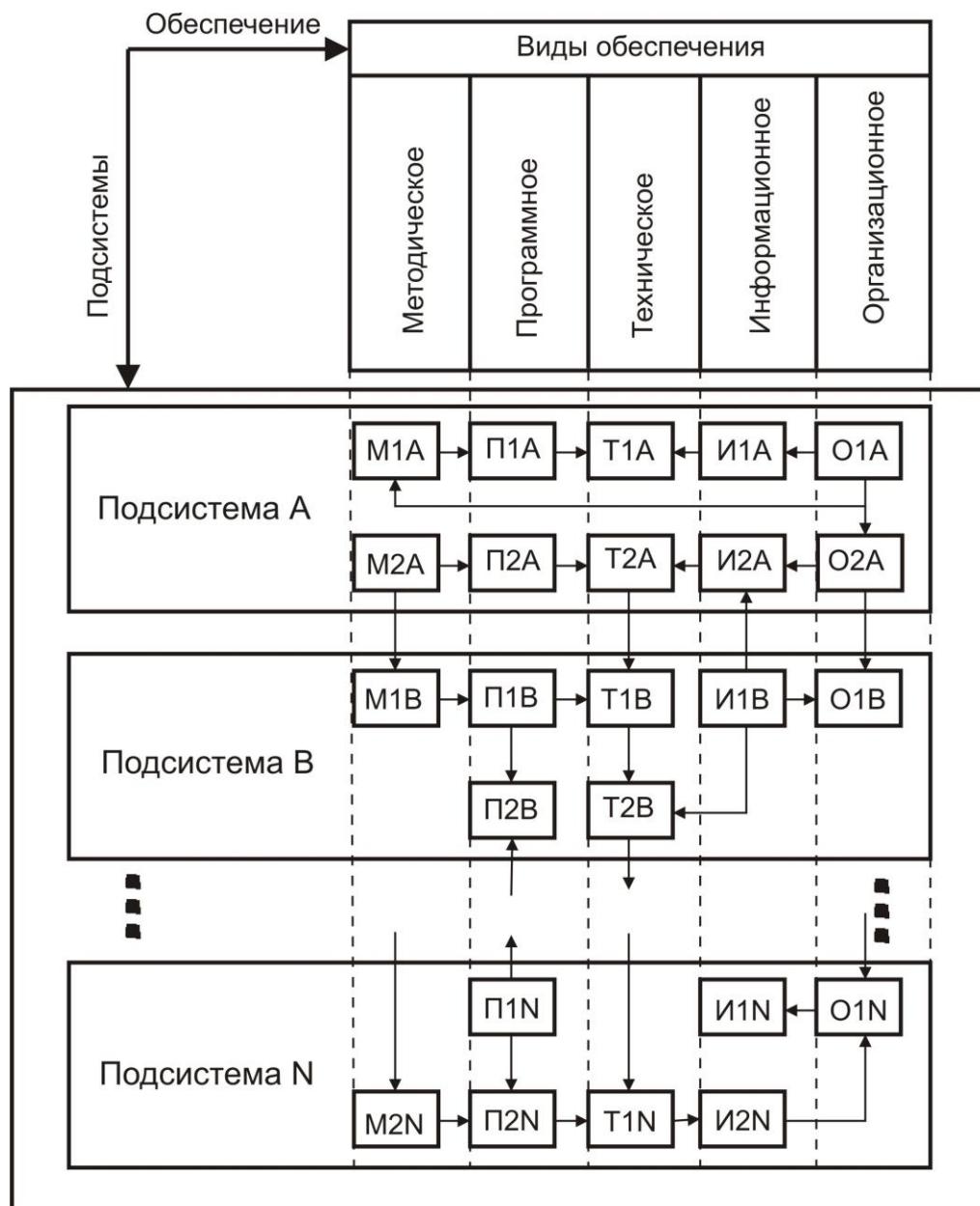


Рисунок 1. Обобщенная структурная схема САПР

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 отрабатывать 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) — 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 обеспечение.

- ***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.

## 2 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 схемотехническим 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 formalизовать 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.

### 3 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 осуществляется 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.