

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Основы САПР
сборник учебно-методических материалов
для направления подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная
техника»
профиль – Автоматизированные системы обработки информации и
управления

Благовещенск, 201____

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета
факультета математики и информатики
Амурского государственного
университета*

Составитель: Бушманов А.В.

Основы САПР: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки для направления подготовки для направления подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», профиль – Автоматизированные системы обработки информации и управления. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2016.

© Амурский государственный университет, 2016
© Кафедра Информационных и управляющих систем, 2016
© Бушманов А.В., составление

1. Методические рекомендации (указания) к практическим занятиям

Тема 1. Структура процесса проектирования. Общие вопросы и определения.

Проектирование – это комплекс работ с целью получения описаний нового или модернизируемого технического объекта, достаточных для реализации или изготовления объекта в заданных условиях. Объектами проектирования могут быть изделия (например, обрабатывающий центр, двигатель внутреннего сгорания, ЭВМ) или процессы (например, технологические, вычислительные). Комплекс проектных работ включает в себя теоретические и экспериментальные исследования, расчеты, конструирование.

Проектирование, осуществляемое человеком при взаимодействии с ЭВМ, называют *автоматизированным*. Степень автоматизации может быть различной и оценивается долей σ проектных работ, выполняемых на ЭВМ без участия человека. При $\sigma = 0$ проектирование называют *неавтоматизированным*, при $\sigma = 1$ – *автоматическим*.

Автоматизированное проектирование осуществляется в рамках САПР. В соответствии с ГОСТом *система автоматизированного проектирования* – это организационно-техническая система, состоящая из комплекса средств автоматизации проектирования (АП), взаимодействующего с подразделениями проектной организации, и выполняющая автоматизированное проектирование.

Аспекты и иерархические уровни проектирования.

Аспекты характеризуют ту или иную группу родственных свойств объекта. *Функциональный аспект* отражает физические и (или) информационные процессы, протекающие в объекте при его функционировании. *Конструкторский аспект* характеризует структуру, расположение в пространстве и форму составных частей объекта, *технологический аспект* – технологичность, возможности и способы изготовления объекта в заданных условиях.

Функциональным называется проектирование, связанное с решением группы задач, относящихся к функциональному аспекту. При функциональном проектировании получают и преобразуют структурные, функциональные и принципиальные схемы. Аналогично выделяют конструкторское и технологическое проектирование.

Внутри каждого аспекта выделяют *иерархические уровни* (уровни абстрагирования). На верхнем иерархическом уровне рассматривается весь сложный объект как совокупность взаимодействующих подсистем. На следующем уровне подсистем они рассматриваются отдельно как системы, состоящие из некоторых составных частей, и имеют большую подробность описаний. Процесс декомпозиции описаний и поблочного их рассмотрения можно продолжить вплоть до получения описаний блоков, состоящих из базовых элементов. Разделение описаний проектируемых объектов на иерархические уровни по степени подробности отражения свойств объектов составляет сущность *блочно-иерархического подхода к проектированию*. Соответственно группы процедур получения и преобразования описаний выделенных уровней, называются иерархическими уровнями проектирования.

Процесс проектирования.

Проектирование делится на стадии, этапы и процедуры. При проектировании сложных объектов выделяют стадии

- научно-исследовательских работ (НИР);
- опытно-конструкторских работ (ОКР);
- технического проекта;
- рабочего проекта;
- испытаний опытного образца.

Стадию *НИР* во многих случаях можно разделить на стадии

- предпроектных исследований;
- технического задания;
- технического предложения.

На этих стадиях последовательно изучаются потребности в получении новых изделий с заданным целевым назначением, исследуются физические, информационные, конструктивные и технологические принципы построения изделий. Далее исследуются возможности реализации этих принципов, прогнозируются возможные значения характеристик и параметров объектов. *Результатом НИР является формулировка технического задания (ТЗ) на разработку нового объекта.*

На стадии *ОКР* разрабатывается эскизный проект изделия, проверяются, конкретизируются и корректируются принципы и положения, установленные на стадии НИР.

На стадии *технического проекта* принимаются подробные технические решения и прорабатываются все части проекта.

На стадии *рабочего проекта* создается полный комплект конструкторско-технологической документации, достаточный для изготовления объекта.

На стадии *испытаний опытного образца* (или пробной партии при крупносерийном производстве) получают результаты, позволяющие выявить возможные ошибки и недоработки проекта, принимаются меры к их устранению, после чего документация передается на предприятия, выделенные для серийного производства изделий.

Проектирование разделяется также на этапы. Используются при этом следующие понятия. *Проектное решение* – описание объекта или его составной части, достаточное для рассмотрения и принятия заключения об окончании проектирования или путях его продолжения. *Проектная процедура* – часть проектирования, заканчивающаяся получением проектного решения. Примерами проектных процедур служат синтез функциональной схемы устройства, оптимизация параметров функционального узла, трассировка межсоединений на печатной плате и т. п. *Этап проектирования* – это условно выделенная часть проектирования, сводящаяся к выполнению одной или нескольких проектных процедур, объединенных по признаку принадлежности получаемых проектных решений к одному иерархическому уровню и (или) аспекту описаний.

На любой стадии или этапе проектирования можно выявить ошибочность или неоптимальность ранее принятых решений и, следовательно, необходимость или целесообразность их пересмотра. Подобные возвраты характерны для проектирования и обуславливают его *итерационный характер*. Может быть также выявлена необходимость корректировки ТЗ. Вводят понятия *процедур внешнего и внутреннего проектирования*. К внешнему проектированию относят процедуры формирования или корректировки технического задания, а к внутреннему – процедуры реализации сформированного ТЗ. Тогда можно сказать, что происходит чередование процедур внешнего и внутреннего проектирования, что особенно характерно для ранних стадий (НИР, ОКР). При этом различают нисходящее (сверху вниз) и восходящее (снизу вверх) проектирование. При *нисходящем проектировании* задачи высоких иерархических уровней решаются прежде, чем задачи более низких иерархических уровней. При *восходящем проектировании* последовательность противоположная. Функциональное проектирование сложных систем чаще всего является нисходящим, конструкторское проектирование – восходящим.

Процедуры синтеза и анализа.

Проектные процедуры делятся на процедуры синтеза и анализа.

Процедуры синтеза заключаются в создании описаний проектируемых объектов. В таких описаниях отображаются структура и параметры объекта и соответственно существуют процедуры структурного и параметрического синтеза. Под *структурой объекта* понимают состав его элементов и способы связи элементов друг с другом. *Параметр объекта* – величина, характеризующая некоторое свойство объекта или режим его функционирования. Примерами процедур структурного синтеза служат синтез структурной схемы с корректирующими устройствами (структура которой выражается перечнем входящих в

нее звеньев и их соединений) или синтез алгоритма (его структура определяется составом и последовательностью операторов). Процедура параметрического синтеза заключается в расчете значений параметров элементов при заданной структуре объекта, например коэффициентов корректирующих устройств.

Процедуры анализа заключаются в исследовании проектируемого объекта или его описания, направленном на получение полезной информации о свойствах объекта. Цель анализа – проверка работоспособности объекта. Часто задача анализа формулируется как задача установления соответствия двух различных описаний одного и того же объекта. При этом одно из описаний считается первичным и его корректность предполагается установленной. Другое описание относится к более подробному уровню иерархии или к другому аспекту, и его правильность нужно установить сопоставлением с первичным описанием. Такое сопоставление называется *верификацией*.

Маршруты проектирования и принципы их построения.

Маршрутом проектирования называется последовательность проектных процедур, ведущая к получению требуемых проектных решений.

Основные *принципы построения маршрутов проектирования*:

- расчленение сложной задачи синтеза полного комплекта конструкторско - технической документации на более простые задачи синтеза промежуточных проектных решений

- чередование процедур синтеза/и верификации

- итерационность проектирования

- усиление тщательности анализа (многовариантность, усложнение моделей) по мере приближения к окончательному проектному решению.

Расчленение сложной задачи синтеза на ряд простых выполняется в соответствии с блочно - иерархическим подходом к проектированию. Расчленение позволяет организовать параллельно-последовательное выполнение проектных процедур коллективом разработчиков.

Чередование процедур синтеза и верификации обусловлено тем, что для большинства задач структурного синтеза отсутствуют методы, обеспечивающие безошибочное получение проектных решений, удовлетворяющих требованиям ТЗ. Это связано с трудностями формализации задач синтеза, поэтому основные решения принимает человек на основе эвристических приемов. При этом невозможно учесть все многообразие качественных и количественных требований и избежать ошибок. Поэтому результаты предложенных при синтезе проектных решений контролируются выполнением верификации.

Итерационность проектирования обусловлена двумя факторами. Во-первых, она вытекает из особенностей блочно-иерархического подхода. Действительно, при нисходящем проектировании на n -м иерархическом уровне можно лишь предположительно судить о свойствах неспроектированных элементов, которые будут разрабатываться на следующем $(n+1)$ -м уровне. При восходящем проектировании неопределенность связана с требованиями ТЗ, корректность которых может быть установлена только при выполнении процедур самого верхнего иерархического уровня. Поэтому ошибочность или неоптимальность решений, полученных на предыдущих этапах, выявляется в последующем, что требует возврата к предыдущим этапам для перепроектирования. Во-вторых, итерационность связана с чередованием синтеза и верификации, представляющим собой последовательное приближение к приемлемому проектному решению. Очевидно, что на первых итерациях синтезируемые варианты хуже с точки зрения выполнения ТЗ, чем последующие. Поэтому на первых итерациях с помощью довольно приближенных моделей полученные варианты оцениваются быстро и просто. Чем ближе очередной вариант к окончательному решению, тем более точное и всестороннее исследование требуется для его оценки. Следовательно, в процедурах верификации нужно использовать не одну модель объекта, а иерархический ряд моделей, различающихся сложностью и точностью.

Усиление тщательности анализа по мере приближения к окончательному решению выражается также в том, что проверка производится по все большему числу показателей, оговариваемых в ТЗ, зачастую с учетом статистического характера параметров и нестабильности внешних условий.

Подходы к верификации.

Существуют два подхода к верификации проектных процедур: аналитический и численный.

Аналитический подход основан на использовании формальных методов доказательства соответствия двух сравниваемых описаний. В настоящее время класс объектов, для которых удастся реализовать аналитический подход, ограничен.

Численный подход основан на математическом моделировании процессов функционирования проектируемых объектов. Моделирование – это исследование объекта путем создания его модели и оперирования ею с целью получения полезной информации об объекте. При математическом моделировании исследуется математическая модель (ММ) объекта.

Математической моделью технического объекта называется совокупность математических объектов (чисел, скалярных переменных, векторов, матриц, графов и т. п.) и связывающих их отношений, отражающая свойства моделируемого технического объекта, интересующие инженера-проектировщика.

Математическая модель, отражающая поведение моделируемого объекта при заданных изменяющихся во времени внешних воздействиях, называется *имитационной*.

При конструировании необходимо определить прежде всего геометрические и топологические свойства объектов: форму деталей и их взаимное расположение в конструкции. Эти свойства отображаются с помощью структурных математических моделей, которые могут быть выражены уравнениями поверхностей и линий, системами неравенств, графами и т. п.

При функциональном проектировании моделируют состояние или процессы – последовательности сменяющих друг друга состояний объекта. Такое моделирование осуществляется с помощью *функциональных математических моделей*. Типичная форма функциональных ММ – система уравнений, выражающая взаимосвязи между фазовыми u_i (характеризуют состояние объекта), внешними q_k (характеризуют состояние внешней по отношению к объекту среды) и независимыми переменными, которыми могут быть время t и пространственные координаты x_1, x_2, x_3 . Решением системы уравнений являются зависимости элементов вектора V фазовых переменных от $Z=(t, x_1, x_2, x_3)$, представляемых в виде совокупности графиков или в табличной форме.

Верификация на основе моделирования заключается в установлении соответствия проектного решения, представленного математической моделью $M_{пр}$, исходному (эталонному) описанию, заданному в виде ТЗ или модели $M_{эт}$ иного иерархического уровня или аспекта, нежели $M_{пр}$. Обе модели в общем случае имеют разные размерности и состав векторов фазовых переменных. При верификации должны использоваться одинаковые векторы *внешних параметров* $Q=(q_1, q_2, ..., q_l)$. В этом случае обе модели должны приводить к одинаковым, в пределах заданной точности, зависимостям $V_{эт}(Z)$ и $V_{пр}(Z)$, где $V_{эт}$ и $V_{пр}$ – векторы фазовых переменных на выходах проектируемого объекта (или, что то же самое, на границах, отделяющих объект от внешней среды). Типичные внешние параметры – температура окружающей среды, напряжения источников питания, параметры входных сигналов и нагрузки. Соответствие двух описаний (моделей), в указанном выше смысле, называют *функциональной эквивалентностью*.

Векторы $Z, Q, V_{эт}$ и $V_{пр}$ или их отдельные элементы могут быть как дискретными (в частности, элементами векторов $V_{эт}$ и $V_{пр}$ могут быть булевы переменные), так и непрерывными

Если в результате моделирования для каждого тестового воздействия получают с оговоренной точностью совпадение выходных параметров, рассчитанных с помощью сравниваемых моделей, то говорят о соответствии (корректности) проверяемого описания. В практических задачах количество точек пространства (Z, Q) слишком велико, поэтому актуально сокращение числа испытаний при верификации.

Типовые проектные процедуры.

Процедуры структурного синтеза по характеру проектируемого объекта делятся на:

- синтез схем (принципиальных, функциональных, структурных, кинематических и др.)
- конструкций (определение геометрических форм, взаимного расположения деталей)
- процессов (технологических, вычислительных и др.)
- документации (чертежей, пояснительных записок, ведомостей и др.).

Основные процедуры параметрического синтеза

- оптимизация номинальных значений параметров элементов
- оптимизация их допусков
- идентификация моделей
- расчеты на основе упрощенных методик

По 2 пункту следует отметить, что важная задача назначения технических требований на параметры объекта, решаемая при внешнем проектировании, отнесена к задаче оптимизации допусков.

Идентификация моделей заключается в расчете параметров, используемых в ММ. Для процедур оптимизации, как правило, требуется выполнение большого объема вычислений с помощью сложных программных комплексов. В отдельных случаях удовлетворительные результаты параметрического синтеза получаются подобными расчетным методикам неавтоматизированного проектирования.

Детерминированная верификация может быть направлена на выявление соответствия структур объектов, заданных двумя различными описаниями (*структурная верификация*), или значений выходных параметров (*параметрическая верификация*). Параметрическая верификация может выполняться по полной совокупности параметров или по их части, в последнем случае различают верификацию статическую, динамическую, в частотной области.

Статистический анализ предназначен для получения статистических сведений о выходных параметрах при заданных законах распределения параметров элементов. Результаты статистического анализа можно представлять гистограммами, оценками числовых характеристик распределений выходных параметров.

Анализ чувствительности заключается в расчете коэффициентов чувствительности выходных параметров y_i к изменениям параметров элементов (или внешних параметров) x_i . Различают абсолютный и относительный коэффициенты чувствительности:

$$a_{ji} = \partial y_j / \partial x_i \quad b_{ji} = a_{ji} x_{in} / y_{in}$$

где x_{in} и y_{in} — номинальные значения параметров x_i и y_i соответственно.

Задачи, в которых исследование свойств объекта сводится к однократному решению уравнений модели при фиксированных значениях внутренних и внешних параметров, называются *задачами одновариантного анализа*. Задачи, требующие многократного решения уравнений модели при различных значениях внутренних и внешних параметров, называются *задачами многовариантного анализа*.



Виды обеспечения САПР.

Компонентами САПР являются виды обеспечения

- техническое,
- математическое
- программное,
- лингвистическое
- информационное,
- методическое
- организационное.

Техническое обеспечение – совокупность технических (аппаратных) средств, используемых в САПР для переработки, хранения, передачи информации, организации общения человека с ЭВМ, изготовления проектной документации. К техническому обеспечению САПР относят также средства организационной техники, различное измерительное оборудование для получения данных, используемых при проектировании.

Математическое обеспечение – совокупность математических моделей, методов, алгоритмов для решения задач автоматизированного проектирования. Математическое обеспечение реализуется в программном обеспечении САПР.

Программное обеспечение – совокупность программ, представленных в заданной форме, вместе с необходимой программной документацией, предназначенная для использования в САПР.

Лингвистическое обеспечение – совокупность языков, используемых в САПР для представления информации о проектируемых объектах, процессе и средствах проектирования, которой обмениваются люди с ЭВМ и между собой в процессе автоматизированного проектирования.

Информационное обеспечение – документы, содержащие описания стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, комплектующих изделий, материалов и другие данные, а также файлы и блоки данных с записью указанных документов.

Методическое обеспечение – документы, в которых отражены состав, правила отбора и эксплуатации средств автоматизированного проектирования. Иногда понятие методического обеспечения расширяют, включая в него лингвистическое и математическое обеспечения.

Организационное обеспечение – положения, инструкции, приказы, штатные расписания, квалификационные требования и другие документы, регламентирующие организационную структуру подразделений проектного предприятия и их взаимодействие с комплексом средств автоматизированного проектирования.

Подсистемы САПР.

При проектировании все компоненты САПР функционируют во взаимодействии, образуя для пользователя единый инструмент. В нем можно выделить отдельные структурные единицы: комплексы программно-методические (ПМК) и программно-технические (ПТК), подсистемы САПР.

Программно-методический комплекс – взаимосвязанная совокупность некоторых частей программного, математического, лингвистического, методического и информационного обеспечения, необходимая для получения законченного проектного решения по объекту проектирования или для выполнения определенных унифицированных процедур. Примеры ПМК: оформления документации, синтеза проектных решений, моделирования и т. п.

Программно-технический комплекс – взаимосвязанная совокупность программно-методических комплексов, объединенных по некоторому признаку, и средств технического обеспечения САПР. Понятие ПМК относится к программным средствам, а понятие ПТК – к вычислительным системам, объединяющим аппаратные и программные средства и предназначенным для применения в САПР. Примерами ПТК могут служить автоматизированные рабочие места, включающие в себя ЭВМ, комплект периферийных устройств и ряд ПМК для выполнения проектных маршрутов и процедур.

Программно-методический и программно-технический комплексы представляют собой промышленный продукт, разрабатываемый, изготавливаемый и поставляемый для создания или развития САПР на предприятиях заказчиков.

В конкретных САПР предприятий можно выделить несколько подсистем, каждая из которых выполняет определенные функции.

Подсистема САПР – это составная структурная часть САПР, обладающая всеми свойствами системы и являющаяся самостоятельной системой. Подсистемы САПР могут быть проектирующими или обслуживающими. Первые из них непосредственно участвуют в выполнении проектных процедур, а вторые обеспечивают правильное функционирование первых. По степени универсальности подсистемы делятся на объектные, ориентированные на определенный класс проектируемых объектов, и на инвариантные – не связанные с какими-либо конкретными типами объектов. Примером объектно-ориентированной подсистемы является подсистема конструкторского проектирования БИС, примером инвариантной подсистемы – подсистема параметрической оптимизации методами нелинейного программирования. Основные обслуживающие подсистемы: управляющая (мониторная) система САПР и система управления базами данных.

Тема 2. Внедрение систем автоматизированного проектирования.

Цели и задачи: Изучить критерии выбора САПР. Методы оценки различных САПР.

После занятия студент должен:

Знать: Этапы внедрения САПР. Критерии выбора САПР. Методы оценки САПР

Уметь: Разработать подходы и критерии при внедрении САПР.

Для выполнения лабораторной работы необходимо:

Проработать теоретический материал по теме: «Внедрение САПР».

Понятия, которые необходимо рассмотреть на занятии:

При обсуждении вопросов внедрения САПР/АПП основное внимание будет уделено приобретению системы у одной из фирм, специализирующихся на их создании. Подобные системы широко представлены на рынке и известны как системы, сдаваемые «под ключ». Однако критерии будут разработаны для всех трех указанных путей.

Вначале потенциальной фирме-пользователю следует решить вопрос о целесообразности внедрения САПР/АПП. Ответ на этот вопрос должен быть получен на основе анализа существующей и перспективной загрузки фирмы заказами. Для проведения такого анализа необходимо:

1. Определить объем производственной загрузки в различных областях деятельности фирмы (например, проектирования, планирования производства и т.п.).
2. Наметить объемы производства, которые могут быть возложены на САПР/АПП.
3. Установить приоритеты для выбранных в п. 2 различных составляющих производственной программы.
4. Использовать полученную в п. 3 производственную программу, упорядоченную по приоритетам, для определения характеристик необходимой САПР/АПП. Эти характеристики следует затем разделить на две группы:

Обязательные.

Желательные.

На основании такого анализа можно, например, прийти к заключению, что фирма не нуждается в собственной САПР/АПП. Это может произойти в тех случаях, когда производственная загрузка фирмы заказами недостаточна для того, чтобы скомпенсировать затраты на создание системы, либо когда перечень требуемых характеристик (в особенности обязательных) таков, что существующие САПР/АПП не удовлетворяют большинству его пунктов. В последнем случае фирма может оказаться перед выбором: создавать САПР/АПП собственными силами или расширять уже существующую вычислительную систему.

Если фирма пришла к заключению о необходимости создания САПР/АПП, то для ее реализации может использоваться общая методика, ориентированная на выбор системы, сдаваемой «под ключ», а не создаваемой самостоятельно. В связи с этим необходимо:

1. Разработать критерии выбора САПР/АПП, сдаваемой «под ключ». Критерии должны быть определены с учетом индивидуальных требований фирмы-пользователя.
2. Найти и посетить фирмы, эксплуатирующие САПР/АПП для тех же целей. Убедиться в их эффективности применительно к выполнению аналогичных задач.
3. Определить круг поставщиков систем и пригласить их рассказать о своих фирмах и выпускаемой ими продукции.
4. Сократить список возможных поставщиков до трех или четырех, подходящих в наибольшей степени.
5. Определить отношение дохода к издержкам (путем деления ожидаемой от системы выгоды на ее стоимость с учетом конкретных потребностей фирмы-пользователя) для каждой из конкурирующих систем.
6. Предложить поставщику с наивысшим значением этого коэффициента выполнить контрольный прогон типовой задачи. Типовая задача состоит из одной или нескольких конкретных задач пользователя, которые относятся к типичным сферам применения САПР/АПП.
7. Если типовая задача выполнена успешно, поставщик считается выбранным. Если же задача не выполнена, на основании соотношения «доход/издержки» выбирается следующий поставщик для выполнения типовой тестовой задачи и принятия решения о возможном заключении контракта.

В остальных разделах данной главы мы рассмотрим коммерческие САПР/АПП, сдаваемые «под ключ», а также более подробно остановимся на упомянутой выше методике.

Системы, сдаваемые «под ключ».

Сдача поставщиком системы «под ключ» означает, что поставщик осуществляет отгрузку, монтаж и наладку, выполняет контроль системы и только после этого передает ее пользователю полностью готовой к эксплуатации. Сдаваемые «под ключ» САПР/АПП, как правило, включают определенное базовое программное обеспечение, необходимое для их работы. Дополнительные программные средства можно приобрести за отдельную плату. Такой подход позволяет фирме-пользователю приобрести только те программы, которые необходимы для решения ее задач. Стоимость сдаваемой «под ключ» системы может колебаться от десятков тысяч до нескольких сотен тысяч долларов. Тем не менее сдаваемые «под ключ» системы часто оказываются более предпочтительными по сравнению с разрабатываемыми собственными силами, в особенности с учетом общих затрат и тех трудностей, которые возникают при самостоятельной разработке систем.

Трудности при разработке САПР/АПП собственными силами пользователя.

Чтобы самостоятельно создать работоспособную систему машинной графики, фирме-пользователю потребуется штат специалистов, имеющих достаточно высокую квалификацию в этой области. Хороший специалист по машинной графике должен знать программирование, быть знакомым с графическими средствами и уметь применять свои знания для решения прикладных задач. Специалисты, сочетающие в себе такие профессиональные качества, встречаются весьма редко, и большая часть самых высококвалифицированных специалистов уже занята в фирмах, занимающихся разработкой и внедрением САПР/АПП.

Другой проблемой фирмы, предполагающей самостоятельно разрабатывать подобную систему, является фактор времени. Даже при наличии штата высококвалифицированных программистов потребуется значительное время на разработку такого сложного и трудного проекта, каким является САПР/АПП. Сюда следует включить также длительный и дорогостоящий период обучения, вследствие чего создание системы собственными силами может затянуться на годы. В противоположность этому поставщики САПР/АПП уже прошли этот этап и приобрели необходимый опыт в процессе обучения. Если фирма-пользователь хочет внедрить САПР в минимально короткие сроки, фирмы-поставщики в состоянии удовлетворить это желание с помощью имеющегося ассортимента их продукции.

Фирмы-поставщики систем САПР/АПП специализируются в области их создания. Они в состоянии и, кроме того, вынуждены тратить значительные средства на постоянное совершенствование технологии, чтобы сохранять конкурентоспособность. Ежегодно им приходится затрачивать сотни человеко-лет на разработку программного обеспечения САПР/АПП. Размах и интенсивность этих работ не идут ни в какое сравнение с возможностями обычной фирмы-пользователя, для которой САПР/АПП есть лишь средство достижения цели. Для поставщика же таких систем САПР/АПП - это одновременно и средство, и конечный продукт.

Критерии выбора.

Осуществить выбор из множества конкурирующих типов аппаратных и программных средств САПР/АПП весьма затруднительно. Если принимаемое решение связано с приобретением системы, сдаваемой «под ключ», то первым шагом становится разработка критериев выбора. Эту работу не должен выполнять какой-то один человек; здесь необходимо создать специальную комиссию по оценке имеющихся САПР/АПП. В задачи этой комиссии входит не только разработка критериев выбора, но и оценка различных систем и выработка рекомендаций по выбору поставщика; она должна довести процедуру выбора до принятия окончательного решения. В комиссию по оценке следует включить представителей всех заинтересованных подразделений фирмы-пользователя. В нее должны войти сотрудники конструкторского, технологического и производственного отделов, отдела автоматизированных систем управления и отдела материально-технического снабжения.

Разработка критериев выбора включает определение точных потребностей фирмы-пользователя применительно к САПР/АПП. Однако при этом следует исходить не только из текущих потребностей фирмы. Одновременно с ними комиссия должна рассмотреть и перспективные потребности. Внедрение САПР/АПП фирмой-пользователем откроет новые возможности совершенствования процесса производства в целом, и эти возможности тоже следует учесть. В качестве источника информации комиссия должна использовать соответствующие руководства и техническую информацию от каждого из поставщиков, заинтересованных в заключении соглашения по данному проекту.

Весьма важно провести технические дискуссии с привлечением экспертов из специализированных фирм и познакомиться с рядом действующих систем, имеющих структуру, сходную со структурой рассматриваемой системы. В ходе таких посещений следует узнать точку зрения и замечания к системе работающего с ней управленческого и эксплуатационного персонала. Кроме того, необходимо организовать посещение административных центров всех предполагаемых фирм-поставщиков. Это позволит собрать нужную информацию о планах и стратегии каждой из фирм-разработчиков САПР/АПП. На основании информации, полученной из всех перечисленных источников, можно составить исчерпывающий список оценочных критериев, отражающий потребности потенциального заказчика. Достаточно представительный список учитываемых факторов и критериев выбора САПР/АПП приведен в табл. 1; эта таблица заимствована в основном из работ Квантца. Учитываемые критерии и факторы различны для каждой фирмы, и любой обобщенный перечень, подобный представленному в табл. 1, нуждается в переработке с учетом специфических требований конкретной фирмы. Несмотря на это, данная таблица может стать полезной для потенциальной фирмы-пользователя при разработке собственных критериев оценки различных САПР/АПП.

Более сложной задачей оценки САПР/АПП является получение ответов на целый ряд вопросов. Во-первых, необходимо знать, как оценить степень сложности сопряжения будущей системы с уже существующей информационной системой, ведущей учет выпускаемой продукции и решающей задачи материально-технического снабжения. Это касается данных о закупках, планирования материальных потребностей, слежения за поставками, контроля качества продукции и учета использования отходов. Во-вторых, фирма-пользователь должна уметь согласовывать планы развития системы с ростом числа пользователей, количества автоматизированных рабочих мест, с созданием терминальных сетей, с появлением новых видов изделий и новых технологических процессов, не теряя при этом возможности получения выгод в максимально короткие сроки. Перечисленные вопросы в каждой из отраслей решаются по-разному, и общих рекомендаций дать невозможно. Потенциальный пользователь обязан рассмотреть подобного рода вопросы в процессе выработки конкретного решения.

Таблица 1.

Перечень основных факторов и критериев выбора САПР/АПП

А. Общие соображения

1. Стоимость
2. Аппаратные средства
3. Центральный процессор
4. Дополнительные автоматизированные рабочие места
5. Периферийное оборудование
6. Программные средства
7. Базовый пакет программ, сдаваемый «под ключ»
 8. Дополнительные специальные пакеты.
 9. Обслуживание аппаратных средств.
 10. Сопровождение программного обеспечения.

11. Специальные вопросы.
12. Запчасти.
13. Документация.
14. Обучение персонала.
15. Транспортировка.
16. Оборудование.
17. Условия поставки.
18. Эксплуатационное обслуживание.
19. Обслуживающий персонал.

Обслуживание

1. Условия контракта
2. Условия снабжения запчастями
3. Время между получением и исполнением заказа
 4. Гарантии и условия их прекращения.
 5. Устранение ошибок в программном обеспечении.
 6. Обслуживание программного обеспечения

Качество

1. Группа обеспечения качества и ее функции.
 2. Политика в области качеств.
3. Ответственность.
4. Стабильность ассигнований.
5. Число постов контроля.
6. Развитие.
 7. Надежность.
 8. Параллельная работа
 9. Устранение неполадок.
 10. Устранение потерь энергии.
 11. Охрана окружающей среды.
 12. Человеческий фактор.
13. Аппаратные средства.
14. Программное обеспечение.
15. Время реакции.
16. Быстродействие выходных устройств.
 17. Интерфейсы.
18. Линии связи.
19. Графопостроители.
 20. Документация на изделия.
 21. Обучение.

Поставка системы и последующая поддержка

1. Подготовка и осуществление прогона реального контрольного примера
2. Условия упаковки
3. Помощь в монтаже
4. Условия предварительной проверки
5. Инструкция по монтажу
6. Условия приемки
7. Снабжение
8. Пересмотр условий
 9. Спецификации
10. Соглашение о праве собственности
11. Отладка на месте

Управление системой

1. Быстродействующие периферийные устройства

2. Пользовательские средства диагностики
3. Программное обеспечение системы управления файлами
4. Учет и анализ затрат

Программирование

1. Язык высокого уровня, используемый поставщиком
2. Стандартный язык
3. Язык ассемблера
4. Программы на входном языке
5. Высококачественная документация
6. Защита системы
7. Средства диагностики
8. Доступ к базе данных
9. Ясные интерфейсы

Прочие факторы

1. Совместимость с имеющимся оборудованием
2. Средства управления графическим терминалом
3. Методы ручного ввода данных
4. Выдача наводящих сообщений
5. Средства управления процессом разработки чертежей

Б. Прикладные средства применительно к электрооборудованию

1. Применение при проектировании электрооборудования Блок-схемы
2. Принципиальные схемы
 3. Прочие схемы
 4. Разводка питания
 5. Кабели
6. Источники питания
 7. Таблицы монтажных соединений
 8. Интегральные схемы
 9. Печатные платы
 10. Гибридные схемы
 11. Нормоконтроль
 12. Спецификация материалов

Электрические устройства сопряжения

1. Анализ схем
2. Последовательность работы и синхронизация
 3. Анализ области применения
 4. Трассировка
 5. Генерация тестов

Пакеты программ ЧПУ для изготовления электрических узлов

1. Сверление
2. Трассировка
3. Автоматическое размещение компонентов/вставка элементов
4. Плетение кабелей
5. Намотка проводов

Документация

1. Руководства и справочники
2. Перспективная документация
3. Организационные структуры
4. Блок-схемы
5. Сетевые графики и календарные планы

Устройства сопряжения

1. Графопостроители

В. Прикладные средства применительно к механическому оборудованию

1. Конструирование механических устройств Блок-схемы
2. Циклограммы.
3. Прочие схемы
4. Строительные чертежи

5. Чертежи металлоконструкций
6. Схемы трубопроводов
7. Таблицы монтажных соединений
8. Планировка
9. Проектирование листовых металлических изделий

Двумерное проектирование и вычерчивание механических узлов

1. Построение точек
2. Построение линий
3. Построение дуг
4. Построение конусов
5. Простановка размеров
6. Типы вычерчиваемых линий
7. Возможности наложения текста и стрелок
8. Удаление линий построения
9. Размер знаков
10. Пометки

Трехмерное проектирование и вычерчивание механических узлов

1. Каркасное или объемное моделирование
2. Возможности удаления невидимых линий
3. Поверхности и плоскости
4. Кривые линии и криволинейные поверхности
5. Проектирование инструмента
6. Проектирование приспособлений и оснастки
7. Товарные знаки
8. Безразмерные чертежи

Средства обеспечения механических расчетов

1. Анализ напряжений
2. Моделирование методом конечных элементов
3. Анализ форм
3. Анализ потоков
4. Анализ механизма работы
5. Определение весовых характеристик
6. Геометрические характеристики
7. Анализ узлов концентрации напряжений

Пакеты программ планирования производства

1. Возможности автоматизированной системы планирования
2. Рациональный раскрой листового материала
3. Программирование устройств
4. Функции автоматических средств ЧПУ
5. Другие функции устройств ЧПУ
6. Потери от отказов устройств
7. ЧПУ Интерфейсы систем ЧПУ

Оценка различных систем.

К этому этапу процедуры выбора должно остаться три или четыре наиболее перспективных поставщика систем. Остальные должны отпасть по причине потери интереса с их стороны или из-за того, что область применения их систем не полностью совпадает со

сферой деятельности фирмы-пользователя, или по другим субъективным причинам. Для оставшихся кандидатов стоит придумать некоторую количественную меру оценки, которая позволила бы связать полезность каждой из систем с ее стоимостью. Мы введем эту меру в виде вышеупомянутого коэффициента доход/издержки.

Отношение доход/издержки символизирует собой попытку использования количественных методов в задачах выбора. Однако введенная мера не является объективной, так как ее компоненты определяются на основе коллективного мнения специалистов, входящих в комиссию по оценке САПР/АПП. Несмотря на подобное неизбежное несовершенство, данный коэффициент является все же действенным средством организации, систематизации и количественного подхода к проблеме выбора.

Коэффициент доход/издержки применительно к САПР/АПП определяется следующим способом. В качестве отправной точки используется список критериев и факторов выбора из табл. 1. Для фирмы-пользователя в зависимости от ее требований этот список может изменяться. Пусть, например, фирма, выпускающая узлы механических систем, собирается обратить основное внимание на механическое оборудование и свести к минимуму значимость электрооборудования в списке критериев. Тогда весовые коэффициенты, отражающие значение данного обобщенного фактора для фирмы-пользователя, присваиваются каждому из трех основных разделов списка, например, следующим образом: Внутри каждого раздела суммарный показатель может достигать значения 1000 и распределяться между различными критериями, относящимися к данному разделу. Например, в разделе А, баллы могут распределяться следующим образом:

1. Стоимость 200
2. Обслуживание 150
3. Качество 250
4. Поставка системы и последующая поддержка 100
5. Управление системой 50
6. Программирование 150
7. Прочие факторы 100

Общее возможное число баллов 1000.

Затем баллы каждого из этих подразделов распределяются между их различными критериями. Процесс распределения баллов между различными критериями основывается на оценке комиссией относительной значимости каждого отдельного критерия. После того как распределение баллов завершено, задачей комиссии становится оценка кандидатов по каждому из отдельных критериев. Исходя из возможного количества баллов по данному критерию, комиссия должна решить, сколько баллов должен получить каждый из кандидатов в соответствии с его достоинствами в указанной группе. После подсчета баллов для каждого кандидата вычисляется их сумма по каждому из трех основных разделов А-В. Затем эти суммы умножаются на весовые коэффициенты, присвоенные каждому разделу, а найденные произведения складываются для получения окончательного общего числа баллов по каждому из кандидатов.

Для каждого из трех или четырех потенциальных поставщиков необходимо подсчитать количество баллов, которое ориентировочно отражает относительную значимость их систем.

Далее, используя полученную сумму баллов, можно попытаться осуществить выбор САПР/АПП. Однако в нашем подходе до сих пор не принималась во внимание стоимость системы. Ее можно учесть с помощью коэффициента доход/издержки. Этот коэффициент определяется путем деления общей суммы баллов по данной системе на ее цену. С этой целью удобно округлить стоимость системы до тысяч долларов и отбросить три нуля справа. Проиллюстрируем это на примере, предположив, что существуют три кандидата, каждому из которых соответствует цена и количество баллов, указанные в следующей таблице:

Факторы выбора		Поставщик У	
1. Общая сумма баллов по системе	6 95	737	495
2. Цена системы, долл.	375.4	430.2	312
3. Округленная цена, долл.	375.0	430	312
4. Коэффициент доход/издержки (результат деления первой строки на третью)	1,85	1,71	1,59

Как видно из таблицы, кандидат Х имеет наивысшее значение коэффициента доход/издержки. Хотя у кандидата У общая сумма баллов выше, более высокая стоимость его системы ведет к меньшему значению коэффициента доход/издержки, используемого в качестве окончательного критерия для принятия решения.

После выбора системы с наивысшим коэффициентом следующим этапом процедуры оценки должно стать обращение к поставщику с предложением о прогоне контрольного примера для анализа характеристик системы. Контрольный пример-это группа конкретных задач, достаточно полно отражающих специфику фирмы-пользователя. Эти задачи должны относиться и к области проектирования, и к области производства. Они также должны учитывать предполагаемые области применения САПР/АПП. Общее число отдельных задач, составляющих контрольный пример, зависит от степени их сложности; обычно оно равно трем или четырем. Для решения задач проектирования система должна выполнить необходимый инженерный анализ и выпустить нужную конструкторскую документацию (например, чертежи, спецификации материалов и т.п.). Для решения производственных задач система должна выполнить функции анализа или планирования и выдать необходимую документацию в «жесткой» или «гибкой» форме (например, программы для станков с ЧПУ, выполненные на перфоленте или хранящиеся в памяти ЭВМ).

Контрольные примеры можно разделить на две категории: искусственные и реальные. Первые представляют собой задачи, решение которых заранее известно фирме-пользователю и цель которых состоит в том, чтобы исследовать некоторые характеристики и возможности САПР/АПП. Реальные контрольные примеры - это задачи, отражающие действительные производственные проблемы фирмы-пользователя. Реальные задачи предпочтительнее искусственных, однако, фирме-пользователю может быть трудно сформулировать их, не имея достаточного опыта. Кроме того, часто возникает вопрос о том, насколько представителен тот или иной реальный контрольный пример.

Цель прогона контрольного примера заключается в подтверждении объявленных поставщиком характеристик предлагаемой им системы. Причина того, что контрольный пример выполняется только применительно к выбранной системе с наивысшим значением коэффициента доход/издержки, заключается в очень высокой стоимости этой процедуры и для поставщика, и для потенциального пользователя одновременно. Кроме того, прогон более одной задачи ведет к существенным задержкам в получении оценок. Поставщик должен знать, что запрос на контрольный прогон типовой задачи, весьма вероятно, повлечет за собой заказ на поставку системы. Если контрольный пример решен успешно (как это и должно быть), система считается выбранной. В противном случае для контрольного прогона выбирается система со следующим по величине значением коэффициента доход/издержки.

Контрольные вопросы по материалу практического занятия:

1. Назовите пакеты прикладных программ, которые обязательно должны присутствовать в системе управления производством.
2. Каким образом можно получить САПР?
3. Назовите перечень вопросов, которые необходимо рассмотреть при анализе целесообразности внедрения САПР.
4. Назовите основные положения методики ориентированной на выбор системы сдаваемой «под ключ».

5. Назовите перечень работ выполняемых при сдаче системы «под ключ».
6. Какие общие проблемы возникают при разработке САПР собственными силами?
7. Какие организационные мероприятия выполняются при выборе системы?
8. На основании какой информации создается список оценочных критериев?
9. Назовите группы основных факторов и критериев выбора.
10. Как определяется коэффициент доход/издержки?
11. Что символизирует коэффициент доход/издержки?
12. Как комиссия производит оценку кандидатов на поставку САПР?
13. Проиллюстрируйте на примере отбор поставщика из 3-х кандидатов.
14. Для чего используется прогон контрольного примера?
15. Когда система считается выбранной?

Тема 3. Принципы построения и структура САПР. Цели создания и назначение САПР. Основные термины и определения. Классификация САПР.

Разработка САПР представляет собой крупную научно-техническую проблему, а ее внедрение требует значительных капиталовложений. Накопленный опыт позволяет выделить следующие основные принципы построения САПР.

1. САПР – человеко-машинная система. Все созданные и создаваемые системы проектирования с помощью ЭВМ являются автоматизированными, важную роль в них играет человек – инженер, разрабатывающий проект технического средства.

В настоящее время и по крайней мере в ближайшие годы создание систем автоматического проектирования не предвидится, и ничто не угрожает монополии человека при принятии узловых решений в процессе проектирования. Человек в САПР должен решать, во-первых, все задачи, которые не формализованы, во-вторых, задачи, решение которых человек осуществляет на основе своих эвристических способностей более эффективно, чем современная ЭВМ на основе своих вычислительных возможностей.

Тесное взаимодействие человека и ЭВМ в процессе проектирования – один из принципов построения и эксплуатации САПР.

2. 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.

3. 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 умень-

шает 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.

4. САПР – открытая и развивающаяся система. Существует, по крайней мере, две веские причины, по которым САПР должна быть изменяющейся во времени системой. Во-первых, разработка столь сложного объекта, как САПР, занимает продолжительное время, и экономически выгодно вводить в эксплуатацию части системы по мере их готовности. Введенный в эксплуатацию базовый вариант системы в дальнейшем расширяется. Во-вторых, постоянный прогресс техники, проектируемых объектов, вычислительной техники и вычислительной математики приводит к появлению новых, более совершенных математических моделей и программ, которые должны заменять старые, менее удачные аналоги. Поэтому САПР должна быть открытой системой, т. е. обладать свойством удобства использования новых методов и средств.

5. САПР – специализированная система с максимальным использованием унифицированных модулей. Требования высокой эффективности и универсальности, как правило, противоречивы. Применительно к САПР это положение сохраняет свою силу. Высокой эффективности САПР, выражаемой прежде всего малыми временными и материальными затратами при решении проектных задач, добиваются за счет специализации систем. Очевидно, что при этом растет число различных САПР. Чтобы снизить расходы на разработку многих специализированных САПР, целесообразно строить их на основе максимального использования унифицированных составных частей. Необходимым условием унификации является поиск общих черт и положений в моделировании, анализе и синтезе разнородных технических объектов.

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков, например по приложению, целевому назначению, масштабам (комплексности решаемых задач), характеру базовой подсистемы - ядра САПР.

По приложениям наиболее представительными и широко используемыми являются следующие группы САПР:

1. САПР для применения в отраслях общего машиностроения. Их часто называют машиностроительными САПР или системами MCAD (Mechanical CAD).

2. САПР для радиоэлектроники: системы ECAD (Electronic CAD) или EDA (Electronic Design Automation).

3. САПР в области архитектуры и строительства.

Кроме того, известно большое число специализированных САПР, или выделяемых в указанных группах, или представляющих самостоятельную ветвь в классификации. Примерами таких систем являются САПР больших интегральных схем (БИС); САПР летательных аппаратов; САПР электрических машин и т. п.

По целевому назначению различают САПР или подсистемы САПР, обеспечивающие разные аспекты проектирования. Так, в составе MCAD появляются рассмотренные выше CAE/CAD/CAM-системы.

По масштабам различают отдельные программно-методические комплексы (ПМК) САПР, например: комплекс анализа прочности механических изделий в соответствии с методом конечных элементов (МКЭ) или комплекс анализа электронных схем; системы ПМК; системы с уникальными архитектурами не только программного (software), но и технического (hardware) обеспечения.

По характеру базовой подсистемы различают следующие разновидности САПР:

1. САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования. Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т. е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов. К этой группе систем относится большинство САПР в области машиностроения, построенных на базе графических ядер.

В настоящее время широко используют унифицированные графические ядра, применяемые более чем в одной САПР (ядра Parasolid фирмы EDS Unigraphics и ACIS фирмы Intergraph).

2. САПР на базе СУБД. Они ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчетах перерабатывается большой объем данных. Такие САПР преимущественно встречаются в технико-экономических приложениях, например, при проектировании бизнес-планов, но они имеются также при проектировании объектов, подобных щитам управления в системах автоматики.

3. САПР на базе конкретного прикладного пакета. Фактически это автономно используемые ПМК, например, имитационного моделирования производственных процессов, расчета прочности по МКЭ, синтеза и анализа систем автоматического управления и т. п. Часто такие САПР относятся к системам САЕ. Примерами могут служить программы логического проектирования на базе языка VHDL, математические пакеты типа MathCAD.

4. Комплексные (интегрированные) САПР, состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов. Характерными примерами комплексных САПР являются САЕ/CAD/CAM-системы в машиностроении или САПР БИС. Так, САПР БИС включает в себя СУБД и подсистемы проектирования компонентов, принципиальных, логических и функциональных схем, топологии кристаллов, тестов для проверки годности изделий. Для управления столь сложными системами применяют специализированные системные среды.

Тема 4. Компоненты подсистем САПР (методическое, лингвистическое, математическое, программное, техническое, информационное, организационное виды обеспечения).

К числу компонентов САПР относятся ее функциональные части, а также системы и/или подсистемы.

Функциональными составными частями САПР являются техническое, математическое, программное, информационное, лингвистическое, организационное и методическое обеспечение.

Техническое обеспечение САПР составляют ЭВМ и периферийное оборудование, включая устройства связи человека и ЭВМ, устройства для изготовления технической документации, аппаратуру передачи данных между удаленными техническими средствами, а также измерительные устройства и приборы, устройства организационной техники.

Математическое обеспечение САПР включает математические модели объектов проектирования и их элементов, методы и алгоритмы выполнения проектных операций и процедур.

Программное обеспечение САПР состоит из программ для ЭВМ, представленных как на машинных носителях, так и в виде текстовых документов; делится на общее и специальное. Общее программное обеспечение служит для организации, планирования и управления вычислительным процессом и включает в себя операционные системы ЭВМ. Специальное программное обеспечение состоит из программ, ориентированных на решение конкретных проектных задач.

Информационное обеспечение САПР представляется в виде базы данных, содержащей сведения, необходимые для выполнения проектирования. В базу данных входят: справочные данные об унифицированных элементах, нормах, ГОСТах, сведения о типовых проектных решениях, результатах предыдущих этапах проектирования и т.п.

Лингвистическое обеспечение САПР есть совокупность языков для записи алгоритмов, описания исходных данных и результатов, обмена информацией между человеком и ЭВМ в процессе проектирования.

Организационное обеспечение САПР - совокупность положений, устанавливающих состав и функции подразделений проектной организации, формы документов и т.п.

Методическое обеспечение САПР - совокупность документов, в которых отражены состав, правила отбора и эксплуатация средств автоматизации проектирования. В частности, к методическому обеспечению относят описание технологических маршрутов проектирования, т.е. типовых последовательностей выполнения проектных операций и процедур. Оно также составляет базу для описания технологии проектирования: вопросы расчленения объектов проектирования на аспекты и уровни и процесса проектирования на стадии и этапы, постановки задач проектирования в виде вопросов анализа, синтеза и оптимизации, выбора нисходящей или восходящей последовательности решения задач и т. п.

Структурными составными частями САПР являются подсистемы.

Подсистема САПР - выделенная по некоторым признакам САПР, обеспечивающая получение законченных проектных решений и соответствующих проектных документов. Деление на подсистемы связано с расчленением представлений об объектах проектирования на горизонтальные и вертикальные уровни, что определяется блочно-иерархической структурой объекта. Указанные уровни порождают подсистемы, называемые проектируемыми подсистемами. В каждой проектирующей подсистеме выполняются проектные операции и процедуры одного или нескольких родственных уровней.

Проектирующие подсистемы делятся на объектно-ориентированные (объектные) и объектно-независимые (инвариантные) в зависимости от степени специализации: первые служат для проектных процедур, специфичных для некоторого класса объекта. В состав САПР входят также обслуживающие подсистемы, предназначенные для обеспечения нормального функционирования проектирующих подсистем (например, информационно-измерительная).

Тема 5. Общие правила разработки математических моделей объектов проектирования: требования к математическим моделям, методика получения математических моделей элементов.

Выполнение проектных операций и процедур в САПР основано на оперировании математических моделей (ММ). С их помощью прогнозируются характеристики и оцениваются возможности предложенных вариантов схем и конструкций, проверяется соответствие предъявляемым требованиям, проводится оптимизация параметров, разрабатывается техническая документация и т. п.

В САПР для каждого иерархического уровня сформулированы основные положения математического моделирования, выбран и развит соответствующий математический аппарат, получены типовые ММ элементов проектируемых объектов, формализованы методы получения и анализа математических моделей систем.

Сложность задач проектирования и противоречивость требований высокой точности, полноты и малой трудоемкости анализа обуславливают целесообразность компромиссного удовлетворения этих требований с помощью соответствующего выбора моделей. Это обстоятельство приводит к расширению множества используемых моделей и развитию алгоритмов адаптивного моделирования.

При использовании блочно-иерархического подхода к проектированию представления о проектируемой системе разделяют на иерархические уровни. На верхнем уровне используют наименее детализированное представление, отражающее только самые общие черты и особенности проектируемой системы. 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 обозрима и воспринимаема одним человеком. Другими словами, блочно-иерархический подход есть декомпозиционный подход (его называют 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 об иерархических уровнях не только спецификаций, но и 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: метауровень, 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. д.; 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 проектирование, 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. 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).

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

Аспект описания (страта) — описание системы или ее алгоритмического (разработка алгоритмов и программного обеспечения) и технологического (разработка технологических процессов) проектирования.

Примерами страт в случае САПР могут служить также рассмотренные ранее виды обеспечения автоматизированного проектирования.

Требования к математическим моделям и их классификация. Под математической моделью (ММ) конструкции, технологического процесса и его элементов понимают систему математических соотношений, описывающих с требуемой точностью изучаемый объект и его поведение в производственных условиях.

При построении математических моделей используют различные математические средства описания объекта – теорию множеств, теорию графов, теорию вероятностей, математическую логику, математическое программирование, дифференциальные или интегральные уравнения и т. д.

Выполнение проектных операций и процедур в САПР основано на оперировании математическими моделями (ММ). С их помощью прогнозируются характеристики и оцениваются возможности предложенных вариантов схем и конструкций, проверяется их соответствие предъявляемым требованиям, проводится оптимизация параметров, разрабатывается техническая документация и т. п.

В САПР для каждого иерархического уровня сформулированы основные положения математического моделирования – выбран и развит соответствующий математический аппарат, получены типовые ММ элементов проектируемых объектов, формализованы методы получения и анализа математических моделей систем.

Сложность задач проектирования и противоречивость требований высокой точности, полноты и малой трудоемкости анализа обуславливают целесообразность компромиссного удовлетворения этих требований с помощью соответствующего выбора моделей. Это обстоятельство приводит к расширению множества используемых моделей и развитию алгоритмов адаптивного моделирования.

К математическим моделям предъявляют требования высокой точности, экономичности и универсальности. Экономичность математических моделей определяется затратами машинного времени (работы ЭВМ). Степень универсальности математических моделей зависит от возможности их использования для анализа большого числа технологических процессов и их элементов.

Требования к точности, экономичности и степени универсальности математических моделей противоречивы. Поэтому необходимо иметь удачное компромиссное решение. Основными требованиями, предъявляемыми к математическим моделям, являются требования адекватности, универсальности и экономичности.

Адекватность.

Модель считается адекватной, если отражает заданные свойства объекта с приемлемой точностью. Точность определяется как степень совпадения значений выходных параметров модели и объекта. Пусть ε_j – относительная погрешность модели по j -му выходному параметру: где y_j – j -й выходной параметр, рассчитанный с помощью модели; u_j – тот же выходной параметр, существующий в моделируемом объекте. Погрешность модели ε_j по совокупности учитываемых выходных параметров оценивается одной из норм вектора $\varepsilon_j = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m)$.

Точность модели различна в разных условиях функционирования объекта. Эти условия характеризуются внешними параметрами. Если задаться предельной допустимой погрешностью $\varepsilon_{\text{пред}}$, то можно в пространстве внешних параметров выделить область, в которой выполняется условие. Эту область называют областью адекватности (ОА) модели.

Возможно введение индивидуальных предельных значений $\varepsilon_{\text{пред}}$ для каждого выходного параметра и определение ОА как области, в которой одновременно выполняются все m условий вида $|\varepsilon_j| \leq \varepsilon_{\text{пред}j}$.

Определение областей адекватности для конкретных моделей – сложная процедура, требующая больших вычислительных затрат. Эти затраты и трудности представления ОА быстро растут с увеличением размерности пространства внешних параметров.

Определение ОА – более трудная задача, чем, например, задача параметрической оптимизации. Для моделей унифицированных элементов расчет областей адекватности становится оправданным в связи с однократностью определения ОА и многократностью их использования при проектировании различных систем. Знание ОА позволяет правильно выбирать модели элементов из числа имеющихся и тем самым повышать достоверность результатов машинных расчетов.

В библиотеку моделей элементов наряду с алгоритмом, реализующим модель, и номинальными значениями параметров должны включаться граничные значения внешних параметров q^k и q^k , задающие область адекватности.

Универсальность.

При определении ОА необходимо выбрать совокупность внешних параметров и совокупность выходных параметров u_j , отражающих учитываемые в модели свойства.

Типичными внешними параметрами при этом являются параметры нагрузки и внешних воздействий (электрических, механических, тепловых, радиационных и т. п.). Увеличение числа учитываемых внешних факторов расширяет применимость модели, но существенно удорожает работу по определению ОА.

Выбор совокупности выходных параметров также неоднозначен, однако для большинства объектов число и перечень учитываемых свойств и соответствующих им выходных параметров сравнительно невелики, достаточно стабильны и составляют типовой набор выходных параметров.

Например, для макромоделей логических элементов БИС такими выходными параметрами являются уровни выходного напряжения в состояниях логических "0" и "1", запасы помехоустойчивости, задержка распространения сигнала, рассеиваемая мощность. Если адекватность характеризуется положением и размерами ОА, то универсальность модели определяется числом и составом учитываемых в модели внешних и выходных параметров.

Экономичность.

Экономичность модели характеризуется затратами вычислительных ресурсов для ее реализации, а именно затратами машинного времени T_m и памяти P_m . Общие затраты T_m и P_m на выполнение в САПР какой-либо проектной процедуры зависят как от особенностей выбранных моделей, так и от методов решения.

В большинстве случаев при реализации численного метода происходят многократные обращения к модели элемента, входящего в состав моделируемого объекта. Тогда удобно экономичность модели элемента характеризовать затратами машинного времени при обращении к модели, а число обращений к модели должно учитываться при оценке экономичности метода решения.

Экономичность модели по затратам памяти оценивается объемом оперативной памяти, необходимой для реализации модели. Требования широких областей адекватности, высокой степени универсальности, с одной стороны, и высокой экономичности — с другой, являются противоречивыми. Наилучшее компромиссное удовлетворение этих требований оказывается неодинаковым в различных применениях. Это обстоятельство обуславливает использование в САПР многих моделей для объектов одного и того же типа — различного рода макромоделей, многоуровневых, смешанных моделей.

Функциональные и структурные модели.

По характеру отображаемых свойств объекта ММ делятся на структурные и функциональные. Структурные ММ предназначены для отображения структурных свойств объекта. В свою очередь, структурные ММ делятся на топологические и геометрические. Описание математических соотношений на уровнях структурных, логических и количественных свойств принимает конкретные формы в условиях определенного объекта.

Функциональные ММ предназначены для отображения физических или информационных процессов, протекающих в технологических системах при их функционировании. Обычно функциональные ММ представляются системой уравнений, описывающих фазовые переменные, внутренние, внешние и выходные параметры. В проектных процедурах, связанных с функциональным аспектом проектирования, как правило, используются ММ, отражающие закономерности процессов функционирования объектов, т.е. функциональные модели.

Типичная функциональная модель представляет собой систему уравнений, описывающих либо электрические, тепловые, механические процессы, либо процессы преобразования информации.

В то же время в процедурах, относящихся к конструкторскому аспекту проектирования, преобладает использование математических моделей, отражающих только структурные свойства объекта, например его геометрическую форму, размеры, взаимное расположение элементов в пространстве, т. е. структурные модели. Структурные модели чаще всего представляются в виде графов, матриц инцидентий и смежности, списков и т. п.

Как правило, функциональные модели более сложные, поскольку в них отражаются также сведения о структуре объектов. Однако при решении многих задач конструирования использование сложных функциональных моделей неоправданно, так как нужные результаты могут быть получены на основе более простых структурных моделей.

Функциональные модели применяют преимущественно на завершающих этапах верификации описаний объектов, предварительно синтезированных с помощью структурных моделей.

Проектирование технологического процесса изготовления изделия также характеризуется различными иерархическими уровнями: самый высокий уровень – разработка принципиальной схемы технологического процесса, который включает отдельные этапы, причем этап может содержать несколько или одну операцию. В данном случае оператором будет являться этап технологического процесса.

Моделирование технологических процессов разного уровня происходит с помощью различных моделей и алгоритмов. Иерархические уровни ММ делятся на микроуровни, макроуровни и метаяуровни. Особенностью ММ на микроуровне является отображение физических процессов в непрерывном пространстве и времени.

С помощью дифференциальных уравнений в частных производных рассчитываются поля механических напряжений и деформаций. На макроуровне используют укрупненную дискретизацию пространства по функциональному признаку, что приводит к представлению ММ на этом уровне в виде обыкновенных дифференциальных уравнений.

В этих моделях имеются две группы переменных – независимых (время) и зависимых (фазовых). ММ на метаяуровне описывают укрупненно рассматриваемые объекты (технологические системы и т. п.).

В качестве математического аппарата используют обыкновенные дифференциальные уравнения, теорию массового обслуживания, элементы дискретной математики (сети Петри и т. д.). Теоретические модели строят на основании изучения закономерностей.

В отличие от формальных моделей (например, эмпирических) они в большинстве случаев более универсальны и справедливы для широких диапазонов изменения технологических параметров. Теоретические модели могут быть линейными и нелинейными, а в зависимости от мощности множества значений переменных модели делят на непрерывные и дискретные. При технологическом проектировании наиболее распространены дискретные модели, переменные которых представляют собой дискретные величины, а множество решений – счетно.

Различают также модели динамические и статические. В большинстве случаев проектирования технологических процессов используют статические модели, уравнения которых не учитывают инерционность процессов в объекте. В полной ММ учитываются связи всех элементов проектируемого объекта, например маршрутная технология.

Макро-ММ отображают значительно меньшее число межэлементных связей. Аналитические ММ представляют собой функциональные модели (теоретические или эмпирические) и, как правило, используются при параметрической оптимизации технологических процессов.

Алгоритмическая ММ представляется в виде алгоритма.

Имитационная модель является алгоритмической, отражающей поведение исследуемого объекта во времени при заданных внешних воздействиях на объект (например, процесс подготовки управляющих программ для роботизированной сборки).

Выбор типа математического моделирования, наиболее эффективного в условиях конкретной задачи, определяется его технологической сущностью, формой представления исходной технологической информации, общей целью исследования.

В зависимости от сложности задачи используются различные принципы построения моделей. Зачастую возникает необходимость разработки менее точной модели, но, тем не менее, более полезной для практики. Возникают две задачи: с одной стороны, нужно разработать модель, на которой проще всего получить численное решение, а с другой – обеспечить максимально возможную точность модели.

С целью упрощения модели используются такие приемы, как исключение переменных, изменение характера переменных, изменение функциональных соотношений между переменными (например, линейная аппроксимация), изменение ограничений (их модификация, постепенный ввод ограничений в условие задачи).

Модели, являясь эффективным средством при исследовании структуры задачи, позволяют обнаружить принципиально новые стратегии.

Методика получения математических моделей элементов.

Получение математических моделей элементов включает в себя следующие операции: Выбор свойств объекта, которые подлежат отражению в модели.

Выбор основан на анализе возможных применений модели и определяет степень универсальности ММ. Сбор исходной информации о выбранных свойствах объекта.

Источниками сведений могут быть:

опыт и знания инженера, разрабатывающего модель;

научно-техническая литература, прежде всего справочная; описания прототипов – имеющих ММ для элементов, близких по своим свойствам к исследуемому объекту;

результаты экспериментального измерения параметров и т. п.

Синтез структуры ММ.

Структура ММ – общий вид математических соотношений модели без конкретизации числовых значений фигурирующих в них параметров.

Структура модели может быть представлена также в графической форме, например в виде эквивалентной схемы или графа.

Синтез структуры – наиболее ответственная и наиболее трудно поддающаяся формализации операция.

Расчет числовых значений параметров ММ.

Эта задача ставится как задача минимизации погрешности модели заданной структуры.

Оценка точности и адекватности ММ.

Для оценки точности должны использоваться значения, которые не фигурировали при решении задачи. Реализация функциональных ММ на ЭВМ подразумевает выбор численного метода решения уравнений и преобразование уравнений в соответствии с особенностями выбранного метода. Конечная цель преобразований – получение рабочей программы анализа в виде последовательности элементарных действий (арифметических и логических операций), реализуемых командами ЭВМ.

Указанные преобразования исходной ММ в последовательности элементарных действий ЭВМ выполняет автоматически по специальным программам, создаваемым инженером – разработчиком САПР.

Инженер-пользователь САПР должен лишь указать, какие программы из имеющихся он хочет использовать.

Инженер-пользователь задает исходную информацию об анализируемом объекте и о проектных процедурах, подлежащих выполнению, на удобном для него проблемно-ориентированном языке программного комплекса.

Тема 6. Назначение, классификация языков проектирования и требования к ним.

Назначение и роль лингвистического обеспечения в САПР определяется тем, что эти системы основаны на взаимодействии человека (пользователя) и ЭВМ (исполнителя) и являются по своей сути человеко-машинным комплексом. Общение между пользователем и ЭВМ осуществляется с помощью специальных языков различного уровня, обеспечивающих выдачу заданий и директив по их выполнению, перемещений массивов информации, передачу распоряжений о расположении информации в определенном разделе памяти ЭВМ, а также о режиме работы вычислительной системы и последовательности обработки выдаваемых заданий.

Лингвистическое обеспечение (ЛО) включает в себя языковые средства разработки и эксплуатации ПО, совокупность языковых средств и специалистов ими владеющих. Различают **языки написания программ** (языки разработчиков) и **языки той предметной области, которой посвящен САПР** (языки пользователей). Как правило, именно с помощью языков предметной области САПР осуществляется процесс проектирования, поэтому эти языки называют **языками проектирования**.

Существующие операционные системы не предназначены для непосредственного общения неквалифицированного пользователя, которым является проектант технического объекта, с ЭВМ на языке, близком к естественному языку, которым пользуется инженер, и требует промежуточного звена в виде программистов и операторов, формулирующих задания на языке операционной системы. Таким образом, возникает необходимость специализированных **проблемно-ориентированных языков**, играющих роль прикладной операционной системы и представляющих неквалифицированному пользователю широкие возможности непосредственного управления заданиями и работы с массивами информации при использовании терминологии, употребляемой в инженерной практике.

Языки проектирования и требования к ним.

Лингвистическое обеспечение САПР представляет собой совокупность языков проектирования, включая термины и определения, правила формализации естественного языка и методы сжатия и развертывания текстов, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования, представленных в заданной форме.

Языки проектирования предназначены для представления и преобразования описаний в процессе автоматизированного проектирования. Основными объектами описаний в САПР являются: задание на проектирование, проектные процедуры и операции, проектные решения (промежуточные, конечные, типовые) и проектные документы. Языки проектирования являются важнейшей составной частью САПР и должны обладать как многими качествами универсальных языков программирования в представлении данных и действий над ними, так и достаточными уровнями выразительности, гибкости и проблемной ориентации в построении языковых конструкций, привычных проектировщику.

Универсальные алгоритмические языки типа Турбо Паскаль, Си+, Си++, Фортран достаточно эффективно используются для реализации САПР, так как обладают развитыми возможностями для описания разнообразных алгоритмов, характерными для программного обеспечения САПР. Однако при их использовании в качестве языков проектирования программа, как правило, громоздкая и неудобная. Это объясняется, во-первых, необходимостью специальной подготовки в области программирования и, во-вторых, сложностью самих процессов трансляции, генерации и отладки программ для управления последовательностью проектных процедур и операций в соответствии с заданием на проектирование, которое составляется на этих языках.

Альтернативой этому подходу является создание специализированных **проблемно-ориентированных языков** проектирования и трансляторов к ним. Языки проектирования принято классифицировать по следующим основным признакам:

- месту в процессе автоматизированного проектирования;

- связи с универсальными языками программирования;
- оперативности;
- преимущественному способу представления информации.

По месту в процессе автоматизированного проектирования различают языки **входные, внутренние, промежуточные, выходные, сопровождения и управления**.

Входные языки предназначены для задания исходной информации об объектах и целях проектирования и представляют собой совокупность языков описания объектов (ЯОО) и языков описания задания (ЯОЗ).

Под описанием объекта понимают описание структуры объекта (материала, предмета или системы), его свойств и характеристик, включая описание взаимодействия между частями объекта и его взаимодействия с внешней средой, а также описание схемы функционирования объекта. Описание процесса как объекта проектирования включает также описание результата процесса и заданных характеристик его выполнения во времени и пространстве.

Для задач анализа и оптимизации с помощью ЯОО описываются структура и исходные параметры объекта, а для задач структурного синтеза — техническое задание и, возможно, исходный вариант объекта или его аналога. Для описания процессов используются специальные классы процедурных языков — языки моделирования.

Язык ЯОЗ предназначен для идентификации заданий, описания их характеристик и указания последовательности выполнения проектных процедур на ЭВМ.

Внутренние и промежуточные языки предназначены для представления информации на определенных стадиях ее обработки в ЭВМ. Появление этих языков объясняется выделением в САПР некоторых подсистем (например, графического ввода, графического документирования, архива чертежей и т. п.), инвариантных к классам объектов проектирования, и необходимостью унификации представления входных или (и) выходных данных для этих подсистем.

Промежуточные языки позволяют легко включать инвариантные подсистемы в различные САПР путем разработки специальных программ, называемых конверторами, которые выполняют преобразование данных из входных языков различных систем в единый унифицированный промежуточный язык определенной инвариантной подсистемы. Или, наоборот, промежуточный язык может быть преобразован во входной язык какой-либо другой специализированной подсистемы.

Примерами внутренних и промежуточных языков могут служить: язык представления графической и текстовой информации, языки графических метафайлов для хранения данных в архивах чертежей и т. п.

Выходные языки проектирования предназначены для представления результатов выполнения проектных процедур на ЭВМ, в том числе каких-либо проектных решений, включая результаты проектирования в форме, удовлетворяющей их дальнейшее применение. Это может быть язык чертежа или язык для управления станками с числовым программным управлением и т. п.

Языки сопровождения и управления служат для непосредственного общения пользователя с ЭВМ в процессе решения задач. Эти языки, как правило, включают средства для корректировки и редактирования входных данных и заданий на проектирование и поэтому содержат элементы входных и выходных языков, а также язык диагностических сообщений о допущенных ошибках.

По связи с универсальными языками программирования различают автономные и расширяющие языки. Автономные языки имеют собственные грамматики, соответствующий транслятор и могут применяться независимо от других языков программирования. Расширяющие языки строятся на основе грамматики другого языка и являются его проблемно-ориентированными дополнениями. Базой расширения чаще всего служат алгоритмические языки. Такой подход позволяет использовать в языках проектирования все имеющиеся в базовом языке мощные средства обработки данных и упростить связь язы-

ков проектирования с другими программными средствами системы, а также обеспечить в значительной степени независимость языков проектирования от типа используемой ЭВМ. К недостаткам расширяющих языков относится преимущественно их пакетный режим использования.

По оперативности языки разделяют на **диалоговые** и **пассивные**. Диалоговые языки обеспечивают взаимодействие проектировщика с ЭВМ на основе взаимного обмена сообщениями в реальном масштабе времени. Это позволяет оперативно получать все промежуточные результаты и управлять процессом проектирования на ЭВМ. Пассивные языки позволяют задавать входные данные и последовательность проектных операций и процедур в виде некоторого символического описания с последующей трансляцией этих описаний и выполнением в режиме пакетной обработки заданий.

По преимущественному способу представления информации выделяют **алфавитно-цифровые, графические, голосовые и смешанные** языки проектирования.

В **алфавитно-цифровых (символических) языках** описания задаются в виде строк символов или в виде таблиц. В **графических языках** информация представляется в виде чертежей, графиков, схем, диаграмм и т. п. Для вывода информации в такой форме используют графопостроители, плоттеры, а для ввода — различные устройства кодирования графической информации планшетного типа, манипуляторы типа мышь, клавиатуры, световые перья и др. Так как для проектировщиков привычная графическая форма представления информации, графические языки являются наиболее эффективными для САПР,

Разработка голосовых языков общения человека с ЭВМ основывается на использовании устройств распознавания и синтеза речи. Их применение в качестве языков управления совместно с другими способами представления информации является перспективным направлением развития диалоговых языков проектирования.

К языкам проектирования предъявляют следующие основные требования: эффективность, полноту, расширяемость, выразительность и проблемную ориентацию. Эффективность языка подразумевает точность передачи заданий пользователя и лаконичность записей. Полнота языка понимается как возможность описания любых объектов, на проектирование которых ориентирована САПР, а также задания всех действий, имеющих отношение к цели проектирования. Расширяемость алфавита и синтаксиса языка должна обеспечить возможность развития языка в соответствии с развитием предметной области САПР. Выразительность и проблемная ориентация должны обеспечить простоту изучения и использования языков проектировщиками-непрограммистами. С этой точки зрения языки проектирования должны быть близкими к естественным по своим грамматикам, что обеспечивает простоту и минимальные затраты времени на их изучение.

Языки описания схем и моделирования.

Схемные языки предназначены для ввода данных об объекте проектирования, представленного в виде структурных, функциональных или принципиальных схем, которые отображают множество элементов и связи между ними **с точки зрения функционирования объекта**. Применение схем характерно для радиоэлектроники, вычислительной техники, автоматики, гидравлики, а также для прочностных расчетов конструкций, механизмов и т. п. Для описания электрических и электронных схем применяются входные языки САПРИС-2, СПАРС, АРОПС, КРОСС и др. Описание схем с помощью схемных языков состоит из совокупности предложений, каждое из которых содержит сведения об одном элементе схемы и его связях. Сведения об элементе включают его тип, имя (номер) и числовые значения параметров. Связи задаются номерами узлов, к которым подсоединяются внешние входы (выходы) элементов, а также типами связей, например, в расчетных схемах конструкций.

Различают форматные и бесформатные схемные языки. На форматных схемных языках описание чаще всего представляется в виде таблиц или входных документов. Каждая строка таблицы представляет собой предложение на языке описания, а колонки соответствуют определенной части предложения (тип элемента, номера узлов связи, параметры и

т. п.). Табличная форма описания удобна для ввода схем с однородными элементами по числу связей и количеству параметров. Правила заполнения таблиц просты и не требуют специальных знаний в области программирования.

В бесформатных схемных языках части предложений и сами предложения отделяются друг от друга специальными разделителями типа запятая, точка с запятой, наклонная черта и т. п. Бесформатные языки более удобны для описания схем с разнохарактерными элементами. На практике также нашли применение и смешанные формы схемных языков, в которых используются элементы форматирования в виде полей записей с фиксированным и переменным числом позиций, а также описание последовательности параметров с применением разделителей. Для полей с переменным числом позиций допускается использование специальных признаков строк продолжения.

Тема 7. Состав технических средств САПР.

Совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих средств, предназначенных для выполнения автоматизированного проектирования, называется техническим обеспечением САПР.

Технические средства совместно с общими системным программным обеспечением являются инструментальной базой САПР. Они образуют физическую среду, в которой реализуются другие виды обеспечения САПР (математическое, лингвистическое, информационное и пр.).

Технические средства в САПР решают задачи:

- ввода исходных данных описания объекта проектирования;
- отображения введенной информации с целью ее контроля и редактирования;
- преобразования информации (изменения формы представления данных, перекодировки, трансляции, выполнения арифметических и логических операций, изменения структуры данных и т. п.);
- хранения различной информации;
- отображения итоговых и промежуточных результатов решения;
- оперативного общения проектировщика с системой в процессе решения задач.

Для решения этих задач технические средства (ТС) САПР должны содержать процессоры, оперативную память (ОП), внешние запоминающие устройства (ВЗУ), устройства ввода-вывода информации (УВВИ), технические средства машинной графики, устройства оперативного общения человека с ЭВМ, устройства, обеспечивающие связь ЭВМ с удаленными терминалами и другими машинами. При необходимости создания непосредственной связи САПР с производственным оборудованием в составе ТС должны быть включены устройства, преобразующие результаты проектирования в сигналы управления станками, технологическими комплексами, автоматами.

Номенклатура ТС, входящих в комплекс технических средств (КТС) САПР следующая:

- ЭВМ (центральные процессоры, специализированные процессоры, оперативная память, процессоры ввода-вывода, устройства сопряжения интерфейсов)
- внешние запоминающие устройства (накопители на магнитных дисках, накопители на гибких магнитных дисках, накопители на магнитной ленте)
- устройства ввода-вывода информации (устройства ввода-вывода с перфокарт, устройства ввода-вывода с перфолент, печатающие устройства, устройства вывода на микрофиши, растровые печатающие устройства)
- устройства оперативной связи с ЭВМ (алфавитно-цифровые дисплеи, устройства речевого ввода-вывода, устройства управления курсором, графические дисплеи)
- устройства машинной графики (устройства кодирования графической информации, графопостроители, графические дисплеи, устройства управления курсором, растровые печатающие устройства)

- устройства подготовки данных
- устройства связи с технологическим оборудованием
- технические средства теледоступа и сетей ЭВМ (мультиплексоры передачи данных, аппаратура передачи данных, сетевые контроллеры, связные процессоры, каналы связи).

Перечисленные задачи ТС решают совместно с общесистемным программным обеспечением. Под общесистемным программным обеспечением подразумеваются операционные системы (ОС) ЭВМ. Совокупность технических средств ЭВМ и ее программного обеспечения называют вычислительной системой (ВС).

Характеристики конкретной САПР в значительной степени определяются составом КТС и общесистемного программного обеспечения, которые должны обеспечивать:

- производительность ЭВМ, достаточную для решения всех проектных задач;
- возможность оперативного взаимодействия проектировщика с ЭВМ в процессе проектирования;
- простоту освоения, эксплуатации и обслуживания КТС;
- открытость КТС для реконфигурации и дальнейшего развития;
- широкое использование входной и выходной графической информации о проектируемом объекте;

Общие сведения об ЭВМ и ВС, используемых в САПР.

Основной КТС САПР являются разнообразные ЭВМ. При определении возможности использования той или иной ЭВМ в составе КТС их оценивают по совокупности различных показателей, главные из которых - технические характеристики, стоимость приобретения и эксплуатации.

К основным техническим параметрам ЭВМ относятся производительность, емкость оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), пропускную способность подсистемы ввода-вывода информации, надежность функционирования и др.

Производительность - один из важнейших показателей ЭВМ, измеряемые количеством операций, выполняемых за единицу времени (обычно операций в секунду). Этот показатель для разных типов ЭВМ колеблется от нескольких сотен до сотен миллионов операций в секунду. В последние годы производительность определяется тактовой частотой процессора.

Емкость ОЗУ определяет возможности ЭВМ по выполнению сложных программ с обработкой больших объемов информации. Емкость ОЗУ может выражаться в битах, байтах, словах, килобайтах, мегабайтах и т.п. Наиболее распространена оценка емкости ОЗУ в байтах, килобайтах (1Кбайт=1024 байт), мегабайтах (1Мбайт=1024Кбайт), гигабайтах (1Гбайт=1024Мбайт). Емкость ОЗУ для ЭВМ, используемых в САПР, колеблется от десятков килобайт до единиц гигабайтов.

Пропускная способность подсистем ввода-вывода ЭВМ, позволяет определить возможности ЭВМ при обмене информацией с различными периферийными устройствами или другими ЭВМ. Она измеряется максимальным количеством единиц информации, переданная через подсистему ввода-вывода за единицу времени.

Надежность функционирования ЭВМ оценивается рядом показателей, имеющих вероятностный характер, например, вероятностью безотказной работы в течении заданного интервала времени, наработкой на отказ, средним временем восстановления работоспособности ЭВМ, коэффициентом готовности и т. д.

В настоящее время для работы САПР, в основном, используются ЭВМ общего назначения. На сегодняшний день в мире существует множество ЭВМ (далее – компьютеров) различных групп сложности, различных поколений, и здесь будет приведен краткий обзор компьютеров лишь одной фирмы IBM, как общепризнанного лидера в производстве и продаже вычислительной техники. Вся компьютерная серия IBM программно и техни-

чески совместима внутри себя, что послужило ее широкому распространению в том числе для автоматизации технологического проектирования.

Тема 8. Понятие и назначение ИО САПР. Понятие информационной базы САПР, ее структура.

Основное назначение ИО САПР -- уменьшение объемов информации, требуемой в процессе проектирования от разработчика РЭС, и исключение дублирования данных в прикладном, программном и техническом обеспечении САПР.

ИО САПР состоит из описания стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, типовых элементов РЭС, комплектующих изделий и их моделей, материалов, числовых значений параметров и других данных. Эти данные в закодированной форме записываются на машинных носителях: магнитных лентах и магнитных дисках.

Кроме того, в ИО САПР входят правила и нормы проектирования, содержащиеся в соответствующей нормативно-технической документации, а также информация о правилах документирования результатов проектирования. Структура и содержание ИО САПР, а также характер его использования зависят от степени развития банка данных.

Данные ИО обычно группируются в отдельные массивы, каждый из которых относится к определенному объекту описания. Такие массивы называются **файлами**. Вся совокупность файлов образует **базу данных**, которую можно многократно использовать при проектировании различных РЭС для различных этапов и уровней.

Для создания, расширения, корректировки и коллективного использования данных создаются специальные системы управления базами данных (СУБД). Совокупность баз данных, систем управления файлами, а также относящихся к ним программных, языковых, технических и организационных средств называется **банком данных**. Следовательно, банки данных (БНД) являются составной частью ИО САПР и состоят из баз данных (БД) и систем управления базами данных (СУБД). БНД создаются как обслуживающие подсистемы САПР и предназначены для автоматизированного обеспечения необходимыми данными проектирующих подсистем САПР. По назначению СУБД является элементом информационного обеспечения, так как организует автоматизированное обеспечение проектировщика информацией, а по содержанию это комплекс программ, то есть элемент программного обеспечения.

Состав БД определяют с учетом характеристик объектов проектирования (технических, метрологических, эксплуатационных), характеристик процесса проектирования (типовые проектные решения, описания технологических операций с вариантами их реализации), действующих нормативных и справочных данных, ранее созданных в организации информационных массивов.

Основные требования к базам данных: установление многосторонних связей по производительности -- пропускной способности; минимальная избыточность по затратам на создание и эксплуатацию БД; целостность и возможность поиска данных; безопасность и секретность от несанкционированного доступа; связь с разработанными и проектируемыми БД; простота; возможность настройки и перемещения данных. Последние требования составляют концепцию автоматизированных информационных систем, обладающих адаптацией СУБД к данной предметной области с учетом динамики ее развития.

База данных характеризуется двумя аспектами: информационным и манипуляционным. Первый отражает структуру данных, наиболее подходящую для данной предметной области; второй -- действия над структурами данных: выборку, добавление, удаление, обновление и преобразование данных.

При построении БД должен выполняться принцип информационного единства, то есть должны применяться термины, символы, условные обозначения, проблемно-ориентированные языки и другие способы представления информации, принятые в САПР.

В качестве основных логических структур баз данных могут использоваться: иерархическая, сетевая, реляционная, смешанная (представляющая собой различные сочетания перечисленных выше структур).

Содержание, структура и организация использования БД должны обеспечивать:

- объединение любого числа БД любого объема, допускающее совместное использование общих данных различными подсистемами САПР для разных задач;
- возможность наращивания БД, достоверность и непротиворечивость данных, минимальный объем памяти ЭВМ для их хранения;
- защиту и регулирование возможности доступа к БД ;
- многократное использование данных.

Проблема согласования программ является, прежде всего, проблемой выбора структур данных и массивов в памяти ЭВМ. Если программы рассчитаны на работу с общими данными, сгруппированными по-разному, то такие программы не являются информационно согласованными и не могут непосредственно войти в сочетание программ, обслуживающих некоторый маршрут проектирования. Для обеспечения взаимодействия программ в маршрутах необходимо их **информационное согласование**, то есть приспособление к работе с информационными массивами одинаковой структуры.

Информационная согласованность программ обеспечивается построением общей для согласуемых программ БД, то есть совокупности всех тех данных, которые обрабатываются в более чем одной программе (модуле).

В БД можно выделить части, играющие различную роль в процессе проектирования.

Первая часть -- **СПРАВОЧНИК** -- содержит справочные данные о ГОСТах, нормах, унифицированных элементах, ранее выполненных типовых проектах. Эта часть изменяется наименее часто, характеризуется однократной записью и многократным считыванием и называется постоянной частью БД.

Вторая часть -- **ПРОЕКТ** -- содержит сведения об аппаратуре, находящейся в процессе проектирования. В нее входят результаты решения проектных задач, полученные к текущему моменту (различного типа схемы, спецификации, таблицы соединений, тесты). ПРОЕКТ пополняется или изменяется по мере завершения очередных итераций на этапах проектирования и составляет полуперемennую часть БД.

Часто СПРАВОЧНИК и ПРОЕКТ объединяют под общим названием **АРХИВ**.

Третья часть БД содержит массивы переменных, значения которых важны только в процессе совместного решения двумя (или более) программами конкретной задачи проектирования. Это переменная часть БД.

Первый способ информационного согласования программ -- построение централизованной БД, общей для всех модулей программного обеспечения.

В соответствии с этим способом при создании САПР сначала разрабатывается БД, а затем -- программное обеспечение.

Реализация централизованной БД -- сложная задача, т.к. выбранная структура БД не всегда может обеспечить реализацию всех необходимых маршрутов проектирования. Например, ранее принятая структура БД может не удовлетворять требованиям новых элементов информационного и программного обеспечения.

Поэтому второй способ информационного согласования программ -- построение системы, в которой несколько частных баз данных сопрягаются с помощью специального программного интерфейса.

Интерфейс представляет собой программы перекомпоновки информационных массивов из форматов и структур одной БД в форматы и структуры, принятые в другой БД.

Основные операции в БД -- выборка данных прикладными программами, запись новых данных, удаление старых ненужных записей, перезапись файлов с одних машинных носителей на другие и так далее.

Для выполнения большинства из этих операций требуется специальное программное обеспечение.

Совокупность программ, обслуживающих БД, называется **системой управления базой данных СУБД**. БД и СУБД вместе образуют **БАНК ДАННЫХ**.

Логическое представление БД отображает только состав сведений и связи между элементами сведений, хранящихся в БД.

Физическое представление БД отображает способ расположения информации на машинных носителях.

Структуру БД можно представить в виде графа. Каждая вершина графа отображает группу однотипных записей (группы взаимосвязанных элементов данных), то есть каждой вершине можно поставить в соответствие таблицу, содержащую конкретные значения (экземпляры) записей.

БД, для логического представления которых используются графы, называют **СЕТЕВЫМИ**. Обычно в сетевых БД в графах, изображающих структуру, можно указать те или иные циклы.

В частном случае сетевых БД граф может представлять собой дерево. В частности, если устранить из БД все сведения, кроме одного номинального, то структура представляется деревом. Такую структуру называют **ДРЕВОВИДНОЙ** или **ИЕРАРХИЧЕСКОЙ**. Реализация древовидной структуры проще, чем сетевой структуры общего вида, однако чаще реальные данные имеют сложные сетевые структуры.

Наряду с сетевым подходом к представлению БД существует другой подход, основанный на операции нормализации структуры. Этот подход приводит к логическому представлению БД в виде совокупности таблиц. Такие базы данных называют **РЕЛЯЦИОННЫМИ БД**.

Реляционная БД представляет собой совокупность таблиц при условии, что сведения о связях между таблицами удастся включить в сами эти таблицы. Включение таких сведений обеспечивается нормализацией. Сетевые и реляционные базы данных имеют свои преимущества и недостатки. В настоящее время развиваются оба направления в логической организации БД.

Тема 9. 3D моделирование объектов средствами САПР.

Создание 3D модели детали. Общий порядок работы.

Общепринятым порядком моделирования твердого тела является последовательное выполнение булевых операций (объединения, вычитания и пересечения) над объемными элементами (сферами, призмами, цилиндрами, конусами, пирамидами и т.д.). Пример выполнения таких операций показан на рис. 1.

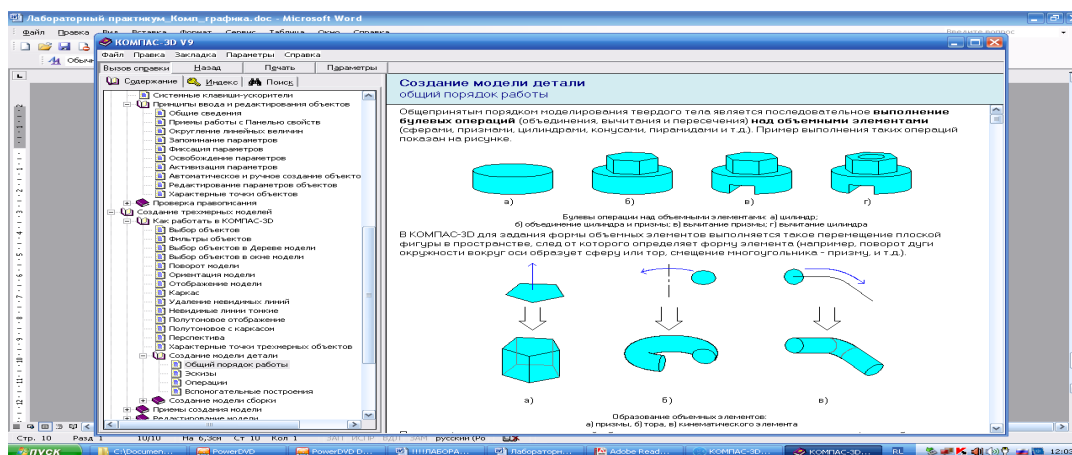


Рис. 1. Булевы операции над объемными элементами: а) цилиндр; б) объединение цилиндра и призмы; в) вычитание призмы; г) вычитание цилиндра

В КОМПАС-3D для задания формы объемных элементов выполняется такое перемещение плоской фигуры в пространстве, след от которого определяет форму элемента (например, поворот дуги окружности вокруг оси образует сферу или тор, смещение многоугольника – призму, и т.д.) (рис. 2).

Плоская фигура, на основе которой образуется элемент, называется эскизом, а формообразующее перемещение эскиза – операцией.

Деталь может состоять из нескольких твердых тел. Над ними, в свою очередь, также могут производиться булевы операции.

Эскиз может располагаться в одной из ортогональных плоскостей координат, на плоской грани существующего тела или во вспомогательной плоскости, положение которой задано пользователем.

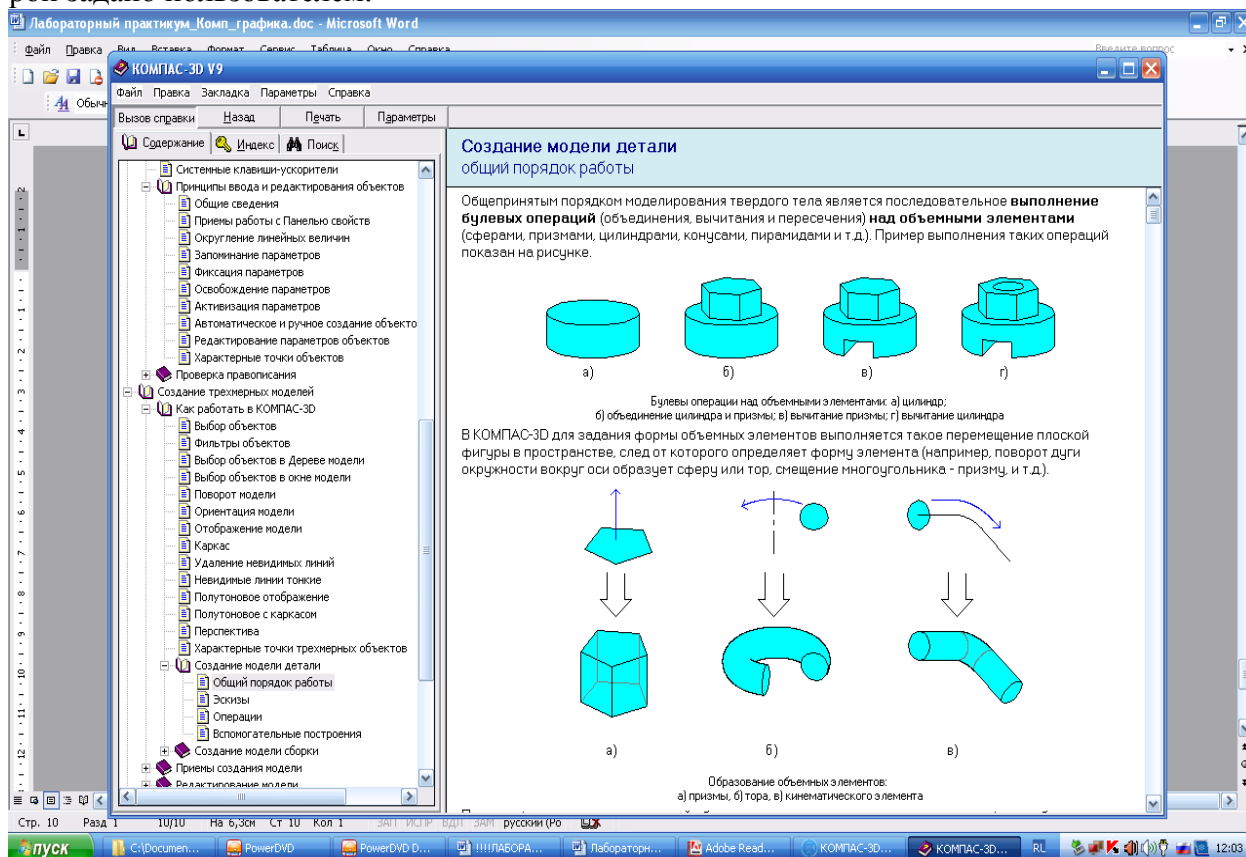


Рис. 2. Образование объемных элементов: а) призмы, б) тора, в) кинематического элемента

Эскиз изображается на плоскости стандартными средствами чертежно-графического редактора КОМПАС-3D. При этом доступны все команды построения и редактирования изображения, команды параметризации и сервисные возможности. Исключением является невозможность ввода некоторых технологических обозначений, объектов оформления и таблиц.

В эскиз можно перенести изображение из ранее подготовленного чертежа или фрагмента. Это позволяет при создании трехмерной модели опираться на существующую чертежно-конструкторскую документацию.

Замечание. В эскиз можно вставлять внешние фрагменты, а также макроэлементы из библиотек (например, из Конструкторской библиотеки или из Библиотеки конструктивных элементов). Для того, чтобы вставленное изображение можно было использовать в операции, после вставки его необходимо разрушить.

Система координат, плоскости моделей.

В каждом файле модели (в том числе в новом, только что созданном) существует система координат и определяемые ею проекционные плоскости. Название этих объектов отображается вверху Древа модели.

Изображение системы координат модели показывается посередине окна в виде трех ортогональных отрезков красного, синего и зеленого цветов. Общее начало отрезков - это начало координат модели, точка с координатами 0, 0, 0.

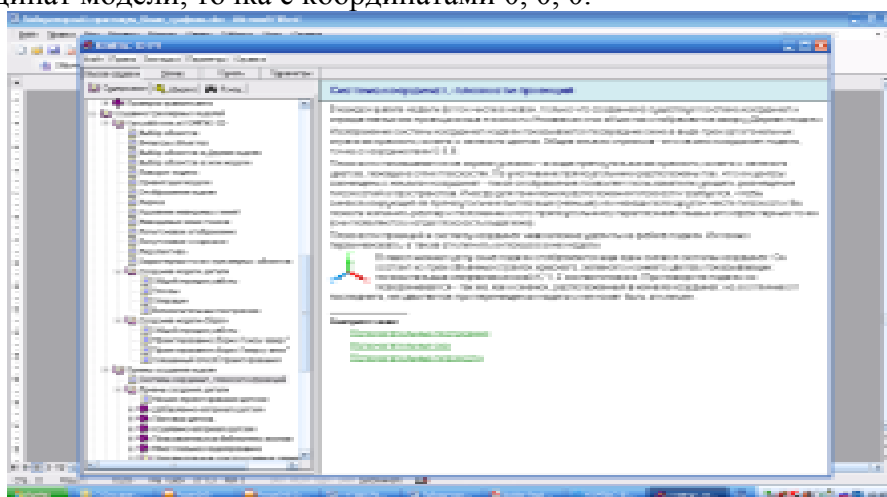


Рис. 3. Система координат 3D-модели

Плоскости показываются на экране условно – в виде прямоугольников красного, синего и зеленого цветов, лежащих в этих плоскостях. По умолчанию прямоугольники расположены так, что их центры совмещены с началом координат - такое отображение позволяет пользователю увидеть размещение плоскостей в пространстве. Иногда для понимания расположения плоскости требуется, чтобы символизирующий ее прямоугольник был больше (меньше) или находился в другом месте плоскости. Вы можете изменить размер и положение этого прямоугольника, перетаскивая мышью его характерные точки (они появляются, когда плоскость выделена).

Плоскости проекций и систему координат невозможно удалить из файла модели. Их можно переименовать, а также отключить их показ в окне модели.

В левом нижнем углу окна модели отображается еще один символ системы координат. Он состоит из трех объемных стрелок красного, зеленого и синего цветов, показывающих положительные направления осей X, Y, Z соответственно. При повороте модели он поворачивается - так же, как и значок, расположенный в начале координат, но, в отличие от последнего, не сдвигается при перемещении модели и не может быть отключен.

Деталь может состоять из одного или нескольких тел.

Построение тела начинается с создания формообразующего элемента одного из следующих типов:

- элемент выдавливания,
- элемент вращения,
- кинематический элемент,
- элемент по сечениям,
- листовое тело.

В начале создания модели всегда встает вопрос о том, в каком порядке проводить построение и с какого элемента начинать. Для ответа на него нужно хотя бы приблизительно представлять конструкцию будущей детали.

Мысленно исключите из этой конструкции фаски, скругления, проточки и прочие мелкие конструктивные элементы, разбейте деталь на составляющие ее формообразующие элементы (параллелепипеды, призмы, цилиндры, конусы, торы, кинематические элементы и т.д.).

Несмотря на то, что построение можно начинать с любого элемента, чаще всего в первую очередь создают самый крупный из них. Если в составе детали есть несколько сопоставимых по размерам элементов, то, возможно, для ее создания целесообразно будет построить несколько тел и затем объединить их. Некоторые детали, например, сегментные вкладыши, состоят из нескольких тел, не объединенных между собой.

Иногда создание детали начинают с простого элемента (например, параллелепипеда, цилиндра), описанного вокруг проектируемой детали (или ее части).

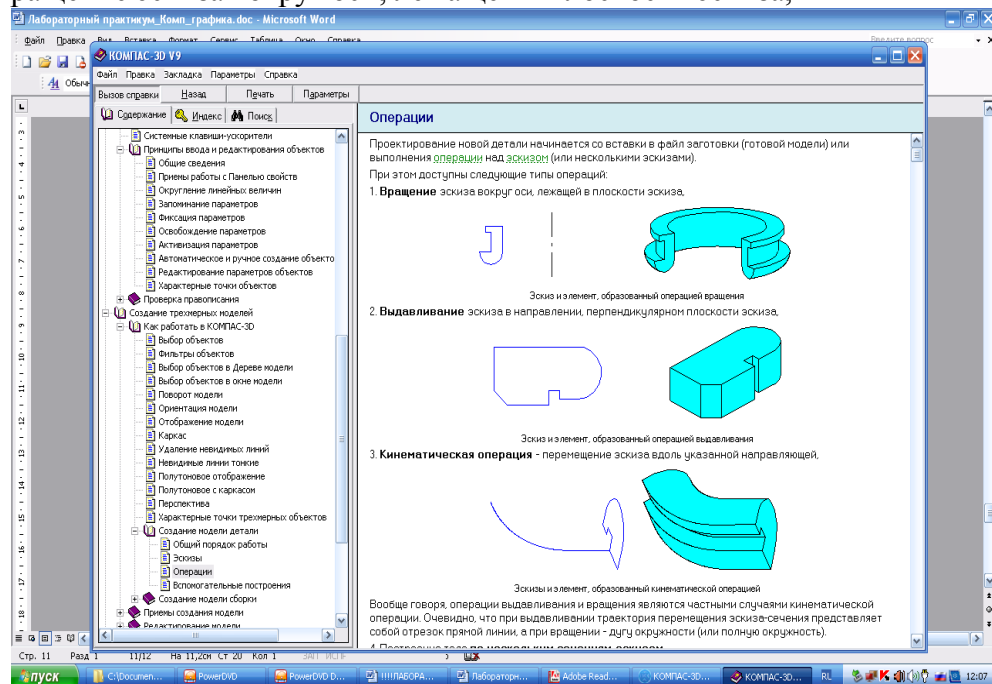
Порой общая форма детали такова, что проще всего получить ее путем пересечения нескольких тел.

В некоторых случаях порядок проектирования детали можно наметить, представив технологический процесс ее изготовления.

Проектирование новой детали начинается со вставки в файл заготовки (готовой модели) или выполнения операции над эскизом (или несколькими эскизами).

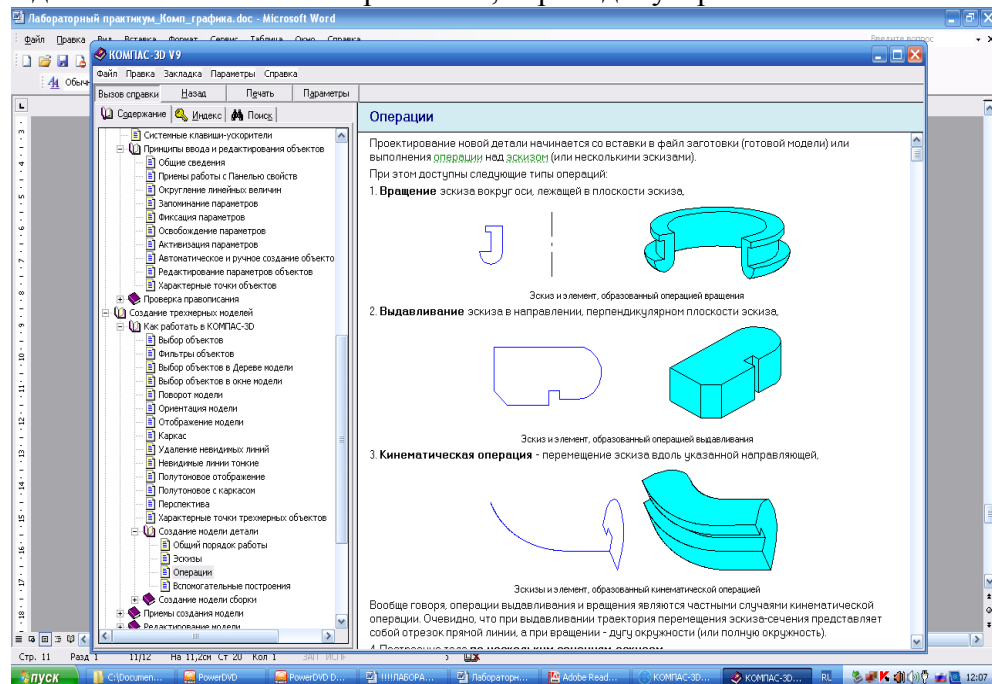
При этом доступны следующие типы операций:

1. Вращение эскиза вокруг оси, лежащей в плоскости эскиза,



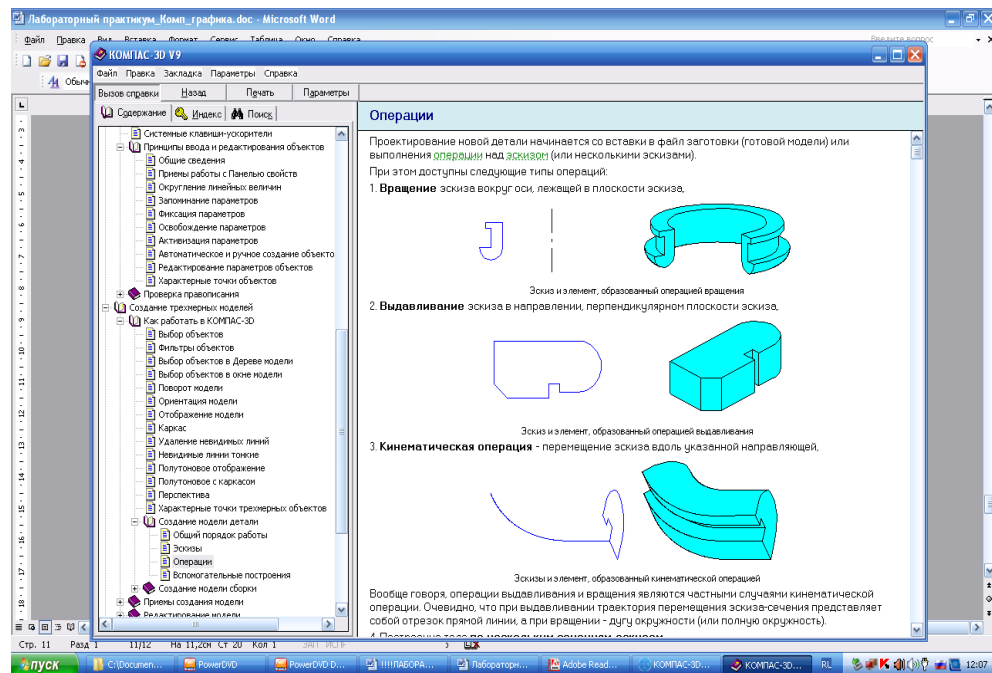
Эскиз и элемент, образованный операцией вращения

2. Выдавливание эскиза в направлении, перпендикулярном плоскости эскиза,



Эскиз и элемент, образованный операцией выдавливания

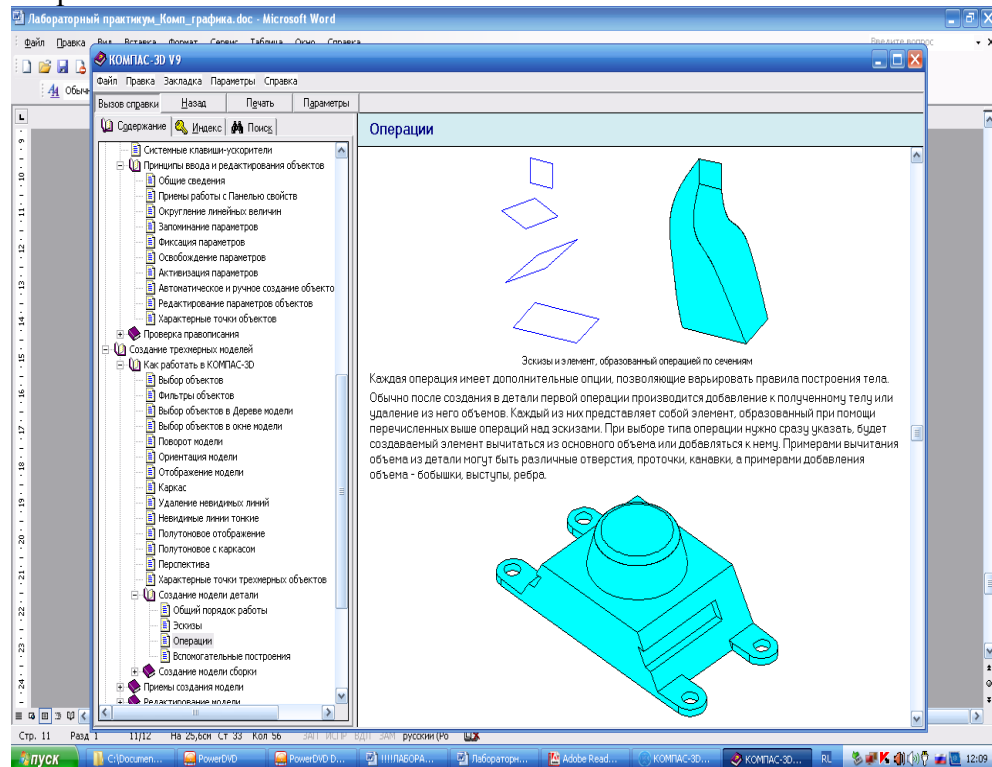
3. Кинематическая операция – перемещение эскиза вдоль указанной направляющей,



Эскизы и элемент, образованный кинематической операцией

Вообще говоря, операции выдавливания и вращения являются частными случаями кинематической операции. Очевидно, что при выдавливании траектория перемещения эскиза-сечения представляет собой отрезок прямой линии, а при вращении – дугу окружности (или полную окружность).

4. Построение тела по нескольким сечениям-эскизам.



Эскизы и элемент, образованный операцией по сечениям.

Каждая операция имеет дополнительные опции, позволяющие варьировать правила построения тела.

Обычно после создания в детали первой операции производится добавление к полученному телу или удаление из него объемов. Каждый из них представляет собой элемент, образованный при помощи перечисленных выше операций над эскизами. При выборе ти-

па операции нужно сразу указать, будет создаваемый элемент вычитаться из основного объема или добавляться к нему. Примерами вычитания объема из детали могут быть различные отверстия, проточки, канавки, а примерами добавления объема – бобышки, выступы, ребра (рис. 4).

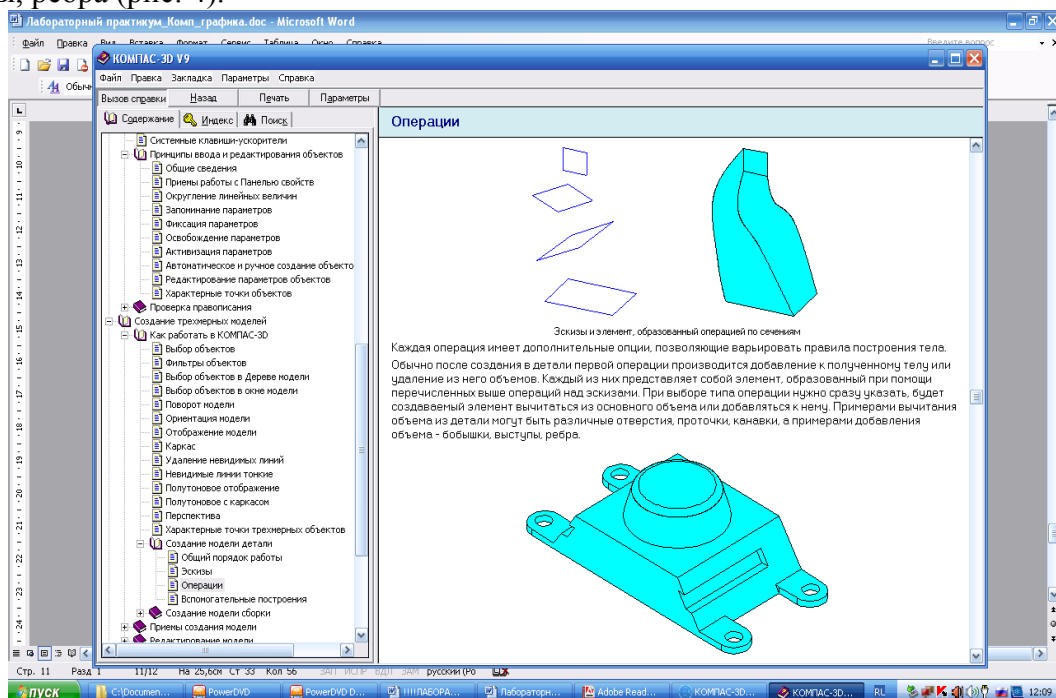


Рис. 4. Приклеенные элементы: бобышка и лапки; вырезанные элементы: пазы

Описанным образом в детали формируется необходимое количество тел. Над любой парой пересекающихся тел может быть произведена булева операция - вычитание, объединение или пересечение. Возможно также объединение нескольких тел в одно путем построения нового тела.

Эскиз может быть построен на плоскости (в том числе на любой плоской грани тела). Для выполнения некоторых операций (например, создания массива по концентрической сетке) требуется указание оси (осью может служить и прямолинейное ребро тела).

Если существующих в модели граней, ребер и плоскостей проекций недостаточно для построений, вы можете создать вспомогательные плоскости и оси, задав их положение одним из предусмотренных системой способов.

Применение вспомогательных конструктивных элементов значительно расширяет возможности построения модели.

Для создания таких элементов предназначены команды, кнопки вызова которых находятся на панели Вспомогательная геометрия. Кнопки сгруппированы по назначению: группа команд построения вспомогательных осей и группа команд построения вспомогательных плоскостей. В режиме редактирования детали на панели Вспомогательная геометрия присутствует также кнопка вызова команды Линия разреза, позволяющей разделить грань на несколько граней с созданием дополнительных ребер в плоскости этой грани.

Сборка в КОМПАС-3D - трехмерная модель, объединяющая модели деталей, подборок и стандартных изделий (они называются компонентами сборки), а также информацию о взаимном положении компонентов и зависимостях между параметрами их элементов.

Вы можете задать состав сборки, внося в нее новые компоненты или удаляя существующие. Модели компонентов записаны в отдельных файлах на диске. В файле сборки хранятся ссылки на эти компоненты.

Вы можете указать взаимное положение компонентов сборки, задав параметрические связи между их гранями, ребрами и вершинами (например, совпадение граней двух деталей или соосность втулки и отверстия). Эти параметрические связи называются сопряжениями.

Если в файлах на диске уже существуют все компоненты, из которых должна состоять сборка, их можно вставить в сборку, а затем установить требуемые сопряжения между ними. Этот способ проектирования напоминает действия слесаря-сборщика, последовательно добавляющего в сборку детали и узлы и устанавливающего их взаимное положение.

Несмотря на кажущуюся простоту, такой порядок проектирования применяется крайне редко и только при создании сборок, состоящих из небольшого количества деталей. Это вызвано тем, что форма и размеры деталей в сборках всегда взаимосвязаны. Для моделирования отдельных деталей с целью последующей их "сборки" требуется точно представлять их взаимное положение и топологию изделия в целом, вычислять, помнить (или специально записывать) размеры одних деталей, чтобы в зависимости от них устанавливать размеры других деталей.

Для иллюстрации порядка проектирования "снизу вверх" можно провести такую аналогию с процессом создания конструкторской документации: проектирование "снизу вверх" подобно компоновке сборочного чертежа из готовых чертежей деталей; в случае "нестыковки" каких-либо деталей требуется внести изменения в их чертежи и только затем исправить компоновку.

Если компоненты еще не существуют, их можно моделировать прямо в сборке. При этом первый компонент (например, деталь) моделируется в обычном порядке, а при моделировании следующих компонентов используются существующие. Например, эскиз первого формообразующего элемента новой детали создается на грани существующей детали и повторяет ее контур, а траекторией этого эскиза при выполнении кинематической операции становится ребро другой детали. В этом случае ассоциативные связи между компонентами возникают непосредственно в процессе построения, а впоследствии при редактировании одних компонентов другие перестраиваются автоматически.

Кроме автоматического возникновения ассоциативных связей, происходит и автоматическое определение большинства параметров компонентов, что избавляет пользователя от необходимости помнить или самостоятельно вычислять эти параметры. Например, толщина прокладки, создаваемой непосредственно в сборке, автоматически подбирается так, чтобы эта прокладка заполняла пространство между деталями (при проектировании "снизу вверх" пользователю пришлось бы вычислить расстояние между деталями и задать соответствующую ему толщину прокладки); если в результате редактирования моделей расстояние между деталями изменится, то толщина прокладки также изменится автоматически (если модель прокладки была построена отдельно, ее толщина остается постоянной и при перестроении соседних деталей может оказаться, что прокладка не заполняет зазор между ними или, наоборот, пересекает тела деталей).

Такой порядок проектирования предпочтителен по сравнению с проектированием "снизу вверх". Он позволяет автоматически определять параметры и форму взаимосвязанных компонентов и создавать параметрические модели типовых изделий.

Если применить предложенную в предыдущем разделе аналогию с процессом черчения, можно сказать, что при проектировании "сверху вниз" вначале создается сборочный чертеж изделия, и лишь затем (на его основе) - чертежи деталей.

На практике чаще всего используется смешанный способ проектирования, сочетающий в себе приемы проектирования "сверху вниз" и "снизу вверх".

В сборку вставляются готовые модели компонентов, определяющих ее основные характеристики, а также модели стандартных изделий. Например, при проектировании редуктора вначале создаются модели отдельных деталей зубчатых колес, затем эти детали вставляются в сборку и производится их компоновка. Остальные компоненты (например,

корпус, крышки и прочие детали, окружающие колеса и зависящие от их размера и положения) создаются "на месте" (в сборке) с учетом положения и размеров окружающих компонентов.

Контрольные вопросы:

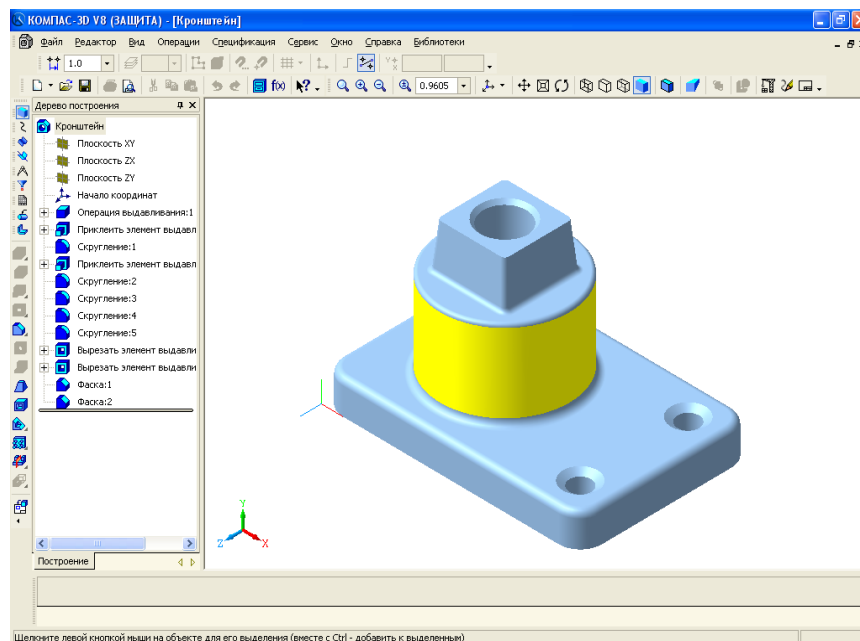
1. Поясните алгоритм построения трехмерной модели?
2. Перечислите основные булевы операции, которые используются при построении трехмерной модели.
3. Какие системы координат используются в 3D-моделировании в САПР «КОМПАС»?
4. Поясните разницу сборки по методу «сверху-вниз» и «снизу-вверх»?

Задания:

С помощью САПР «КОМПАС» 3D-модели по образцу, используя краткие теоретические сведения и справочную систему САПР «КОМПАС».

Образец №1.

Образец №2.



2. Методические указания для самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа является одним из видов учебной деятельности обучающихся, способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений обучающихся;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности обучающихся: творческой инициативы, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развития исследовательских умений.

Аудиторная самостоятельная работа по учебной дисциплине на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию. Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется по заданию преподавателя без его непосредственного участия.

Виды заданий для внеаудиторной самостоятельной работы, их содержание и характер могут иметь вариативный и дифференцированный характер, учитывать специфику изучаемой учебной дисциплины, индивидуальные особенности обучающегося.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуется как единство двух форм:

- самоконтроль и самооценка обучающегося;
- контроль и оценка со стороны преподавателя.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

При предъявлении видов заданий на внеаудиторную самостоятельную работу рекомендуется использовать дифференцированный подход к уровню подготовленности обучающегося. Перед выполнением внеаудиторной самостоятельной работы преподаватель проводит консультацию с определением цели задания, его содержания, сроков выполнения, ориентировочного объема работы, основных требований к результатам работы, критериев оценки, форм контроля и перечня литературы. В процессе консультации преподаватель предупреждает о возможных типичных ошибках, встречающихся при выполнении задания.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня подготовленности обучающихся.

Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы могут быть:

- для овладения знаниями: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы); составление плана текста; графическое изображение структуры текста; конспектирование текста; выписки из текста; работа со словарями и справочниками; учебно-исследовательская работа; использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернет-ресурсов и др.;
- для закрепления и систематизации знаний: работа с конспектом лекции (обработка текста); повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио- и видеозаписей); составление плана и тезисов ответа; составление таблиц, ребусов, кроссвордов, глоссария для систематизации учебного материала; изучение словарей, справочников; ответы на контрольные вопросы; аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ и др.); под-

готовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции; подготовка рефератов, докладов; составление библиографии, заданий в тестовой форме и др.;

- для формирования умений: решение задач и упражнений по образцу; решение вариативных задач и упражнений; составление схем; решение ситуационных производственных (профессиональных) задач; подготовка к деловым и ролевым играм; проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности; подготовка презентаций, творческих проектов; подготовка курсовых и выпускных работ; опытно-экспериментальная работа; проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности и др.

Для обеспечения внеаудиторной самостоятельной работы по дисциплине преподавателем разрабатывается перечень заданий для самостоятельной работы, который необходим для эффективного управления данным видом учебной деятельности обучающихся.

Преподаватель осуществляет управление самостоятельной работой, регулирует ее объем на одно учебное занятие и осуществляет контроль выполнения всеми обучающимися группы. Для удобства преподаватель может вести ведомость учета выполнения самостоятельной работы, что позволяет отслеживать выполнение минимума заданий, необходимых для допуска к итоговой аттестации по дисциплине.

В процессе самостоятельной работы студент приобретает навыки самоорганизации, самоконтроля, самоуправления и становится активным самостоятельным субъектом учебной деятельности.

Обучающийся самостоятельно определяет режим своей внеаудиторной работы и меру труда, затрачиваемого на овладение знаниями и умениями по каждой дисциплине, выполняет внеаудиторную работу по индивидуальному плану, в зависимости от собственной подготовки, бюджета времени и других условий.

Ежедневно обучающийся должен уделять выполнению внеаудиторной самостоятельной работы в среднем не менее 3 часов.

При выполнении внеаудиторной самостоятельной работы обучающийся имеет право обращаться к преподавателю за консультацией с целью уточнения задания, формы контроля выполненного задания.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может проводиться в письменной, устной или смешанной форме с представлением продукта деятельности обучающегося. В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы могут быть использованы зачеты, тестирование, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и др.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

Золотов С.Ю. Проектирование информационных систем [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Золотов С.Ю.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Эль Контент, 2013.— 88 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13965>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

Авлукова Ю.Ф. Основы автоматизированного проектирования [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Авлукова Ю.Ф.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Вышэйшая школа, 2013.— 221 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/24071>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

Семенов А.Д. Лабораторный практикум по дисциплине САПР технологических процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Семенов А.Д.— Электрон. текстовые данные.— Егорьевск: Егорьевский технологический институт (филиал) Московского государственного технологического университета «СТАНКИН», 2015.— 271 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47402>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

Дополнительная:

Автоматизация организационно-технологического проектирования в строительстве [Электронный ресурс]: учебник/ С.А. Синенко [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Вузовское образование, 2013.— 240 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12806>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

Павличева Е.Н. Введение в информационные системы управления предприятием [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Павличева Е.Н., Дикарев В.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский городской педагогический университет, 2013.— 84 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26456>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Перечень программного обеспечения

№	Перечень программного обеспечения (обеспеченного лицензией)	Реквизиты подтверждающих документов
1	Операционная система MS Windows 7 Pro	DreamSpark Premium Electronic Software Delivery (3 years) договору – Сублицензионный договор №Tr000074357/КНВ 17 от 01 марта 2016 года
2	Операционная система MS Windows 10 Education	DreamSpark Premium Electronic Software Delivery (3 years) договору – Сублицензионный договор №Tr000074357/КНВ 17 от 01 марта 2016 года
3	MS office 2010 standard	Лицензия Microsoft office 2010 Standard RUS OLM ML Academic 50, договор №492 от 28 июня 2012 года
4	MS access 2010	DreamSpark Premium Electronic Software Delivery (3 years) договору – Сублицензионный договор №Tr000074357/КНВ 17 от 01 марта 2016 года
5	Автоматизированная информационная библиотечная система «ИРБИС 64»	Лицензия коммерческая по договору №945 от 28 ноября 2011 года
6	Программный комплекс «КонсультантПлюс»	Лицензия коммерческая по договору №21 от 29 января 2015 года
7	7-Zip	Бесплатное распространение по лицензии GNU LGPL http://www.7-zip.org/license.txt
8	LibreOffice	Бесплатное распространение по лицензии Mozilla Public Licence Version 2.0
9	Ramus	Бесплатное распространение по лицензии GNU GPL https://www.gnu.org/licenses/quick-guide-gplv3.ru.html
10	Open ModelSphere	Бесплатное распространение по лицензии EPL https://www.eclipse.org/legal/epl-v10.html
11	Argo UML	Бесплатное распространение по лицензии EPL https://www.eclipse.org/legal/epl-v10.html
12	Open System Architect	Бесплатное распространение по лицензии GNU GPL http://www.gnu.org/licenses/old-licenses/gpl-2.0.htm
13	Umlet	Бесплатное распространение по лицензии GNU GPL http://www.gnu.org/licenses/old-licenses/gpl-2.0.htm
14	Autodesk Product Design Suite Ultimate 2014-2017 (Inventor Professional	Электронная лицензия Education Network license Multi-user 3000 concurrent users 3-year term.

№	Перечень программного обеспечения (обеспеченного лицензией)	Реквизиты подтверждающих документов
	AutoCad Mechanical AutoCad Raster Design Recap Vault Basic 3ds Max Design Navisworks Manage AutoCad Electrical)	
15	ANSYS 16	Договор №218 от 11.12.15
16	Comsol Multiphysics	Лицензия на учебный класс по сублицензионному договору №20/15/230 от 16.12 2015

Перечень Интернет-ресурсов:

	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	amursu.ru	Сайт ФГБОУ ВПО АмГУ
2	Электронная библиотечная система www.iprbookshop.ru	ЭБС IPRbooks — научно-образовательный ресурс для решения задач обучения в России и за рубежом. Уникальная платформа ЭБС IPRbooks объединяет новейшие информационные технологии и учебную лицензионную литературу. Контент ЭБС IPRbooks отвечает требованиям стандартов высшей школы, СПО, дополнительного и дистанционного образования. ЭБС IPRbooks в полном объеме соответствует требованиям законодательства РФ в сфере образования.
3	http://elibrary.ru	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. Крупнейший российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 12 млн научных статей и публикаций. На платформе eLIBRARY.RU доступны электронные версии более 1400 российских научно-технических журналов, в том числе более 500 журналов в открытом доступе.