

ЛЕКЦИЯ № 1.2. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИНЖЕНЕРНОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ..

1. Системный подход к проектированию

2. Структура процесса проектирования

1. Системный подход к проектированию

1.1. Понятие инженерного проектирования.

Проектирование технического объекта — создание, преобразование и представление в принятой форме образа этого еще не существующего объекта. Образ объекта или его составных частей может создаваться в воображении человека в результате творческого процесса или генерироваться в соответствии с некоторыми алгоритмами в процессе взаимодействия человека и ЭВМ. В любом случае инженерное проектирование начинается при наличии выраженной потребности общества в некоторых технических объектах, которыми могут быть объекты строительства, промышленные изделия или процессы. Проектирование включает в себя разработку технического предложения и (или) технического задания (ТЗ), отражающих эти потребности, и реализацию ТЗ в виде проектной документации.

Обычно ТЗ представляют в виде некоторых документов, и оно является *исходным (первичным) описанием объекта*. Результатом проектирования, как правило, служит полный комплект документации, содержащий достаточные сведения для изготовления объекта в заданных условиях. Эта документация и есть *проект*, точнее *окончательное описание* объекта. Более коротко, проектирование — процесс, заключающийся в получении и преобразовании исходного описания объекта в окончательное описание на основе выполнения комплекса работ исследовательского, расчетного и конструкторского характера.

Преобразование исходного описания в окончательное порождает ряд промежуточных описаний, подводящих итоги решения некоторых задач и используемых для обсуждения и принятия проектных решений для окончания или продолжения проектирования.

Проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека и ЭВМ, называют *автоматизированным*, в отличие от *ручного* (без использования ЭВМ) или

автоматического (без участия человека на промежуточных этапах). Система, реализующая автоматизированное проектирование, представляет собой *систему автоматизированного проектирования* (в англоязычном написании *CADSystem — ComputerAidedDesignSystem*).

Автоматическое проектирование возможно лишь в отдельных частных случаях для сравнительно несложных объектов. Превалирующим в настоящее время является автоматизированное проектирование.

Проектирование сложных объектов основано на применении идей и принципов, изложенных в ряде теорий и подходов. Наиболее общим подходом является системный подход, идеями которого пронизаны различные методики проектирования сложных систем.

1.2. Принципы системного подхода.

Основные идеи и принципы проектирования сложных систем выражены в системном подходе. Для специалиста в области системотехники они являются очевидными и естественными, однако их соблюдение и реализация зачастую сопряжены с определенными трудностями, обусловливаемыми особенностями проектирования. Как и большинство взрослых образованных людей, правильно использующих родной язык без привлечения правил грамматики, инженеры используют системный подход без обращения к пособиям по системному анализу. Однако интуитивный подход без применения правил системного анализа может оказаться недостаточным для решения все более усложняющихся задач инженерной деятельности.

Основной общий принцип системного подхода заключается в рассмотрении частей явления или сложной системы с учетом их взаимодействия. *Системный подход включает в себя выявление структуры системы, типизацию связей, определение атрибутов, анализ влияния внешней среды.*

Системный подход рассматривают как направление научного познания и социальной политики. Он является базой для обобщающей дисциплины “Теория систем” (другое используемое название — “Системный анализ”). *Теория систем — дисциплина, в которой конкретизируются положения системного подхода; она посвящена исследованию и проектированию сложных экономических, социальных, технических систем, чаще всего слабоструктурированных.* Характерными примерами таких систем являются производственные системы. При проектировании систем цели достигаются в многошаговых процессах принятия решений. Методы принятия решений

часто выделяют в самостоятельную дисциплину, называемую “Теория принятия решений”.

В технике дисциплину, в которой исследуются сложные технические системы, их проектирование, и аналогичную теории систем, чаще называют *системотехникой*. Предметом *системотехники* являются, во-первых, *организация процесса создания, использования и развития технических систем*, во-вторых, *методы и принципы их проектирования и исследования*. В системотехнике важно уметь сформулировать цели системы и организовать ее рассмотрение с позиций поставленных целей. Тогда можно отбросить лишние и малозначимые части при проектировании и моделировании, перейти к постановке оптимизационных задач.

Системы автоматизированного проектирования и управления относятся к числу наиболее сложных современных искусственных систем. Их проектирование и сопровождение невозможны без системного подхода. Поэтому идеи и положения системотехники входят составной частью в дисциплины, посвященные изучению современных автоматизированных систем и технологий их применения. Интерпретация и конкретизация системного подхода имеют место в ряде известных подходов с другими названиями, которые также можно рассматривать как компоненты системотехники. Таковы структурный, блочно-иерархический, объектно-ориентированный подходы.

При *структурном подходе*, как разновидности системного, требуется синтезировать варианты системы из компонентов (блоков) и оценивать варианты при их частичном переборе с предварительным прогнозированием характеристик компонентов.

Блочно-иерархический подход к проектированию использует идеи декомпозиции сложных описаний объектов и соответственно средств их создания на иерархические уровни и аспекты, вводит понятие стиля проектирования (восходящее и нисходящее), устанавливает связь между параметрами соседних иерархических уровней.

Ряд важных структурных принципов, используемых при разработке информационных систем и прежде всего их программного обеспечения (ПО), выражен в *объектно-ориентированном подходе* к проектированию (ООП). Такой подход имеет следующие преимущества в решении проблем управления сложностью и интеграции ПО: 1) вносит в модели приложений большую структурную определенность, распределяя представленные в приложении данные и процедуры между классами объектов; 2) сокращает объем спецификаций, благодаря введению в описания иерархии объектов и отношений наследования между свойствами объектов разных уровней

иерархии; 3) уменьшает вероятность искажения данных вследствие ошибочных действий за счет ограничения доступа к определенным категориям данных в объектах. Описание в каждом классе объектов допустимых обращений к ним и принятых форматов сообщений облегчает согласование и интеграцию ПО.

Для всех подходов к проектированию сложных систем характерны также следующие особенности.

1. *Структуризация* процесса проектирования, выражаемая декомпозицией проектных задач и документации, выделением стадий, этапов, проектных процедур. Эта структуризация является сущностью блочно-иерархического подхода к проектированию.

2. *Итерационный* характер проектирования.

3. *Типизация* и *унификация* проектных решений и средств проектирования.

1.3. Основные понятия системотехники.

В теории систем и системотехнике введен ряд терминов, среди них к базовым нужно отнести следующие понятия.

Система — множество элементов, находящихся в отношениях и связях между собой.

Элемент — такая часть системы, представление о которой нецелесообразно подвергать при проектировании дальнейшему членению.

Сложная система — система, характеризующаяся большим числом элементов и, что наиболее важно, большим числом взаимосвязей элементов. Сложность системы определяется также видом взаимосвязей элементов, свойствами *целенаправленности, целостности, членимости, иерархичности, многоаспектности*. Очевидно, что современные автоматизированные информационные системы и, в частности, системы автоматизированного проектирования, являются сложными в силу наличия у них перечисленных свойств и признаков.

Подсистема — часть системы (подмножество элементов и их взаимосвязей), которая имеет свойства системы.

Надсистема — система, по отношению к которой рассматриваемая система является подсистемой.

Структура — отображение совокупности элементов системы и их взаимосвязей; понятие структуры отличается от понятия самой системы

также тем, что при описании структуры принимают внимание лишь типы элементов и связей без конкретизации значений их параметров.

Параметр — величина, выражающая свойство или системы, или ее части, или влияющей на систему среды. Обычно в моделях систем в качестве параметров рассматривают величины, не изменяющиеся в процессе исследования системы. Параметры подразделяют на *внешние, внутренние и выходные*, выражающие свойства элементов системы, самой системы, внешней среды соответственно. Векторы внутренних, выходных и внешних параметров далее обозначаются $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$,

$Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$, $Q = (q_1, q_2, \dots, q_k)$ соответственно.

Фазовая переменная — величина, характеризующая энергетическое или информационное наполнение элемента или подсистемы.

Состояние — совокупность значений фазовых переменных, зафиксированных в одной временной точке процесса функционирования.

Поведение (динамика) системы — изменение состояния системы в процессе функционирования.

Система без последействия — ее поведение при $t > t_0$ определяется заданием состояния в момент t_0 и вектором внешних воздействий $Q(t)$. В системах с последействием, кроме того, нужно знать предысторию поведения, т.е. состояния системы в моменты, предшествующие t_0 .

Вектор переменных V , характеризующих состояние (вектор переменных состояния), — избыточное множество фазовых переменных, задание значений которых в некоторый момент времени полностью определяет поведение системы в дальнейшем (в автономных системах без последействия).

Пространство состояний — множество возможных значений вектора переменных состояния.

Фазовая траектория — представление процесса (зависимости $V(t)$) в виде последовательности точек в пространстве состояний.

К характеристикам сложных систем, как сказано выше, часто относят следующие понятия.

Целенаправленность — свойство искусственной системы, выражающее назначение системы. Это свойство необходимо для оценки эффективности вариантов системы.

Целостность — свойство системы, характеризующее взаимосвязанность элементов и наличие зависимости выходных параметров от параметров элементов, при этом большинство выходных параметров не является простым повторением или суммой параметров элементов.

Иерархичность — свойство сложной системы, выражающее возможность и целесообразность ее иерархического описания, т.е. представления в виде нескольких уровней, между компонентами которых имеются отношения целое-часть.

Составными частями системотехники являются следующие основные разделы:

- иерархическая структура систем, организация их проектирования;
- анализ и моделирование систем;
- синтез и оптимизация систем.

Моделирование имеет две четко различимые задачи: 1 — создание моделей сложных систем (в англоязычном написании — *modeling*); 2 — анализ свойств систем на основе исследования их моделей (*simulation*).

Синтез также подразделяют на две задачи: 1 — синтез структуры проектируемых систем (*структурный синтез*); 2 — выбор численных значений параметров элементов систем (*параметрический синтез*). Эти задачи относятся к области принятия проектных решений.

Моделирование и оптимизацию желательно выполнять с учетом статистической природы систем. Детерминированность — лишь частный случай. При проектировании характерны нехватка достоверных исходных данных, неопределенность условий принятия решений. Учет статистического характера данных при моделировании в значительной мере основан на методе статистических испытаний (методе Монте-Карло), а принятие решений — на использовании нечетких множеств, экспертных систем, эволюционных вычислений.

2. Структура процесса проектирования

2.1. Иерархическая структура проектных спецификаций и иерархические уровни проектирования.

2.1.1. При использовании **блочно-иерархического подхода** к проектированию представления о проектируемой системе расчленяют на **иерархические уровни**.

1) На верхнем уровне используют наименее детализированное представление, отражающее только самые общие черты и особенности проектируемой системы.

2) На следующих уровнях степень подробности описания возрастает, при этом рассматривают уже отдельные блоки системы, но с учетом воздействий на каждый из них его соседей.

Такой подход позволяет на каждом иерархическом уровне формулировать задачи приемлемой сложности, поддающиеся решению с помощью имеющихся средств проектирования. Разбиение на уровни должно быть таким, чтобы документация на блок любого уровня была обзрима и воспринимается одним человеком.

Другими словами, блочно-иерархический подход есть декомпозиционный подход (его можно назвать также диакоптическим), который основан на разбиении сложной задачи большой размерности на последовательно и (или) параллельно решаемые группы задач малой размерности, что существенно сокращает требования к используемым вычислительным ресурсам или время решения задач.

Можно говорить не только об иерархических уровнях спецификаций, но и об *иерархических уровнях проектирования*, понимая под каждым из них совокупность спецификаций некоторого иерархического уровня совместно с постановками задач, методами получения описаний и решения возникающих проектных задач.

Список иерархических уровней в каждом приложении может быть специфичным, но для большинства приложений характерно следующее наиболее крупное выделение уровней:

— *системный уровень*, на котором решают наиболее общие задачи проектирования систем, машин и процессов; результаты проектирования представляют в виде структурных схем, генеральных планов, схем размещения оборудования, диаграмм потоков данных и т.п.;

— *макроуровень*, на котором проектируют отдельные устройства, узлы машин и приборов; результаты представляют в виде функциональных, принципиальных и кинематических схем, сборочных чертежей и т. п.;

— *микроуровень*, на котором проектируют отдельные детали и элементы машин и приборов.

В каждом приложении число выделяемых уровней и их наименования могут быть различными. Так, в радиоэлектронике микроуровень часто называют компонентным, макроуровень — схемотехническим. Между схемотехническим и системным уровнями вводят уровень, называемый функционально-логическим. В вычислительной технике системный уровень подразделяют на уровни проектирования ЭВМ (вычислительных систем) и вычислительных сетей. В машиностроении имеются уровни деталей, узлов, машин, комплексов.

В зависимости от последовательности решения задач иерархических уровней различают нисходящее, восходящее и смешанное проектирование (стили проектирования). Последовательность решения задач от нижних уровней к верхним характеризует *восходящее* проектирование, обратная последовательность приводит к *нисходящему* проектированию, в *смешанном* стиле имеются элементы как восходящего, так и нисходящего проектирования. В большинстве случаев для сложных систем предпочитают нисходящее проектирование. Отметим однако, что при наличии заранее спроектированных составных блоков (устройств) можно говорить о смешанном проектировании.

Неопределенность и нечеткость исходных данных при нисходящем проектировании (так как еще не спроектированы компоненты) или исходных требований при восходящем проектировании (поскольку ТЗ имеется на всю систему, а не на ее части) обуславливают необходимость прогнозирования недостающих данных с последующим их уточнением, т.е. последовательного приближения к окончательному решению (*итерационность* проектирования).

2.1.2. Наряду с декомпозицией описаний на иерархические уровни применяют **разделение представлений о проектируемых объектах на аспекты.**

Аспект описания (страта) — описание системы или ее части с некоторой оговоренной точки зрения, определяемой функциональными, физическими или иного типа отношениями между свойствами и элементами.

Различают аспекты функциональный, информационный, структурный и поведенческий (процессный).

1. *Функциональное* описание относят к функциям системы и чаще всего представляют его функциональными схемами.
2. *Информационное* описание включает в себя основные понятия предметной области (сущности), словесное пояснение или числовые значения характеристик (атрибутов) используемых объектов, а также

описание связей между этими понятиями и характеристиками. Информационные модели можно представлять графически (графы, диаграммы сущность-отношение), в виде таблиц или списков.

3. *Структурное* описание относится к морфологии системы, характеризует составные части системы и их межсоединения и может быть представлено структурными схемами, а также различного рода конструкторской документацией.

4. *Поведенческое* описание характеризует процессы функционирования (алгоритмы) системы и (или) технологические процессы создания системы. Иногда аспекты описаний связывают с подсистемами, функционирование которых основано на различных физических процессах.

Отметим, что в общем случае выделение страт может быть неоднозначным. Так, помимо указанного подхода очевидна целесообразность выделения таких аспектов, как *функциональное* (разработка принципов действия, структурных, функциональных, принципиальных схем), *конструкторское* (определение форм и пространственного расположения компонентов изделий), *алгоритмическое* (разработка алгоритмов и программного обеспечения) и *технологическое* (разработка технологических процессов) проектирование систем. Примерами страт в случае САПР могут служить также рассматриваемые далее виды обеспечения автоматизированного проектирования.

2.2. Стадии проектирования.

Стадии проектирования — наиболее крупные части проектирования, как процесса, развивающегося во времени. В общем случае выделяют стадии научно-исследовательских работ (НИР), эскизного проекта или опытно-конструкторских работ (ОКР), технического, рабочего проектов, испытаний опытных образцов или опытных партий. Стадию НИР иногда называют предпроектными исследованиями или стадией технического предложения. Очевидно, что по мере перехода от стадии к стадии степень подробности и тщательность проработки проекта возрастают, и рабочий проект уже должен быть вполне достаточным для изготовления опытных или серийных образцов. Близким к определению стадии, но менее четко оговоренным понятием, является понятие этапа проектирования.

Основные этапы процесса проектирования.

1.	Осознание общественной потребности в разрабатываемом изделии
2.	Техническое задание на проектирование (первичное описание)
3.	Анализ существующих технических решений
4.	Разработка функциональной схемы

5.	Разработка структурной схемы
6.	Метрический синтез механизма (синтез кинематической схемы)
7.	Статический силовой расчет
8.	Эскизный проект
9.	Кинетостатический силовой расчет
10.	Силовой расчет с учетом трения
11.	Расчет и конструирование деталей и кинематических пар (прочностные расчеты, уравнивание, балансировка, виброзащита)
12.	Технический проект
13.	Рабочий проект (разработка рабочих чертежей деталей, технологии изготовления и сборки)
14.	Изготовление опытных образцов
15.	Испытания опытных образцов
16.	Технологическая подготовка серийного производства
17.	Серийное производство изделия

Стадии (этапы) проектирования подразделяют на составные части, называемые *проектными процедурами*. Примерами проектных процедур могут служить подготовка детализированных чертежей, анализ кинематики, моделирование переходного процесса, оптимизация параметров и другие проектные задачи. В свою очередь, проектные процедуры можно расчленить на более мелкие компоненты, называемые *проектными операциями*, например, при анализе прочности детали сеточными методами операциями могут быть построение сетки, выбор или расчет внешних воздействий, собственно моделирование полей напряжений и деформаций, представление результатов моделирования в графической и текстовой формах. Проектирование сводится к выполнению некоторых последовательностей проектных процедур — *маршрутов проектирования*.

Иногда разработку ТЗ на проектирование называют **внешним** проектированием, а реализацию ТЗ – **внутренним** проектированием.

2.3. Содержание технических заданий на проектирование.

В ТЗ на проектирование объекта указывают, по крайней мере, следующие данные.

1. Назначение объекта.

2. Условия эксплуатации. Наряду с качественными характеристиками (представленными в вербальной форме) имеются

числовые параметры, называемые *внешними* параметрами, для которых указаны области допустимых значений. Примеры внешних параметров: температура окружающей среды, внешние силы, электрические напряжения, нагрузки и т.п.

3. Требования к *выходным* параметрам, т.е. к величинам, характеризующим свойства объекта, интересующие потребителя.

2.4. Классификация моделей и параметров, используемых при автоматизированном проектировании.

В автоматизированных проектных процедурах вместо еще не существующего проектируемого объекта оперируют некоторым квазиобъектом — *моделью*, которая отражает некоторые интересующие исследователя свойства объекта. Модель может быть *физическим* объектом (макет, стенд) или *спецификацией*. Среди моделей-спецификаций различают:

- функциональные,
- поведенческие,
- информационные,
- структурные модели (описания).

Эти модели называют *математическими*, если они формализованы средствами аппарата и языка математики. Классификацию математических моделей выполняют также по ряду других признаков.

А) В свою очередь, математические модели могут быть геометрическими, топологическими, динамическими, логическими и т.п., если они **отражают соответствующие свойства объектов.**

Наряду с математическими моделями при проектировании используют:

- функциональные IDEF0-модели,
- информационные модели в виде диаграмм сущность-отношение,
- геометрические модели-чертежи.

Математическая функциональная модель в общем случае представляет собой алгоритм вычисления вектора выходных параметров Y при заданных векторах параметров элементов X и внешних параметров Q .

Б) Математические модели могут быть **символическими и численными**. При использовании *символических* моделей оперируют не значениями величин, а их символическими обозначениями (идентифи-

фикаторами). *Численные* модели могут быть *аналитическими*, т.е. их можно представить в виде явно выраженных зависимостей выходных параметров Y от параметров внутренних X и внешних Q , или *алгоритмическими*, в которых связь Y , X и Q задана неявно в виде алгоритма моделирования. Важнейший частный случай алгоритмических моделей — *имитационные*, они отображают процессы в системе при наличии внешних воздействий на систему. Другими словами, имитационная модель — это алгоритмическая поведенческая модель.

В) В зависимости от принадлежности к тому или иному иерархическому уровню выделяют модели уровней:

- системного,
- функционально-логического,
- макроуровня (сосредоточенного)
- микроуровня (распределенного).

Г) По характеру используемого для описания математического аппарата различают модели:

- лингвистические,
- теоретико-множественные,
- абстрактно-алгебраические,
- нечеткие,
- автоматные и т.п.

Например, на системном уровне преимущественно применяют модели систем массового обслуживания и сети Петри, на функционально-логическом уровне — автоматные модели на основе аппарата передаточных функций или конечных автоматов, на макроуровне — системы алгебро-дифференциальных уравнений, на микроуровне — дифференциальные уравнения в частных производных. Особое место занимают геометрические модели, используемые в системах конструирования.

Д) Кроме того, введены понятия:

- полных моделей и макромоделей,
- моделей статических и динамических,
- детерминированных и стохастических,

- **аналоговых и дискретных,**

- **символических и численных.**

Полная модель объекта в отличие от *макромодели* описывает не только процессы на внешних выводах моделируемого объекта, но и внутренние для объекта процессы.

Статические модели описывают статические состояния, в них не присутствует время в качестве независимой переменной. *Динамические* модели отражают поведение системы, т.е. в них обязательно используется время.

Стохастические и *детерминированные* модели различаются в зависимости от учета или неучета случайных факторов.

В *аналоговых* моделях фазовые переменные — непрерывные величины, в *дискретных* — дискретные, в частном случае дискретные модели являются *логическими (булевыми)*, в них состояние системы и ее элементов описывается булевыми величинами. В ряде случаев полезно применение *смешанных* моделей, в которых одна часть подсистем характеризуется аналоговыми моделями, другая — логическими.

Информационные модели относятся к информационной страте автоматизированных систем, их используют прежде всего при инфологическом проектировании баз данных (БД) для описания связей между единицами информации.

Наибольшие трудности возникают при создании моделей слабоструктурированных систем, что характерно, прежде всего для системного уровня проектирования. Здесь значительное внимание уделяется экспертным методам. В теории систем сформулированы общие рекомендации по подбору экспертов при разработке модели, организации экспертизы, по обработке полученных результатов. Достаточно общий подход к построению моделей сложных слабоструктурированных систем выражен в методиках IDEF.

Обычно в имитационных моделях фигурируют фазовые переменные. Так, на макроуровне имитационные модели представляют собой системы алгебро-дифференциальных уравнений

$$J(dV/dt, V, t) = 0, \text{ при } t = 0 \ V = V_0, \quad (1.1)$$

где V — вектор фазовых переменных; t — время; V_0 — вектор начальных условий. К примерам фазовых переменных можно отнести токи и

напряжения в электрических системах, силы и скорости — в механических, давления и расходы — в гидравлических.

Выходные параметры систем могут быть двух типов. **Во-первых**, это *параметры-функционалы*, т.е. функционалы зависимостей $V(t)$ в случае использования (1.1). Примеры таких параметров: амплитуды сигналов, временные задержки, мощности рассеивания и т.п. **Во-вторых**, это параметры, характеризующие способность проектируемого объекта работать при определенных внешних условиях.

2.5. Типовые проектные процедуры.

Создать проект объекта (изделия или процесса) означает выбрать структуру объекта, определить значения всех его параметров и представить результаты в установленной форме. Результаты (проектная документация) могут быть выражены в виде чертежей, схем, пояснительных записок, программ для программно-управляемого технологического оборудования и других документов на бумаге или на машинных носителях информации.

Разработка (или выбор) структуры объекта есть проектная процедура, называемая *структурным синтезом*, а расчет (или выбор) значений параметров элементов X — процедура *параметрического синтеза*.

2.5.1. Задача структурного синтеза формулируется в системотехнике как *задача принятия решений* (ЗПР). Ее суть заключается в определении цели, множества возможных решений и ограничивающих условий.

Классификацию ЗПР осуществляют по ряду признаков. По числу критериев различают задачи одно- и многокритериальные. По степени неопределенности различают ЗПР детерминированные, ЗПР в условиях риска — при наличии в формулировке задачи случайных параметров, ЗПР в условиях неопределенности, т.е. при неполноте или недостоверности исходной информации.

Реальные задачи проектирования, как правило, являются многокритериальными. Одна из основных проблем постановки многокритериальных задач — установление правил предпочтения вариантов.

Наличие случайных факторов усложняет решение ЗПР. Основные подходы к решению ЗПР в условиях риска заключаются или в решении “для наихудшего случая”, или в учете в целевой функции математического ожидания и дисперсии выходных параметров. В первом случае задачу решают как детерминированную при завышенных требованиях к качеству решения, что является главным недостатком подхода. Во втором случае достоверность результатов решения намного выше, но возникают трудности

с оценкой целевой функции. Применение метода Монте-Карло в случае алгоритмических моделей становится единственной альтернативой и, следовательно, для решения требуются значительные вычислительные ресурсы.

Существуют две группы ЗПР в условиях неопределенности. Одна из них решается при наличии противодействия разумного противника. Такие задачи изучаются в *теории игр*, для задач проектирования в технике они не характерны. Во второй группе достижению цели противодействие оказывают силы природы. Для их решения полезно использовать теорию и методы *нечетких множеств*.

Например, при синтезе структуры автоматизированной системы постановка задачи должна включать в качестве исходных данных следующие сведения:

- множество выполняемых системой функций (другими словами, множество работ, каждая из которых может состоять из одной или более операций); возможно, что в этом множестве имеется частичная упорядоченность работ, что может быть представлено в виде ориентированного графа, в котором вершины соответствуют работам, а дуги — отношениям порядка;

- типы допустимых для использования серверов (машин), выполняющих функции системы;

- множество внешних источников и потребителей информации;

- во многих случаях задается также некоторая исходная структура системы в виде взаимосвязанной совокупности серверов определенных типов; эта структура может рассматриваться как обобщенная избыточная или как вариант первого приближения;

- различного рода ограничения, в частности, ограничения на затраты материальных ресурсов и (или) на времена выполнения функций системы.

Задача заключается в синтезе (или коррекции) структуры, определении типов серверов (программно-аппаратных средств), распределении функций по серверам таким образом, чтобы достигался экстремум целевой функции при выполнении заданных ограничений.

Конструирование, разработка технологических процессов, оформление проектной документации — частные случаи структурного синтеза.

2.5.2. Задачу параметрического синтеза называют параметрической *оптимизацией* (или оптимизацией), если ее решают как задачу математического программирования $\text{extr}F(X), X \in D_x$,

где $F(X)$ — целевая функция; X — вектор управляемых (называемых также проектными или варьируемыми) параметров; $D_x = \{X | Q(X) < 0, \square(X) = 0\}$ — допустимая область; $Q(X)$ и $\square(X)$ — функции-ограничения.

В процедурах многовариантного анализа определяется влияние внешних параметров, разброса и неустойчивости параметров элементов на выходные параметры. Процедуры статистического анализа и анализа чувствительности — характерные примеры процедур многовариантного анализа.

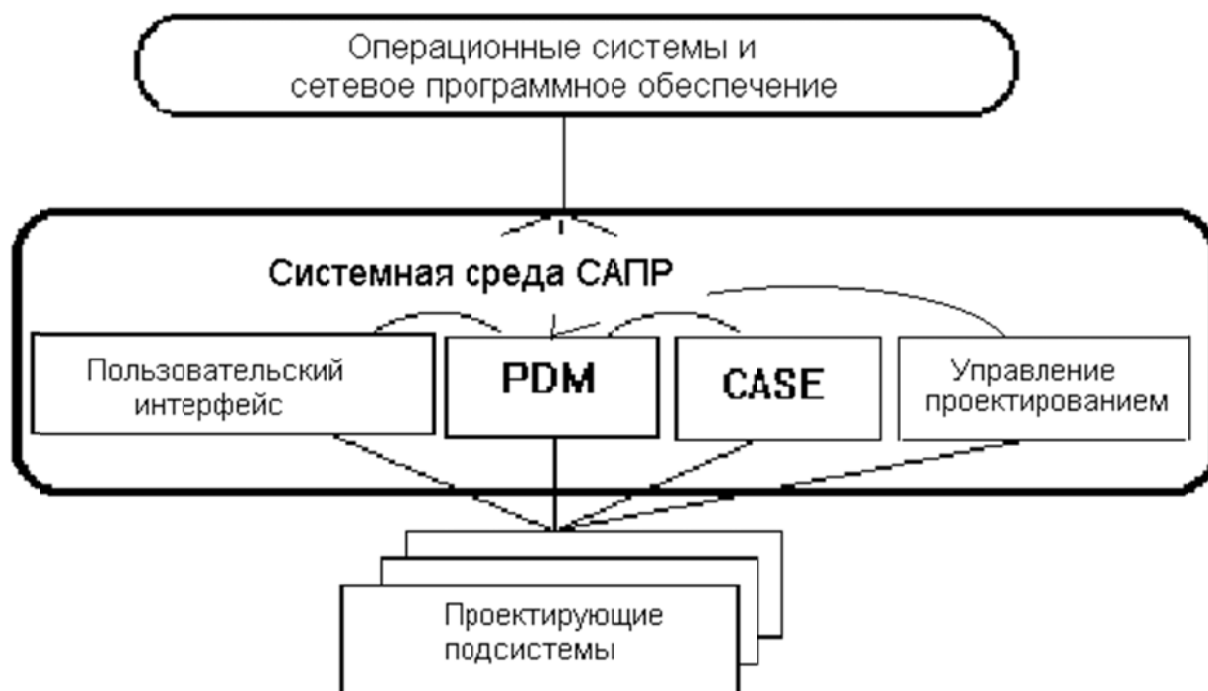


Рис 1.1. Структура программного обеспечения САПР

Проектирующие подсистемы непосредственно выполняют проектные процедуры. Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации, схмотехнического анализа, трассировки соединений в печатных платах.

Обслуживающие подсистемы обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР. Типичными обслуживающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными (PDM — ProductDataManagement), управления процессом проектирования (DesPM — DesignProcessManagement), пользовательского интерфейса для связи разработчиков с ЭВМ, CASE (ComputerAidedSoftwareEngineering) для

разработки и сопровождения программного обеспечения САПР, обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

2.6. Понятие о CALS-технологии.

CALS-технология — это технология комплексной компьютеризации сфер промышленного производства, цель которой — унификация и стандартизация спецификаций промышленной продукции на всех этапах ее жизненного цикла.

Основные спецификации представлены проектной, технологической, производственной, маркетинговой, эксплуатационной документацией. В CALS-системах предусмотрены хранение, обработка и передача информации в компьютерных средах, оперативный доступ к данным в нужное время и в нужном месте. Соответствующие системы автоматизации назвали автоматизированными логистическими системами или CALS (ComputerAidedLogisticSystems). Поскольку под логистикой обычно понимают дисциплину, посвященную вопросам снабжения и управления запасами, а функции CALS намного шире и связаны со всеми этапами жизненного цикла промышленных изделий, применяют и более соответствующую предмету расшифровку аббревиатуры CALS — ContinuousAcquisitionandLifeCycleSupport.

Применение CALS позволяет существенно сократить объемы проектных работ, так как описания многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в базах данных сетевых серверов, доступных любому пользователю технологии CALS. Существенно облегчается решение проблем ремонтпригодности, интеграции продукции в различные рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации, специализации проектных организаций и т. п. Ожидается, что успех на рынке сложной технической продукции будет немислим вне технологии CALS.

Развитие CALS-технологии должно привести к появлению так называемых *виртуальных производств*, при которых процесс создания спецификаций с информацией для программно управляемого технологического оборудования, достаточной для изготовления изделия, может быть распределен во времени и пространстве между многими организационно-автономными проектными студиями. Среди несомненных достижений CALS-технологии следует отметить:

- легкость распространения передовых проектных решений,

- возможность многократного воспроизведения частей проекта в новых разработках и др.

Построение открытых распределенных автоматизированных систем для проектирования и управления в промышленности составляет основу современной CALS-технологии. *Главная проблема их построения — обеспечение единообразного описания и интерпретации данных, независимо от места и времени их получения в общей системе, имеющей масштабы вплоть до глобальных.* Структура проектной, технологической и эксплуатационной документации, языки ее представления должны быть стандартизованными. Тогда становится реальной успешная работа над общим проектом разных коллективов, разделенных во времени и пространстве и использующих разные CAE/CAD/CAM-системы. Одна и та же конструкторская документация может быть использована многократно в разных проектах, а одна и та же технологическая документация адаптирована к разным производственным условиям, что позволяет существенно сократить и удешевить общий цикл проектирования и производства. Кроме того, упрощается эксплуатация систем.

Следовательно, информационная интеграция является неотъемлемым свойством CALS-систем. Поэтому в основу CALS-технологии положен ряд стандартов, обеспечивающих такую интеграцию.

2.7. Комплексные автоматизированные системы.

Известно, что частичная автоматизация зачастую не дает ожидаемого повышения эффективности функционирования предприятий. Поэтому предпочтительным является внедрение интегрированных САПР, автоматизирующих все основные этапы проектирования изделий. Дальнейшее повышение эффективности производства и повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции возможно за счет интеграции систем проектирования, управления и документооборота.

Такая интеграция лежит в основе создания *комплексных систем автоматизации*, в которых помимо функций собственно САПР реализуются средства для автоматизации функций управления проектированием, документооборота, планирования производства, учета и т. п.

Проблемы интеграции лежат в основе технологии Юпитер, пропагандируемой фирмой Intergraph. Пример сращивания некоторых подсистем из САПР и АСУ — программный продукт TechnODOCS (русская фирма Весть). Его функции:

— интеграция программ документооборота с проектирующими пакетами (конкретно с AutoCAD, Microstation и другими программами,

исполняемыми в Windows-средах и поддерживающими взаимодействие по технологиям DDE или OLE, разработанным фирмой Microsoft);

- ведение архива технической документации;
- маршрутизация работ и прохождение документации, контроль исполнения;
- управление параллельным проектированием, т.е. координацией проектных работ, выполняемых коллективно.

Очевидно, что подобная интеграция является неотъемлемой чертой CALS-систем. В основу CALS-технологии положен ряд стандартов и прежде всего это стандарты STEP, а также Parts Library, Mandate, SGML (Standard Generalized Markup Language), EDIFACT (Electronic Data Interchange For Administration, Commerce, Transport) и др.

Одна из наиболее известных реализаций CALS-технологии разработана фирмой Computervision. Это технология названа EPD (ElectronicProductDefinition) и ориентирована на поддержку процессов проектирования и эксплуатации изделий машиностроения.

В CALS-системах на всех этапах жизненного цикла изделий используется документация, полученная на этапе проектирования. Поэтому естественно, что составы подсистем в CALS и комплексных САПР в значительной мере совпадают.

Технологию EPD реализуют:

- CAD — система автоматизированного проектирования;
- CAM — автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП);
- CAE — система моделирования и расчетов;
- CAPE (Concurrent Art-to-Product Environment) — система поддержки параллельного проектирования (concurrent engineering);
- PDM — система управления проектными данными, представляющая собой специализированную СУБД (DBMS — Data Base Management System);
- 3 D Viewer -система трехмерной визуализации;
- CADD — система документирования;
- CASE — система разработки и сопровождения программного обеспечения;

— методики обследования и анализа функционирования предприятий.

Основу EPD составляют системы CAD и PDM, в качестве которых используются CADD5 и Optegra соответственно.

В значительной мере специфику EPD определяет система Optegra. В ней отображается иерархическая структура изделий, включающая все сборочные узлы и детали. В Optegra можно получить информацию об атрибутах любого элемента структуры, а также ответы на типичные для баз данных вопросы типа “Укажите детали из материала Р” или “В каких блоках используются детали изготовителя У?” и т.п.

Важной для пользователей особенностью Optegra является работа вместе с многооконной системой визуализации 3D Viewer. Пользователь может одновременно следить за информацией в нескольких типовых окнах:

— информационный браузер, в котором высвечиваются данные, запрашиваемые пользователем, например, из почтового ящика, Internet, корпоративных ресурсов, его персональной БД;

— окно структуры изделия, представляемой в виде дерева. Можно получать ответы на запросы подсветкой деталей Dj (листьев дерева), удовлетворяющих условиям запроса;

— 3D визуализатор, в этом окне высвечивается трехмерное изображение изделия, ответы на запросы даются и в этом окне цветовым выделением деталей Dj;

— окно пользовательского процесса, в котором в нужной последовательности в виде иконок отображается перечень задач, заданный пользователю для решения.

В системе Optegra связи между объектами задаются по протоколам стандартов STEP, внешний интерфейс осуществляется через базу данных SDAI.

2.8. Системы управления в составе комплексных автоматизированных систем.

Системы управления в промышленности, как и любые сложные системы, имеют иерархическую структуру. Если рассматривать предприятие как систему верхнего уровня, то следующими уровнями по нисходящей линии будут уровни завода, цеха, производственного участка, производственного оборудования. Автоматизация управления реализуется с помощью автоматизированных систем управления (АСУ).

Среди АСУ различают автоматизированные системы управления предприятием (АСУП) и автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП). АСУП охватывает уровни от предприятия до цеха, АСУТП — от цеха и ниже (на уровне цеха могут быть средства и АСУП, и АСУТП).

В АСУП выделяют подсистемы, **выполняющие определенные функции:**

- календарное планирование производства, потребностей в мощностях и материалах;
- оперативное управление производством;
- сетевое планирование проектов;
- управление проектированием изделий;
- учет и нормирование трудозатрат;
- учет основных фондов;
- управление финансами;
- управление запасами (складским хозяйством);
- управление снабжением
- маркетинг.

Процедуры, выполняющие эти функции, часто называют бизнес-функциями, а маршруты решения задач управления, состоящие из бизнес-функций, называют бизнес-процессами.

Существуют разновидности АСУП. Наиболее общую систему с перечисленными выше функциями называют ERP (EnterpriseResourcePlanning). Системы, направленные на управление информацией о материалах, производстве, контроле и т.п. изделий, называются MRP-2 (ManufacturingResourcePlanning). В ERP, как и в САПР, важная роль отводится системам управления данными PDM. Если PDM обеспечивает управление конфигурацией проектов и относится в большей мере к проектированию, то MRP-2 управляет данными, относящимися к производству. Для таких систем иногда используют также название MES (ManufacturingExecutionSystem).

Мировыми лидерами среди систем программного обеспечения АСУП являются системы R3 (фирма SAP) и Baan IV (Baan), широко известны также MANMAN/X (ComputerAssociatesCIS), EШ« Series (TecsystInc.), Mapix (IBM)

и др. Примерами комплексных систем управления предприятием, созданных в России, служат системы АККОРД фирмы Атлант Информ, а также системы фирм Галактика и Парус. Корпоративные информационные системы разрабатывают также такие российские фирмы, как АйТи, R-Style.

Характерные особенности современных АСУП.

1. Открытость по отношению к ведущим платформам (UNIX, Windows, OS/2) и различным СУБД и прежде всего мощным СУБД типа Oracle, Ingres, Informix, Sybase; поддержка технологий типа ODBC (OpenDataBaseConnection), OLE (ObjectLinkingandEmbedding), DDE (DynamicDataExchange); поддержка архитектур клиент/сервер. Важная характеристика — возможность работы в среде распределенных вычислений.

2. Возможность сквозного выполнения всех допустимых бизнес-функций или их части, что обеспечивается модульным построением (количество функций может превышать 100).

3. Адаптируемость к конкретным заказчикам и условиям рынка.

4. Наличие инструментальных средств, в том числе языка расширения или 4GL (языка четвертого поколения). Так, в R3 используется язык АВАР/L, в EliteSeries — язык Informix-4GL.

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

Очевидно, что для создания и развития виртуальных предприятий необходимы распространение CALS-технологии не только на САПР, но и на АСУ, их интеграция в комплексные системы информационной поддержки всех этапов жизненного цикла промышленной продукции.

Функциями АСУТП на уровнях цеха и участка являются сбор и обработка данных о состоянии оборудования и протекании производственных процессов для принятия решений по загрузке станков, по выполнению технологических маршрутов. Программное обеспечение АСУТП на этих уровнях представлено системой диспетчерского управления и сбора данных, называемой SCADA(*SupervisoryControlandDataAcquisition*), а техническое обеспечение — персональными ЭВМ и микрокомпьютерами, связанными локальной вычислительной сетью. Кроме диспетчерских функций, SCADAвыполняет роль инструментальной системы разработки программного обеспечения для промышленных систем компьютерной автоматизации, т.е. роль специфической CASE-системы. Для систем АСУТП характерно использование *программируемых контроллеров* (ПЛК или PLC —

ProgrammedLogicController), — компьютеров, встроенных в технологическое оборудование.

Функции SCADA:

1. сбор первичной информации от датчиков;
2. хранение, обработка и визуализация данных;
3. управление и регистрация аварийных сигналов;
4. связь с корпоративной информационной сетью;
5. автоматизированная разработка прикладного ПО.

К разработке программ для программируемых контроллеров обычно привлекаются не профессиональные программисты, а заводские технологи. Поэтому языки программирования должны быть достаточно простыми, обычно построенными на визуальных изображениях ситуаций. Например, используются различные схемные языки. Ряд языков стандартизован и представлен в международном стандарте IEC 1131-3.

На уровне управления технологическим оборудованием в АСУТП выполняются запуск, тестирование, выключение станков, сигнализация о неисправностях, выработка управляющих воздействий для рабочих органов программно управляемого оборудования (*NC* — NumericalControl). Для этого в составе технологического оборудования используются системы управления на базе встроенных контроллеров.

2.9. Автоматизированные системы делопроизводства (АСД).

Информационные технологии и автоматизированные системы управления документами и документооборотом пользуются все возрастающим вниманием среди предприятий и фирм различного профиля, поскольку организация работы с документами существенно влияет на эффективность производственных и бизнес-процессов. Такие системы имеют как самостоятельное значение, так и играют важную роль в интегрированных автоматизированных системах управления и проектирования.

Автоматизированные системы делопроизводства по своему назначению подразделяют на системы управления документами (СУД), управления документооборотом (СДО), управления знаниями (в сфере делопроизводства) и инструментальные среды делопроизводства. В соответствии с другими критериями классификации системы делопроизводства подразделяют на специализированные и комплексные, локальные и распределенные, фактографические и документографические (полнотекстовые), заказные и тиражируемые.

Системы управления документами предназначены для обеспечения санкционированного доступа к документам. Характерные функции СУД:

— ввод документов, в частности, с помощью средств их автоматического распознавания;

— индексирование документов, например, оформление регистрационных карточек с полями для атрибутов; возможно атрибутивное индексирование — к атрибутам относятся автор документа, дата создания и ключевые слова или полнотекстовое индексирование — в индекс заносят весь текст, но без предлогов и окончаний некоторых слов.

— хранение документов;

— поиск нужных данных, который может быть атрибутивным в фактографических БД или полнотекстовым в случае слабоструктурированных документов;

— поддержка групповой работы над документами;

— разграничение прав доступа к документам;

— контроль и управление версиями документов, регламентирующие внесение в них изменений;

— сбор и анализ статистических данных по параметрам документов и функционированию системы;

— подготовка отчетов.

Системы управления документооборотом служат для управления деловыми процессами прохождения и обработки документов в соответствующих подразделениях и службах организации. Характерные функции СДО:

— регистрация документов при их вхождении в систему;

— маршрутизация документов, учет их движения (маршрутизация может быть жесткой при фиксированных маршрутах или свободной); управление потоками документов обеспечивает прохождение документов по заданному маршруту с контролем внесения в них резолюций, управление внесением изменений включает систему приоритетов, средства протоколирования изменений;

— контроль исполнения предписываемых документами действий;

— защита информации при ее передаче между пунктами распределенной системы;

- автоматическое уведомление соответствующих лиц о состоянии документов и содержащихся в них директив и рекомендаций;
- планирование работ, связанных с прохождением документов.

К *системам управления знаниями* в области делопроизводства относят системы, выполняющие функции, характерные для интеллектуальных систем. Примеры таких функций:

- классификация документов по тем или иным признакам;
- взаимное связывание документов, например, с помощью гипертекста;
- тематический отбор документов;
- интеграция данных, поступающих из различных источников;
- аналитическая обработка данных;
- моделирование деловых процессов.

Инструментальные среды в системах делопроизводства служат для формирования систем делопроизводства, адаптированных к условиям конкретных предприятий и фирм. Часто такое формирование производится путем дополнения некоторого базового компонента, в состав системы входит соответствующий язык расширения.

Кроме перечня решаемых задач, выделяют следующие свойства и характеристики систем делопроизводства:

- открытость, программные интерфейсы и форматы данных для обмена с другими информационными системами;
- мобильность для инсталляции на ведущих платформах;
- модульное построение, что обеспечивает масштабируемость — возможность эволюционного развития, адаптируемость, возможность внедрения на предприятиях по частям.
- пользовательский интерфейс;
- быстродействие, временные затраты на выполнение задач;
- уровень защиты информации;
- соответствие стандартам информационных технологий;
- операционные среды и используемые СУБД, требования к аппаратным ресурсам.

— перенос документов по мере их устаревания на более дешевые носители.

В крупных АСД предусматривается распределенное хранение с доступом в режимах как off-line, так и on-line. В первом случае пользователь формирует запрос в виде совокупности ключевых слов и направляет его средствами электронной почты (E-mail), СДО выдает список релевантных документов, пользователь выбирает из списка нужные документы и посылает вторичный более конкретный запрос, получая по E-mail запрошенные документы. Во втором случае используется связь в реальном времени, документ вызывается на экран компьютера и пользователь может непосредственно его просматривать и редактировать.

Современные корпоративные системы делопроизводства являются распределенными, имеющими архитектуру клиент-сервер. На серверной стороне находят применение серверы баз данных, полнотекстовых документов, электронной почты, приложений, SQL- и Web-серверы. На клиентской стороне могут выделяться рабочие места пользователей, администратора и разработчиков баз данных, информационно-поисковых систем, форм документов и т.п. В частности, применяются трехзвенные распределенные системы.