



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)**

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВ-  
ЛЕНИЯ**

**Конспект лекций по дисциплине «Компьютерные технологии в области автоматиза-  
ции и управления»**

Ростов-на-Дону

2024

УДК 681. 5

Составитель: к.т.н. доцент Лесняк С.В.

Конспект лекций по дисциплине «Компьютерные технологии в области автоматизации и управления». Разработаны в соответствии с учебными программами дисциплины «Автоматизация производств нефтегазового комплекса» для студентов направления подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств для магистрантов заочной формы обучения. — Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2024. — 42 с.

Содержит задание к контрольной работе, основные алгоритмы и пример решения.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Донского государственного технического университета

Научный редактор д-р техн. наук А.И. Козинкина

© Издательский центр ДГТУ, 2024

## Оглавление

ЛЕКЦИЯ №1 .....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	4
ЛЕКЦИЯ №2 .....	9
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД, .....	9
ЛЕКЦИЯ 3 .....	18
ОБЗОР КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	18
ЛЕКЦИЯ №4 .....	53
ANSYS WORKBENCH.....	53
ЛИТЕРАТУРА .....	56

## **ЛЕКЦИЯ №1**

Курс «Компьютерные технологии в области автоматизации и управления»

### **ВВЕДЕНИЕ**

Проектирование есть сложный специфический вид творческой деятельности, в которой сочетаются искусство, наука и математика.

Главная трудность проектирования заключается в том, что проектировщик на основании современных данных должен прогнозировать некоторое будущее состояние, которое возникнет только в том случае, если его прогнозы верны. В процессе проектирования и конструирования инженер должен наглядно изобразить нечто, что предметно еще не существует, а является лишь продуктом его умственной деятельности. Это и есть творческая инженерная задача в области техники. Другими словами, проектно-конструкторский процесс творчески определяет будущее техническое средство.

В основе творческой инженерной деятельности необходимо исходить из диалектической формы взаимосвязи, прежде всего причинности — связи причины и последующего действия. Возможными являются все действия. Но лишь те возможности будут реализованы, для которых созданы условия и имеются объективные предпосылки.

Трудность проектирования технических систем заключается в необходимости учета большого числа социальных, научно-технических, производственных и других факторов.

Конструирование машин является областью инженерной деятельности, наиболее сложной для автоматизации. Разработка теории и методов автоматизации конструирования находится еще в начальной стадии. Автоматизированы главным образом различные вычислительные операции, связанные с конструированием. Задачей автоматизации проектирования является создание комплексных автоматизированных систем подготовки производства в машиностроении, выполняющих кроме расчета выбор наиболее рациональных технологических и конструкторских решений, компоновку машин из составляющих их элементов, подбор этих элементов, технологическое проектирование, выдачу проектной документации в готовом виде и т. п.

### **ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Для определения задач автоматизации проектно-конструкторского процесса рассмотрим процентное соотношение различных проектных процедур.

Статистическое обследование ряда общемашиностроительных и станкостроительных предприятий показывает (табл. 1), что в прямых затратах времени, которые непосредственно служат процессу конструирования, чертежные работы составляют более 30 %, в то время как

творческие элементы проектных работ — только 15 %. Доля вычислительных работ по сравнению с проектными и чертежными работами в процентном отношении довольно незначительна. Остальные, так называемые косвенные проектные работы, занимающие примерно одну треть общего времени на конструирование, могут быть в основном охарактеризованы как «рутинные» этапы, которые по временным затратам примерно равноценны.

Распределение отдельных видов работ в фазе проектирования приведено в табл. 2.

Результаты представленных обследований отчетливо показывают, что на «рутинные» процедуры приходится большая доля временных затрат в процессе проектирования, причем детализация и в дальнейшем остается «рутинной» работой независимо от вида и организации проектирования почти на всех предприятиях машиностроения. Поэтому первым направлением рационализации процесса проектирования было стремление автоматизировать «рутинные» этапы с помощью средств вычислительной техники. На сегодняшний день наибольшие успехи достигнуты при автоматизации расчетов и разработке различного вида текстовой и табличной документации, в поиске аналогов машин и деталей. До конца не решен, из-за существенных трудностей, вопрос об автоматизации чертежно-графических работ.

### 1. Соотношение между процедурами процесса конструирования

Вид процедуры	Время отдельных операций, %	Вид затрат времени
Проектирование	15	Прямой
Расчеты	4	
Вычерчивание	33	
Прочие работы	10	
Составление спецификаций	5	Косвенный
Контроль чертежей	6	
Поиск повторяющихся деталей	2	
Составление описаний	12	
Предварительное нормирование	3	
Поиск аналогов проекта	1	
Переписка	3	
Прочие работы	6	

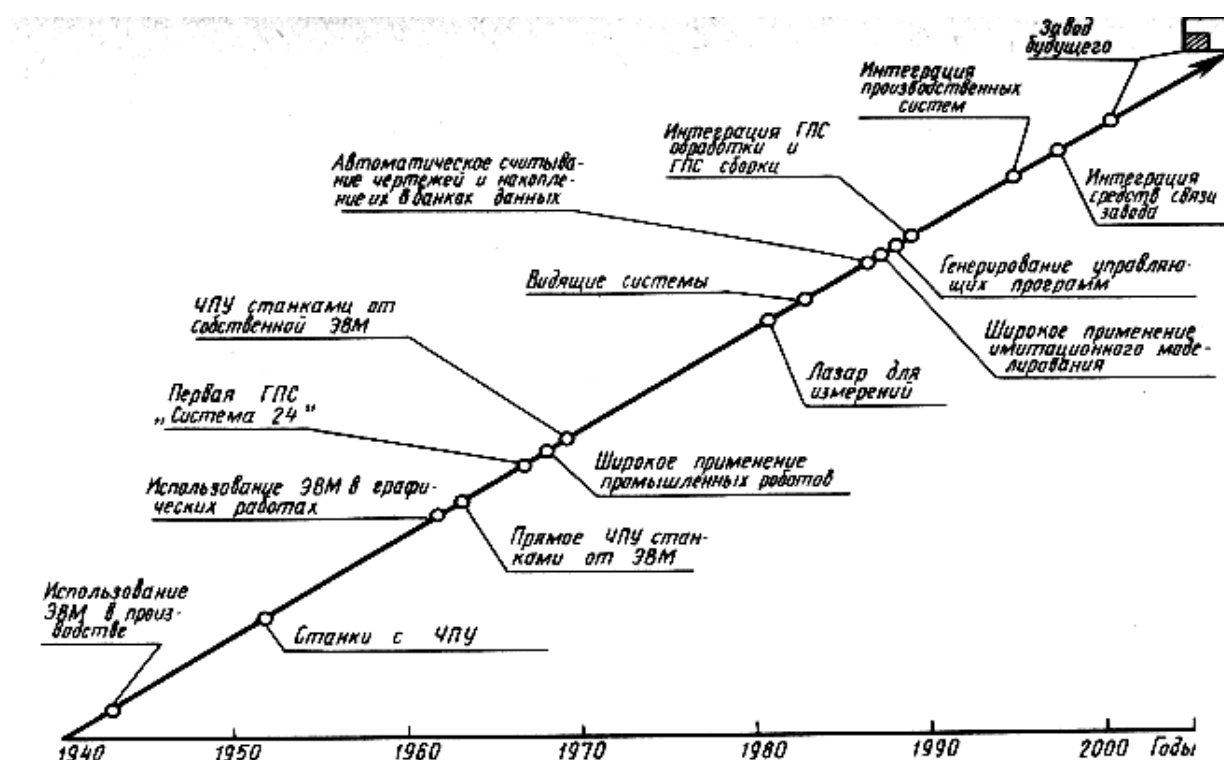
### 2. Распределение видов работ на основных этапах конструирования

Вид процедуры	Затраты времени на этапах разработки, %		
	общего вида	узлов	деталей
Проектирование	6	25	5
Расчеты	2	3	3
Вычерчивание	8	23	25

Накопленный опыт показывает, что автоматизация проектирования — это область эффективного использования ЭВМ. Но в то же время становится ясным, что главное направ-

ление здесь — не автоматизация отдельных этапов проектирования, не алгоритмы инженерных расчетов, а завязка проекта, когда только прорисовываются контуры будущей конструкции, которая должна отвечать исходным замыслам. Такой подход основывается на стремлении осуществить основную задачу — повысить качество принимаемых проектных решений за счет применения, методов оптимального проектирования.

Автоматизация же «рутинных» операций освобождает конструктора для творческой деятельности и повышает производительность процесса проектирования на оформительских этапах работ. Однако автоматизация только отдельных операций, например, за счет введения чертежных автоматов или широкого использования ЭВМ для проведения инженерных расчетов не вносит существенных изменений в сроки проектирования.



Развитие современного производства идет по пути создания высокоэффективных промышленных установок, обеспечивающих интенсификацию технологических процессов, и систем управления ими. При этом постепенно был осуществлен переход от ручного управления технологическими процессами к автоматизированным и далее — к полностью автоматическим.

Введение ГОСТ и международных стандартов качества ИСО не только определило содержание работ по созданию АСУ, но и позволило более строго сформулировать цели и задачи учебных курсов для подготовки инженеров-специалистов в области разработки и эксплуатации оборудования. Такая роль государственных документов по стандартизации требует их изучения в процессе подготовки специалистов для того, чтобы они в дальнейшей инженерной деятельности строго придерживались требований ГОСТ и ISO и выполняли все их предписания.

## **Пути повышения качества и производительности проектирования на основе использования ЭВМ**

Современные изделия включают в себя значительное количество деталей. В этом отношении интересны данные, приведенные в таблице 3.

Таблица 3

Число деталей в изделиях		
<b>Время</b>	<b>Примерное количество классов изделий</b>	<b>Среднее число различных деталей в наиболее сложных изделиях</b>
100000 лет назад	5	1
10000 лет назад	50	10
1000 лет назад	1000	100
Настоящее	50000	10000

Фирмы Западной Европы, США, Японии и др. стран уже давно работают в условиях рынка. Наша страна только вступает на этот путь. В условиях рынка диктует потребитель. Рынок – это конкуренция. На рынке спросом пользуется только конкурентоспособная продукция. Производители продукции должны постоянно ее обновлять. Т.е. количество модификаций изделий, изготавливаемых производителем, постоянно увеличивается.

Указанные выше причины указывают на то, что на современных предприятиях, в том числе и машиностроительных, значительное количество времени и средств тратится на проектирование в целом и на разработку (проектирование) технологических процессов в частности.

Первыми двумя целями и задачами автоматизации процесса проектирования ТО являются следующие:

1.     **Сокращение трудоемкости проектирования и, как следствие, сокращение числа конструкторов.**
2.     **Сокращение сроков проектирования ТО.**

Необходимы еще следующие замечания относительно двух первых целей и задач. Сокращение числа конструкторов приводит к уменьшению себестоимости изделия. А необходимость сокращения сроков проектирования обуславливается тем, что в конкурентной борьбе выстоит та фирма, которая не только выпускает конкурентоспособную продукцию, но и укладывается в минимальные сроки по подготовке этой продукции к выпуску. Если представить, что две конкурирующие фирмы одновременно решили выпускать одинаковое изделие, но первая из них затратила полгода на проектирование и производство первого образца, а у второй фирмы на это ушел год, то конечно же первая фирма будет находиться в более вы-

годном положении на рынке. Современная станкостроительная фирма считается конкурентоспособной, если время от идеи создания нового современного станка до выхода первого образца этого станка за ее ворота составляет не более 1,5 лет.

Третьей целью и задачей автоматизации технологической подготовки производства является **повышение качества разрабатываемых конструкций**. Эта необходимость объясняется следующими причинами.

Техническое перевооружение современного машиностроительного производства осуществляется в основном по двум направлениям:

1. Замена универсального оборудования с ручным управлением, обслуживаемого рабочим высокой квалификации, оборудованием с автоматическим циклом обработки. Возможности оборудования непрерывно расширяются (количество приводов, автоматических устройств). В связи с увеличением дефицита квалифицированных рабочих это направление достаточно перспективно, особенно в условиях средне – и крупносерийного производства.

2. Внедрение станков с ЧПУ, обладающих гораздо большей степенью гибкости. Их переналадка занимает в десятки раз меньшее время, чем в первом случае. Но и здесь необходимо тщательно прорабатывать конструкции.

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

Принцип накопления технологических знаний, реализованный во многих современных системах автоматизированного проектирования ТО (САПР ТО), позволяет разрабатывать качественные технологические объекты. Знания опытных конструкторов, накапливаемые в САПР ТО, варианты конструкций, разработанные ими, которые могут быть взяты за основу при разработке новых видов технологического оборудования, позволяют повысить общий уровень проектирования ТО.

При ручном проектировании конструктор сравнивает в уме ряд вариантов разрабатываемой конструкции (варианты станков, приспособлений и т.д.) и интуитивно выбирает лучшие на его взгляд решения. Подробного экономического обоснования не производится за неимением времени. Применение ЭВМ на базе соответствующих математических моделей позволяет находить оптимальные технологические решения.

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



## ЛЕКЦИЯ №2

### Методология автоматизированного проектирования

#### СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД,

Для решения таких комплексных вопросов, как проектирование и создание современных технических средств, применима единая исследовательская позиция — **системный подход**. Использование СП обусловлено тем, что в традиционных методах изучения и формализации сложных объектов и процессов основное внимание уделяется качественному и количественному описанию свойств объекта и составляющих его частей. Это не позволяет строить адекватные действительности модели, отображающие связи объектов с окружающей средой, их функцию и многоуровневую структуру. В то же время указанные характеристики объектов оказывают большое влияние на процесс поиска проектных решений. Применение системного подхода дает возможность рационально разбить задачу проектирования на части и принять оптимальное решение.

**Основой системного проектирования являются критерии, которые принимаются с позиций оценки технических средств как части системы более высокого уровня. Проектирование же технических средств осуществляется как проектирование системы, состоящей из взаимосвязанных частей и элементов.**

К понятию «системный объект или процесс» относятся объекты и процессы любой природы, которые можно условно или физически расчленить на совокупность более простых взаимосвязанных между собой частей, выступающих как единое целое, причем каждую часть можно рассматривать как сложный объект, состоящий из более простых элементов. В связи с этим к категории системных относятся не все объекты и процессы, а только те, которые состоят из отдельных частей и элементов и обладают целостным характером функционирования. Свойства и функции системных объектов не сводятся непосредственно к сумме свойств и функций составляющих их элементов. Системные объекты обладают новыми функциями и свойствами, которых может не быть у отдельных элементов. Например, собранный из отдельных деталей узел представляет собой техническую систему, характеризуемую новыми свойствами и функциями, которых нет у отдельных деталей.

Узел, или сборочная единица машины, связан с другими узлами, образующими окружающую среду, конструктивными, кинематическими и размерными связями. Поэтому для правильного понимания взаимодействия системных объектов и процессов с окружающей средой необходим синтетический охват и учет влияния различных видов связей.

Среди различных типов связей системных объектов с окружающей средой особенно выделяются входные и выходные воздействия. Они обеспечивают активное взаимодействие

объектов с окружающей средой и во многом определяют его функцию (например, преобразование заготовок в готовые детали, передачу движения от двигателя к шпинделям, переработку исходной информации в выходную в системах автоматизированного проектирования машин или технологической подготовки производства). Другие конструктивные и размерные связи обеспечивают правильное взаимодействие, расположение и необходимые степени свободы взаимодействующих узлов, т. е. направлены на выполнение требуемой функции и заданных параметров. Следовательно, каждое проектируемое техническое средство должно функционировать на основе связей, определяющих функционирование окружающей среды, в которую оно входит.

Сложные объекты, как правило, выполняют не одну, а несколько функций. Например, функция шпиндельного блока станка заключается в передаче вращения от вала электродвигателя к нескольким шпинделям. Функция шпинделя состоит в закреплении инструмента и сообщении ему вращения. Следовательно, функции технических систем определяют их структуру и структуру процесса проектирования.

Всякая система допускает разделение ее на подсистемы. Объекты, принадлежащие к одной подсистеме, можно, рассматривать как составляющие окружения другой подсистемы. Поведение подсистемы необязательно во всем, подобно поведению всей системы. Разделение системы на подсистемы приводит к иерархичности структуры. В зависимости от постановки и цели решаемой задачи один и тот же объект, рассматриваемый как система  $S$ , в другой иерархической системе может быть рассмотрен как подсистема  $ПС$ , а в третьей как элемент  $\mathcal{E}$ .

Металлорежущий станок по функциональному признаку расчленяется на несколько узлов: шпиндельный блок, коробку подач, суппорт, станину и пр. (рис. 1). При другом способе тот же станок разделяется на механические, электрические, гидравлические и другие узлы (рис. 2).

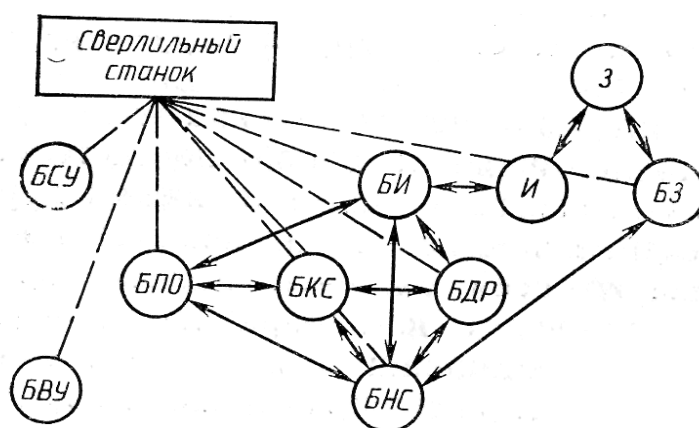


Рис. 1 Разбиение конструкции металлорежущего станка по функциональному назначению блоков: З — заготовка; И — инструмент; БИ — блок инструментов; БЗ — блок заготовок; БДР — блок движения резания; БКС — блок кинематической связи; БПО — блок осевой подачи; БНС — блок несущей системы; БСУ — блок системы управления; БВУ — блок вспомогательных устройств

Качественная определенность систем обусловлена их структурой, под которой понимается совокупность устойчивых связей между частями целостного объекта или процесса. Относительная выделенность частей системы и их взаимосвязь — это две противоположности. Структуру системных объектов необходимо рассматривать как единство противоположных понятий: расчлененности и целостности. Расчлененность отражает одну из общих сторон структуры и характеризуется качественной спецификой частей системы и их числом. Для каждой системы существует несколько способов расчленения на подсистемы и элементы. Так, технологический процесс можно расчленить на операции, а последние — на установки и переходы. Изменение качественной стороны и числа операций при переходе от одного способа расчленения к другому вызывает изменение структуры технологического процесса.

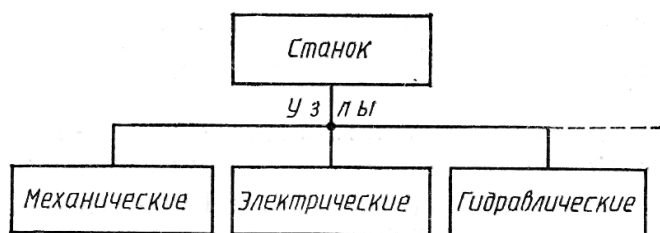


Рис. 2 Разбиение конструкции металлорежущего станка по виду приводов узла

Для процессов проектирования также может быть не один, а несколько способов расчленения проектной задачи на компоненты различной сложности. Так, при одном способе расчленения в основу принимается вид проектных операций независимо от функционального характера решаемых задач. При этом процесс проектирования разделяется на проектные операции: синтез решений, поиск объектов-аналогов, оптимизация, моделирование, анализ, оценка и т. д. При другом способе расчленения задача проектирования делится на подзадачи по функциональному признаку. Например, общая задача проектирования операционной технологии разделяется на определение структуры операции, формы и межоперационных размеров детали и заготовки, выбор элементов системы СПИД и др.

Выбор способа расчленения системы зависит от типа решаемых задач. Правильное исходное расчленение объекта или процесса позволяет наиболее просто решать задачи ана-

лиза и синтеза технических систем и процессов, в то время как нерациональное расчленение сильно усложняет эти задачи или делает невозможным их решение. При каждом способе расчленения получается различное число качественно специфичных частей с различным характером взаимного расположения. Поэтому для однозначного задания структуры системы необходимо указать способ ее расчленения. Каждому способу соответствует определенный тип взаимосвязей частей системы — своя форма целостности. Целостность — это вторая сторона структуры. Если системность подразумевает наличие связей между компонентами объекта, а также между объектом и окружающей средой, то целостность характеризует большую силу и существенность внутренних связей по сравнению с внешними связями системы с окружающей средой. Именно это обстоятельство создает качественную определенность объекта как системы.

Одной из операций системного анализа является определение границы системы и ее структурных составляющих. Эта операция относится к качественной. Что должно войти в систему и что образует окружающую среду, следует из постановки задачи. В систему включают конечное число элементов, необходимое для функционирования системы, которое обеспечивает достижение поставленной цели. Исходя из этого, можно представить границу между созданной системой и окружающей средой. Например, рассматривая конструкцию машины как систему, следует принять, что внешней средой с позиции эксплуатации будут условия, в которых она будет работать, а с позиций изготовления — условия производства.

### **Этапы проектно-конструкторского процесса**

Проектирование технических средств представляет собой сложный многостадийный процесс разработки и постепенного уточнения проекта и рабочей документации, по которой изготавливают изделия в единичном, серийном или массовом производстве. Многостадийность проектно-конструкторского процесса указывает на сложность задачи, причем к качеству принимаемых решений предъявляются высокие требования, так как ошибки проекта приводят к необходимости их устранения в ходе производства, что вызывает неоправданные затраты времени и средств.

Стадии разработки конструкторской документации установлены ГОСТ 2.103—68, который входит в единую систему конструкторской документации (ЕСКД). Государственный стандарт устанавливает пять стадий разработки конструкторской документации на изделия всех отраслей промышленности: техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект и рабочий проект.

Стадия *разработки технического задания* (иногда носит название «научно-исследовательская разработка» или «поисковое проектирование») выполняется для определения назначения и технических требований к новому изделию. Эти вопросы изучаются и формируются исходя из анализа требований функционирования изделия и возможностей их

реализации на основании достижений науки и техники, сырьевой базы, финансирования, людских ресурсов, ограничений во времени и т. д. Кроме того, на данной стадии обосновываются критерии оценки эффективности технического средства и определяются ограничения на его характеристики, такие, как габаритные размеры, масса, надежность и т. д. Желательно, чтобы в техническом задании была указана производственная база, объем потребной и планируемой продукции, продолжительность изготовления, лимитная цена и т. п. Техническое задание в обязательном порядке согласуется с заказчиком и после утверждения является основанием для выполнения дальнейших проектно-конструкторских работ.

На стадии *технического предложения* на основании анализа технического задания рассматриваются принципиально возможные способы создания проектируемого технического средства, проводится сравнительная оценка этих решений по выбранным критериям и устанавливается техническое и технико-экономическое обоснование целесообразности дальнейшей разработки.

После утверждения технического предложения последовательно разрабатываются эскизный, технический и рабочий проекты. Однако на практике этот порядок соблюдается не всегда. В зависимости от простоты конструкции, опыта конструктора или каких-либо других обстоятельств проекты могут выполняться в двухстадийном (технический и рабочий проекты) или одностадийном (рабочий проект) порядке.

*Эскизный проект* технического средства представляет собой комплекс конструкторских документов, дающих общее представление об устройстве, принципе работы, назначении, основных параметрах и габаритных размерах изделия. Здесь могут быть отражены варианты конструкторских решений, подлежащих уточнению на последующих стадиях работ.

*Технический проект*, в отличие от эскизного, дает не общее, а полное и окончательное представление об устройстве и функционировании изделия, включая все необходимые данные для разработки рабочей документации и гарантийной надежности основных элементов конструкции.

*Рабочий проект* предусматривает полную детализацию конструкции путем разработки чертежей на каждый элемент, входящий в нее и подлежащий изготовлению. Кроме чертежей деталей в состав документации входят также чертежи общих видов, схемы, чертежи узлов, спецификация входящих элементов, пояснительная записка и различного вида инструкции, технический паспорт и ряд других документов. Ввиду того, что конструктор сам не воплощает разработанный проект в материальный объект, вся конструкторская документация изображается в принятой единой системе конструкторской документации (ЕСКД).

## **Методы проектирования**

Черчение в масштабе (моделирование на ЭВМ) дает конструктору возможность изменять как форму детали, так и изделия в целом. Таким образом, масштабный чертеж (3D-модель) можно рассматривать как легко видоизменяемую модель взаимоотношений между деталями и узлами, из которых состоит изделие. Благодаря тому, что эта модель легко поддается пониманию и изменению и способна хранить временное решение для одной детали, пока прорабатывается другая, проектировщик получает возможность решать задачи чрезвычайной сложности. Масштабный чертеж (3D-модель) резко сокращает затраты времени на выбор приемлемого решения из огромного числа вариантов. Это происходит потому, что чертеж (модель) позволяет разработчику игнорировать почти все поле поиска и концентрировать свое внимание на тех небольших его участках, где можно ожидать приемлемых решений.

Самое трудное в любом проектировании — это преодоление сложностей поиска в обширном пространстве с миллионами возможных комбинаций отдельных узлов и деталей. При использовании традиционного способа для преодоления этого необъятного многообразия задачу решают по частям. При этом большинство комбинаций узлов и деталей исключается из рассмотрения, и исследование ограничивается единственным, выбранным «на ощупь», набором компонентов, взаимные связи которых можно выявить и изучить с помощью чертежа (модели). Важнейшим этапом процесса при этом является не взаимная подгонка узлов деталей друг к другу, а творческое мышление, благодаря которому достаточно информированный и гибко мыслящий человек может выдвинуть на первый план один из перспективных комплексов узлов и деталей.

Такой метод дает прекрасные результаты при разработке отдельных изделий и частей, однако его пригодность для принятия решения на уровнях систем крайне сомнительна по следующим причинам: нет ничего эквивалентного чертежу(модели) как средству фиксации и видоизменений связей между изделиями (узлами, деталями); нет основы для интуитивного озарения, которое упрощает задачу; выбор оценок при проектировании систем сложен. Поэтому, когда конструктор от внутренней увязки нового изделия переходит к его согласованию с внешней средой, чертеж (модель) становится уже бесполезным и разработчику приходится опираться в основном на свой опыт и воображение, а также в меньшей степени — на расчет и испытание всех наиболее важных для работы системы параметров.

Пространство, в котором приходится вести поиск новых технических систем и средств, слишком велико, чтобы в нем могли разобраться специалисты какой-либо одной области проектирования. Им в помощь необходимы методы, обеспечивающие достаточный объем информации для принятия решений на каждом из этапов создания новых конструкций.

Объектом таких методов является не столько проектирование в общепринятом смысле этого слова, сколько мыслительная деятельность, предшествующая выполнению чертежей (моделей). Все эти методы направлены на то, чтобы процесс проектирования можно было объективно представить. При этом всегда используется какая-либо схема, позволяющая разделить задачу проектирования на части! и указать взаимные связи между этими частями.

Выше отмечалось, что с позиций исследователей творческой деятельности проектировщик представляется то как «черный ящик», на выходе которого возникает загадочное озарение, то как «прозрачный ящик», в котором происходит логический процесс, до конца поддающийся объяснению. С этих различных позиций и разрабатывались методы проектирования, которые можно условно разделить на эвристические и алгоритмические.

**Эвристические методы** разработаны для стимулирования творчества проектировщика. В них определяющее значение имеют ассоциативные способности, интуитивное мышление и способы управления мышлением. Эти методы представляют собой упорядоченные в какой-то мере общие правила и рекомендации, помогающие решению творческих задач без предварительной оценки результатов. Смысл эвристических методов различен, но ни один из них не следует игнорировать.

Известно более трех десятков подобных методов, из которых наиболее широко известны следующие: мозговой штурм, синетика, метод элементарных вопросов, метод аналогий, «от целого к частному», наводящие операции и т. д. [2, 9, 28]. Многие из этих методов использовано при формировании специального фонда эвристических приемов [2, 20, 28], обеспечивающих преобразование прототипов проектируемых объектов в искомые по техническому заданию.

**Алгоритмические методы** относительно формализованы. К этим методам относятся логические и математические алгоритмы, которые можно определить как последовательность указаний, касающихся процедур решения задач. Они используют возможность дедукции, стремятся к определению операций и их очередности, а также связей между операциями.

Авторы алгоритмических (их называют также системными) методов проектирования исходят из того, что конструктор всегда вполне осознает свои действия и их причины. Считается, что процесс проектирования может быть объяснен до конца, даже, если сами практики и не в состоянии убедительно обосновать каждое из принимаемых ими решений.

Наиболее полно формализованные методы опираются на формальную логику и математическое моделирование. При проектировании они наиболее успешно используются при создании концепций, т. е. области возможных решений и при оптимизации конструкций технических средств. Алгоритмические методы облегчают применение ЭВМ при проектировании и конструировании технических средств.

В настоящее время проектировщики используют матрицы различных типов, графы зависимостей, сетки связей, метод элементарных комбинаций, структурные карты, различные методы оптимизации и т.д. [5, 9, 29, 30].

Алгоритмические методы характеризуются следующими особенностями:

цели, переменные и критерии задаются заранее; поиску решения предшествует проведение анализа; оценка результатов дается в основном в словесной форме и построена на логике, а не на эксперименте; заранее фиксируется стратегия; обычно используются последовательные приемы, но иногда включаются и параллельные, условные и циклические операции [9, 10].

При применении методов «прозрачного ящика» коренным вопросом является возможность расчленения, или декомпозиции, задачи на отдельные части, которые можно затем решать последовательно или параллельно. Но такие задачи проектирования, как создание машин (автомобилей, станков и т. п.), которые должны отвечать большому числу разнообразных требований, поддаются расчленению с трудом и не без ущерба для их основных показателей. Обычно в таких случаях на какого-то опытного работника, например главного конструктора (руководителя проекта), возлагается полная ответственность не только за эксплуатационные характеристики новой машины, но и за выбор важнейших узлов и деталей, входящих в нее. Во всех случаях руководитель проекта на основе имеющегося опыта решения аналогичных задач сначала определяет основные частные задачи проекта, а затем разрабатывает общую схему машины и распределяет работу между своими помощниками. Ясно, что используются методы «черного ящика», т. е. эвристические.

При проектировании технических средств рекомендуется иметь в виду следующие основные положения:

1. Новые технические решения появляются в результате постепенного приближения к цели.
2. Разработка проекта идет от общего к частному, а не наоборот.
3. Получение наиболее рационального решения достигается разработкой максимального числа вариантов и их углубленным анализом.
4. Преодоление психологической инерции и власти стереотипов необходимо при творческом проектировании оригинальных изделий.
5. При поиске решения требование правильности функционирования технических средств преобладает над другими требованиями, например экономическими.
6. Конструктивные параметры элементов технических средств диктуются лишь физико-техническими, а не экономическими факторами, поэтому при проектировании необходимо производить инженерные расчеты хотя бы ориентировочно и приближенно.



7. Конструирование изделий выполняется с учетом возможности и трудоемкости их изготовления.

8. Экономическая оценка конструкции всегда является важным стимулом получения рациональных проектных решений, но может быть сделана не раньше, чем появится вариант, отвечающий требованиям функционирования изделия.

### **Виды конструирования**

Обобщая изложенное, творческий процесс решения проектно-конструкторских задач можно представить укрупненно в виде:

- разработка технического задания и его анализ;
- проектирование — выбор или изобретение принципа действия технического средства;
- концептирование — разработка чернового наброска конструкции технического средства;
- эскизное проектирование — разработка вариантов конструкции;
- техническое проектирование — выбор и тщательная проработка конструкторского решения;
- оформление — решение проектно-конструкторской задачи в виде окончательной или промежуточной документации или оформление технического задания на разработку смежных и последующих частных задач.

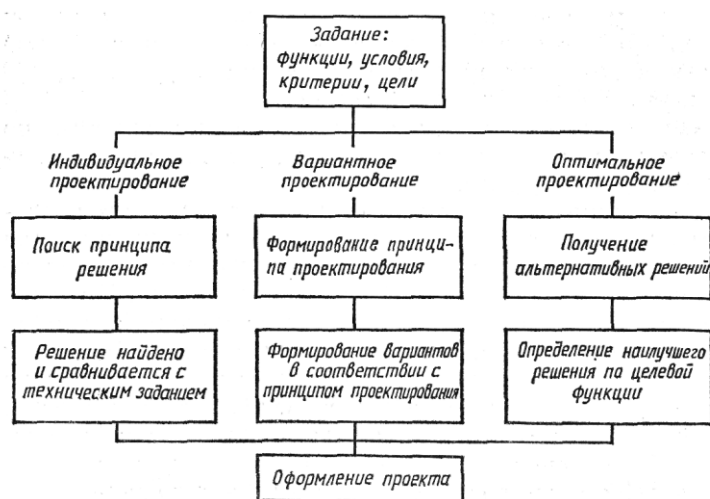


Рис. 3. Виды конструирования

ли. При всех видах конструкторских работ проект доводится до технической документации на изготовление изделия.

При выборе методов решения общих и частных задач проектирования технических средств необходимо различать следующие виды конструирования: единичное, вариантное и оптимальное (рис. 3).

Независимо от вида конструирования при выдаче заданий на разработку проекта должны быть ясно сформулированы функции изделия, технические условия, критерии и це-

При единичном конструировании на основании технической характеристики необходимо искать пути решения, сравнивая полученный проект с заданием. При этом с целью экономии времени различные варианты не сопоставляются. Вариантное конструирование характерно тем, что разрабатывается общий принцип конструктивного решения, а для решения конкретной задачи берется один из возможных вариантов общего решения. Вариации могут заключаться, например, в том, чтобы по-разному скомпоновать имеющиеся унифицированные узлы одной системы унификации. Оптимальное конструирование основано на алгоритмах, реализующих получение альтернативных решений, улучшающихся в отношении заданной целевой функции.

В настоящее время проектировщику сложных технических систем для получения требуемых решений необходимо просмотреть и оценить громадное число вариантов конструкций. К сожалению, любой конструктор обладает вполне определенными, весьма ограниченными физиологическими возможностями оперативной обработки информации. Здесь ему могут помочь только те методы проектирования, которые позволяют эффективно использовать средства вычислительной техники. Однако конструирование современных технических средств является областью инженерной деятельности, наиболее сложной для автоматизации.

### **ЛЕКЦИЯ 3**

#### **ОБЗОР КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Сегодня в машиностроении происходит целый ряд позитивных технологических изменений. Постоянное совершенствование CAD-систем способствует дальнейшему прогрессу в сфере проектирования и разработки. Принципиально новое оборудование теперь может быть создано значительно быстрее, чем когда-либо ранее.

Мощные пакеты программ позволяют предложить заказчику решения, которые полностью соответствуют его потребностям. Применение новых методов приводит к повыше-

нию качества и надежности изделий и, одновременно, к снижению расходов на проектирование и производство.

От выбора оптимального CAD-решения в значительной степени зависит конкурентоспособность предприятия.

**Современное производство основано на интенсивном обмене электронными моделями не только на уровне отдельных подразделений, но и между предприятиями-подрядчиками, работающими над общим заказом. Широкое распространение информационных технологий привело к тому, что в настоящий момент на большинстве предприятий используются одновременно две и более САПР с различным набором прикладных CAD/CAM/CAE модулей.**

Большинство проектировщиков, занятых в машиностроении, до сих пор применяет традиционные 2D-методы разработки чертежей. 3D-проектирование имеет определенные преимущества, однако в ряде случаев работа с 2D-объектами оказывается более быстрым и экономичным способом. Типичные области, для которых 2D-подход по-прежнему является весьма эффективным – это электрика, гидравлика и т.п., где необходимо создание 2D-схем. Сюда же можно отнести задачу размещения оборудования в цехе (планировки).

2D-подход особенно удобен с точки зрения использования ранее накопленных данных. Многие предприятия годами применяли CAD-системы и создали тысячи чертежей. Интеллектуальный потенциал и знания, овеященные в этих чертежах, должны найти свое применение. Многие проекты являются вариантами уже существующих машин, в которых меняются только некоторые сегменты. Не имеет смысла перепроектировать машину только для того, чтобы выпустить её новый вариант. Поэтому накопленные данные стоит обрабатывать в 2D-системах, а в 3D-системах осуществлять новые проекты.

**Типичная машина состоит из нескольких сотен или тысяч деталей. CAD-система должна быть способна обрабатывать такие сложные сборки, сохраняя при этом достаточную производительность. Только в этом случае CAD-систему можно использовать для разработки оборудования. Если CAD-система не обеспечивает необходимой производительности, то с её помощью можно проводить анализ проектируемой машины только по частям или отдельными узлами. В этом случае теряются преимущества 3D-проектирования.**

При проектировании сложных узлов пользователю нужны надежные инструменты визуализации для эффективного отображения проекта. Это необходимо для контроля пересечений и столкновений деталей, появление которых при проектировании возможно из-за стремления к компактности изделия. Такие инструменты позволяют обнаружить ошибки на ранних этапах проектирования.

**CAD (Computer Aided Design) –конструкторские САПР**

Успешное развитие современного бизнеса немыслимо без комплексной автоматизации, основой которой является применение новейших информационных технологий (ИТ). Последнее десятилетие XX века характеризуется широкой компьютеризацией всех видов деятельности человечества: от традиционных интеллектуальных задач научного характера до автоматизации производственной, торговой, коммерческой, банковской и других видов деятельности. Этой всеобщей тенденции способствовали такие факторы, как появление и массовое применение персональных компьютеров, а также средств телекоммуникаций и вычислительных сетей, в том числе «всемирной паутины» – Интернет. Эти факторы сделали актуальной проблему развития и эффективного использования информационных ресурсов – как локальных, так и общенациональных и даже глобальных.

Стало ясно, что устоять в конкурентной борьбе смогут только те предприятия, которые будут применять в своей деятельности современные информационные технологии. Именно ИТ, наряду с прогрессивными технологиями материального производства, позволяют существенно повысить производительность труда и качество выпускаемой продукции одновременно со значительным сокращением сроков постановки на производство и выпуска новых, более совершенных изделий, отвечающих запросам и ожиданиям потребителей.

Однако в тот же период было осознано, что частичная, фрагментарная компьютеризация отдельных видов производственной деятельности, будучи делом дорогостоящим, не оправдывает возлагающихся на нее надежд. Это связано с тем, что первые реализации ИТ представляли собой попытки внедрения качественно новых средств в традиционную технологическую среду.

Эти попытки либо полностью отторгались, либо «адаптировались» к этой среде таким образом, что эффект от их использования был невелик. Примерами таких попыток могут служить:

- многочисленные АСУ, роль которых сводилась к автоматизации простейших учетных и отчетных функций;
- конструкторские САПР (CAD – Computer Aided Design), заменявшие чертежную доску и кульман экраном дисплея;
- технологические САПР (CAM – Computer Aided Manufacturing), облегчавшие подготовку технологической документации и управляющих программ для станков с ЧПУ;
- автоматизированные системы инженерных расчетов (CAE – Computer Aided Engineering) и т.д.

Все эти средства создавались на различных вычислительных платформах, в различных языковых средах и, как правило, были несовместимы между собой, что предопределяло их автономное использование с необходимостью многократной перекоди-

ровки подчас одной и той же информации для ввода ее в ту или иную систему. Помимо резкого возрастания объемов рутинного труда, это приводило к многочисленным ошибкам и, как следствие, к снижению эффективности систем.

Вместе с тем, опыт, накапливавшийся в процессе создания и разработки автономных систем, оказался полезным: он позволил осознать необходимость интеграции систем, реализующих различные ИТ, в единый комплекс, который в отечественной технической литературе получил название ИАСУ – Интегрированная Автоматизированная Система Управления, а в англоязычной литературе – CIM (Computer Integrated Manufacturing).

Первоначально появление и внедрение ИАСУ (CIM) однозначно связывалось с высокоавтоматизированными производственными комплексами типа гибких автоматизированных производств и даже полностью автоматизированных предприятий. Однако дальнейшее развитие показало целесообразность внедрения ИАСУ на предприятиях с умеренным уровнем автоматизации технологических процессов. Существенным оказалось создание в рамках предприятия единого информационного пространства или интегрированной информационной среды (ИИС), охватывающей все этапы жизненного цикла (ЖЦ) выпускаемой этим предприятием продукции.

Развитие современной мировой экономики ставит перед предприятиями задачу экономики всех видов ресурсов - материальных, интеллектуальных, информационных и временных, привлекаемых для реализации конкретного проекта или программы на всех стадиях жизненного цикла изделий, от разработки и производства до модернизации и утилизации. Данный аспект предполагает также ускорение действий и создание условий для более тесной кооперации производителей. В современных условиях информация стала основным товаром.

Производство сложной наукоемкой и высокотехнологичной продукции невозможно сегодня без обеспечения ее информационной поддержки на всех стадиях жизненного цикла. Информационная поддержка – это целый комплекс вопросов, включающий автоматизацию процессов проектирования, обеспечение технологических процессов производства, автоматизацию управленческой деятельности предприятий, создание электронной эксплуатационной документации, внедрение автоматизированных систем заказа запасных частей и т. д.

Идея ИИС и информационной интеграции стадий ЖЦ стала базовой при разработке подхода, получившего в США название CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла).

Внедрение CALS-технологий требует больших усилий со стороны разработчиков и персонала предприятия, а также весьма существенных затрат материальных, трудовых, временных и, как следствие, финансовых ресурсов. Генеральная цель внедрения CALS-

технологий: добиться повышения эффективности и конкурентоспособности предприятия за счет существенного сокращения сроков освоения производства новых изделий, улучшения качества этих изделий и технической (в т.ч. эксплуатационной и ремонтной) документации, представляемой в современном электронном виде, обеспечения высокого уровня сервиса и логистической поддержки на постпроизводственных стадиях ЖЦ.

По достижении этой цели предприятие сможет занять достойное место на рынке наукоемкой высокотехнологичной продукции в полном соответствии с современными требованиями, предъявляемыми потенциальными потребителями, в особенности зарубежными.

Учитывая ограниченность ресурсов и отсутствие опыта реализации полномасштабных проектов такой сложности, можно утверждать, что сформулированная генеральная цель может быть достигнута посредством поэтапной реализации локальных, частных целей, логически и методически подчиненных генеральной.

### **Классификация САПР**

Актуальной задачей является по возможности более полная автоматизация трудоемких процессов, встречающихся при проектировании конструкций. Отсюда большое разнообразие систем автоматизированного проектирования на каждой из стадий создания объекта. Существует следующая классификация САПР:

**1) по уровню формализации решаемых задач – системы, построенные на полностью формализуемых методах решения проектных задач; ведущие проектные работы, не поддающиеся полной формализации; организующие поиск решения неформализуемых задач;**

**2) по функциональному назначению – системы расчетно-оптимизационные; графические; автоматизированного проектирования конструкций; графоаналитические; подготовки технической документации; обработки результатов экспериментальных исследований; информационные; технологической подготовки программ для станков ЧПУ;**

**3) по специализации – системы специализированные и инвариантные;**

**4) по технической организации – системы с центральным процессорным управлением, комплектуемые автоматизированными рабочими местами конструктора (АРМ) с собственными вычислительными ресурсами.**

**Все современные CAD/CAM/CAE системы в зависимости от решаемых ими задач можно разделить на две группы: специализированные и универсальные.**

Специализированные программные комплексы могут использоваться как автономно, так и включаться в состав универсальных систем. По функциональному признаку они классифицируются на:

- программы для графического (CAD) ядра системы (Parasolid – Unigraphics, Sol-

id Edge, Solid Works, ACIS - ADEM, AutoCAD);

- системы для функционального моделирования (CAE, реализующие метод конечных элементов, которые, в свою очередь, также делятся на системы общего применения (NASTRAN, ANSYS, COSMOS/M и др.) и проблемно-ориентированные системы (ADAMS, MARS и др.);

- системы для подготовки управляющих программ для технологического оборудования (CAM) (Gemma 3D, CAMWorks и др.).

- Универсальные системы предназначены для комплексной автоматизации процессов проектирования, анализа и производства продукции машиностроения. В зависимости от функциональных возможностей различают системы:

- низкого уровня (AutoCAD, TopCAD, P-CAD, CADMech, Caddy),
- среднего уровня (Solid Edge, SolidWorks, Cimatron, T-Flex) и
- высокого уровня полномасштабные (CATIA, UNIGRAPHICS, Pro/ENGINEER).

**Следует отметить, что время не связанных друг с другом программ и систем, автоматизирующих отдельные звенья технологической цепи производства, как это было на заре компьютерной эры, прошло. Теперь пользователь-профессионал требует от разработчиков прикладных программных продуктов законченные решения, обеспечивающие сквозную технологию в рамках единой интегрированной системы автоматизированного проектирования. Такой подход позволяет моделировать изделие на компьютере и выдавать в производство готовые оптимальные решения путем перебора большого числа вариантов на этапе проектирования и таким образом в несколько раз сокращать время выпуска готового изделия.**

Чтобы составить представление об имеющихся в настоящее время прикладных программных продуктах, рассмотрим структуру и возможности некоторых современных зарубежных и отечественных интегрированных CAD/CAM систем. Начнем с систем низкого уровня.

Если необходимо работать с чертежами простых изделий, которые после выпуска изделия, скорее всего пойдут в утиль, или если нужно преимущественно работать с уже готовыми чертежами и заниматься их контролем или оформлением, то вполне можно обойтись без инструментов параметризации, но если эти документы передаются в средние или тяжелые САПР, параметризация желательна.

### **CAD-системы низкого уровня Autodesk Mechanical Desktop (AMD)**

Autodesk Mechanical Desktop продукт американской компании Autodesk – объединяет новые версии нескольких программных продуктов:

- AutoCAD - базовый графический пакет, включающий твердотельное моделирование;
- AutoSurf 3.0 - моделирование однородных и неоднородных трехмерных поверхностей;
- AutoCAD IGES - транслятор обмена файлами графических данных с другими системами САПР.

**Идеология работы в AMD базируется на использовании параметрических объектов. Основу такого объекта составляет набросок, выполненный средствами AutoCAD – вид изделия, наиболее полно отражающий будущую конструкцию. В дальнейшем AMD откорректирует этот набросок-эскиз:** линии почти вертикальные или почти горизонтальные станут таковыми, почти соосные окружности станут соосными и т.д. Конструктору остается лишь внести дополнительные логические связи между отдельными элементами эскиза или изменить те, которые система внесла сама, а также проставить необходимые размеры или зависимости. Они могут быть заданы в виде конкретных значений, формул; значения одних параметров могут быть выражены через другие; параметры могут быть глобальными – в этом случае они доступны для всех разрабатываемых деталей. Изменение любого размера приводит к модификации всей конструкции, а не только отдельного элемента, как было в AutoCADe более ранних версий.

После того, как эскиз нарисован, приступают к разработке твердотельной модели. **"Тело" образуется либо "выдавливанием" эскиза в третье измерение, либо вращением, либо его перемещением вдоль заданной кривой. В дальнейшем базовый элемент конструкции можно с помощью логических (булевых) операций объединить с другими деталями или, наоборот, удалить отдельные части.** Набросок строится в определенной плоскости, что помогает дорабатывать модель, изменять внешний вид любой детали. Некоторые конструктивно-технологические элементы (фаски, скругления, отверстия под болты – сквозные и глухие, гладкие,зенкованные, под головку впотай, резьбовые) могут быть внесены непосредственно в твердотельную модель. Каждый выбранный элемент отображается в окне диалога, где наглядно показывается, какие изменения произойдут после его внесения в конструкцию. **Построив твердотельную модель, конструктор может определить ее массу, площадь поверхности, инерционные характеристики.**

AMD предлагает простой механизм получения отдельных видов, разрезов, сечений готовой твердотельной модели. Любое изменение размера в модели отразится в чертеже, и наоборот. Использование глобальных параметров при образмеривании модели позволяет создавать варианты однотипных сборочных узлов.

**AMD обеспечивает также взаимодействие твердых тел с поверхностями и формирование сборочной конструкции на основе отдельных деталей. Операция сборки по-**



хожа на ту, которая применяется на практике: на экране монитора, как на столе, выкладывается необходимое количество деталей, которые необходимо включить в сборочный узел изделия. Каждая деталь при этом характеризуется пространственными степенями свободы. Первая является базовой, к ней подсоединяются все остальные. После того как все детали установлены на свои места, конструктор получает сборочный чертеж всего узла в разных проекциях с необходимыми разрезами и сечениями. Дополнительно можно создать спецификацию на этот сборочный чертеж с автоматическим включением всех деталей сборки. При генерировании рабочих чертежей происходит автоматическое удаление штриховых и невидимых линий.

Рабочие чертежи могут быть получены в строгом соответствии с международными промышленными стандартами и ЕСКД.

### **Основные свойства программы AutoCAD 2020:**

- Работа с множеством документов. Открытие неограниченного количества файлов чертежей;
- Возможность одновременной работы с несколькими чертежами, копирование объектов и различных свойств из одного чертежа в другой;
- Открытие файла с выборочной (частичной) загрузкой слоев и видов чертежа для ускорения работы программы;
- Инструмент – AutoCAD DesignCenter, позволяет легко находить нужные данные в файлах, копировать различные свойства объектов, стили, данные из одного файла в другой без открытия исходного файла;
- Возможность создания неограниченного количества листов (Layout) в пространстве листа (Paper Space) для выполнения чертежей, видов, выносок и т.д. В одном файле может храниться 3D-модель (Model Space) и несколько плоских чертежей (Layout1, Layout2,...) с различными настройками для вывода чертежей на разные печатающие устройства;
- Редактирование внешних ссылок и блоков прямо на месте (In-place Xref and Block Edit). Позволяет редактировать внешние ссылки и блоки, находящиеся во внешних файлах без их загрузки!
- Средства привязки объектов, значительно ускоряющие работу и уменьшающие количество вспомогательных построений. Эти возможности ранее были доступны только с помощью пакета Genius;
- Механизм изменения свойств объектов (Object Property Manager), позволяющий быстро и удобно менять любые свойства и характеристики объектов чертежа. Для выбора объектов добавлен фильтр, ускоряющий поиск примитивов по нужным критериям;
- Пользовательские системы координат (UCS) могут иметь разную ориентацию в

различных видовых экранах, что значительно облегчает работу с трехмерными объектами

- Lineweights – линиям можно задавать необходимую толщину. Для тех, кто не хочет отображать толщину линий в AutoCAD (и работать как раньше), есть возможность ее отключения в статусной строке;
- Улучшены команды простановки размеров на чертежах. Команда автоматического образмеривания ранее была доступна только с помощью пакета Genius, теперь она входит в ядро AutoCADa;
- Database connectivity – связь графических объектов с внешними базами данных с применением специального браузера;
- Для разработчиков приложений – встроенный Visual LISP, Поддержка VBA, ObjectARX.

#### **Системные требования:**

- процессор Pentium-133 или выше;
- 32 Mb RAM минимум, 64 Mb или больше рекомендуется;
- 107 Mb на жестком диске при минимальной конфигурации;
- 158 Mb на жестком диске при полной конфигурации;
- 64 Mb минимум в файле подкачки;
- видеокарта и монитор, обеспечивающие разрешение;
- минимум 800x600, рекомендуется 1024x768;
- Windows 10.

**AutoCAD 2020** предлагает средства двухмерного проектирования и оформления чертежей, а также удобные инструменты твердотельного моделирования. Новейшие технологии, заложенные в этой системе, обеспечивают эффективную коллективную работу над проектом с учетом стандартов предприятия и различных методов проектирования.

AutoCAD 2020 и выше фирмы Autodesk Inc. – удобен для 2D-черчения и разработки на его базе специализированных САПР. Твердотельное моделирование остается трудоемким и в какой-то степени бесполезным, так как нет возможности получения проекций примитива. Облегчает ситуацию надстройка AutoCAD Mechanical Desktop или новая система Autodesk Inventor.

Несмотря на то, что программы семейства AutoCAD являются одними из самых распространенных программ в России, они имеют один общий недостаток, весьма важный при работе: командную строку, в которую пользователь должен вручную вводить команды, зачастую на английском языке.

#### **CAD, отечественные системы**

CADdy – разработка немецкой фирмы Ziegler – сквозная, универсальная объектно-

ориентированная система. **В ней есть плоская и объемная графика, текстовые и графические базы данных, обеспечивается стандартизация и унификация проектных решений на основе параметризации, выполняются типовые инженерные расчеты, предлагаются компьютерные архивы с контролем и управлением чертежного документооборота.** Имеющиеся в составе системы средства позволяют решать одними и теми же модулями разнородные задачи. Например, модули геометрического трехмерного моделирования используются для решения задач компоновки электронных блоков и автоматических линий, агрегатного станка и расстановки мебели. Система предлагает пользователю самому создавать необходимые ему программные модули.

Круг использования этой системы очень широк: от информационного обеспечения процессов управления городским хозяйством и его эксплуатации, до сквозных технологий параметрического проектирования изделий и технологических процессов их изготовления.

CADdy работает как в среде MS DOS так и в среде WINDOWS. Использование тех или иных инструментальных средств зависит от количества задействованных модулей и необходимого объема информационной поддержки.

**Аналогом CADdy у нас является "Спрут", позволяющий так же каждому пользователю, не владеющему языками программирования, создавать собственную сквозную систему автоматизированного проектирования, в которой могут быть объединены разные информационные среды.** Например, создать систему по изготовлению какого-либо узла машиностроения, которая содержала бы все знания о нем - конструкторские, технологические, экономические, когда одновременно с чертежами изделия конструктор может выдать маршрутно-технологические карты с указанием цехов, необходимых операций, размеров заготовок, оборудования, инструмента, профессий рабочих, их разрядов, норм времени и добавить к этому еще экономические расчеты.

Отечественными представителями простых универсальных систем типа AutoCAD являются параметрическая система автоматизированного проектирования и черчения T-FLEX CAD фирмы "Топ Системы" и ADEM – продукт, создаваемый и распространяемый фирмой "Omega Technologies ltd" (Россия).

## **ADEM**

Система CAD/CAM **ADEM** – полностью интегрированная, универсальная система, предназначенная для организации и поддержки сквозного проектирования. Система обеспечивает подготовку конструкторской документации, создание твердотельных геометрических (объемных) моделей изделия и формирование управляющих программ на станки с ЧПУ. В системе ADEM возможны две стратегии проектирования: от двумерного (плоского) эскиза и

от трехмерной твердотельной модели.

Многофункциональность системы совместно с интуитивно понятным интерфейсом делают возможным применение ADEM как в отделах САПР, так и непосредственно на производстве. Наличие учебной версии системы ADEM for Education, практически почти не отличающейся от самой последней модели для профессионалов, и простого ее описания на русском языке позволяет ее использование в учебном процессе различных учебных заведений.

В САД части плоско-графический редактор ADEM позволяет использовать комплексные объекты, особенность которых заключается в ассоциативности (взаимосвязи) контура, скруглений и штриховки, что повышает эффективность редактирования графики, так как сохраняются все условия сопряжения, а штриховка автоматически отслеживает произошедшие изменения. В системе реализованы два вида параметризации: "параметризация без программирования" и "параметризация без параметризации". С помощью первого вида параметризации пользователь параметризует свой чертеж, используя уже проставленные размеры. Создав один раз параметрический чертеж, всегда можно получить множество чертежей изделий одного класса. Новый метод "параметризация без параметризации" не требует от пользователя каких-либо действий по созданию модели. Система сама распознает смысл чертежа и перестраивает его в соответствии с новыми значениями размеров. То же самое можно произвести над чертежом, импортированным из любой другой системы.

В объемно-графическом редакторе реализовано твердотельное моделирование, имеется возможность использовать все виды аффинных преобразований с моделями. Пользователю предоставлены широкие возможности изменения топологии модели, выполнения над ними всех видов логических (булевых) операций, построения сложных сечений, расчета геометрических характеристик моделей. В редакторе также есть возможность изменять точку зрения на модель, использовать различные цвета и методы закраски, в частности нанесение на поверхность модели текстуры, и многое другое. Ассоциативность контуров, объемно-графических объектов и наличие булевых операций дает пользователю возможность изменять объекты, входящие в объемно-графическую модель, что делает процесс внесения серьезных изменений простым и эффективным.

## **T-FLEX**

Выпуск системы **T-FLEX CAD LT** в дополнение к **T-FLEX CAD 2D** для быстрого создания чертежной документации в полном соответствии с ЕСКД и международными стандартами, стал еще одним подтверждением серьезности намерений фирмы "Топ Системы" сделать систему T-FLEX CAD одной из популярных САПР в России.

Функции эскизирования, которыми обладает также и T-FLEX CAD LT, позволяют создавать отрезки (произвольный, параллельный, перпендикулярный, касательный и т.п.), различные варианты дуг (через три точки, через две точки с заданием радиуса, с центром в точке, касательная и т.п.), полные окружности, автоматически наносить осевые линии, автоматически строить фаски, скругления и другие элементы.

При создании новых элементов используются объектные привязки и динамические подсказки. При построении дуг автоматически фиксируются углы 90, 180, 270 градусов, а также совпадение центра дуги с курсором по горизонтали и вертикали.

Система автоматически отслеживает совпадение двух объектных привязок, например: вертикаль-горизонталь, перпендикуляр-горизонталь и т.д. Система T-FLEX CAD содержит полный набор удобных средств создания качественной конструкторской документации:

- всевозможные типы линий: основные, тонкие, штриховые, штрихпунктирные, двойные и т.п. Линии могут иметь различную толщину и цвет. Имеется возможность создания своих типов линий.

- ассоциативные штриховки, заливки, штриховки по образцу. Имеется возможность создания своих типов штриховок. Функция автоматического поиска замкнутого контура значительно упрощает процесс задания контуров штриховки. Данная функция автоматически объединяет замкнутые контуры при их выборе по общим ребрам и автоматически отслеживает внутренние замкнутые области (острова). В результате работы формируется ассоциативный контур штриховки, который будет изменяться при изменении положения линий изображения, к которым он привязывается;

- любые типы размеров: линейные, размеры на окружности, угловые размеры, цепочка размеров, последовательная цепочка размеров, ломаный радиус. Полное соответствие ЕСКД и международным стандартам. Автоматический расчет предельных отклонений по номиналу размера и полю допуска - интерактивное изменение размеров (Рис. 1).

- допуски формы и расположения поверхностей, шероховатости, надписи, тексты. Значения допусков формы и расположения поверхностей могут автоматически рассчитываться в зависимости от размера и точности.

T-FLEX CAD содержит функции копирования и перемещения элементов: копирование, симметрия, линейный массив, массив вращения. Можно задать масштаб и угол поворота для копируемых элементов.

T-FLEX CAD содержит специальные конструкторские элементы оформления: нанесение основной надписи, создание технических требований, создание обозначения не указываемой шероховатости, автоматический подбор форматки, автоматическое нанесение осевых линий и другие. Программа содержит набор инструментов для упрощения ввода и редактирования основной надписи чертежа.



**T-FLEX CAD 2D - полностью параметрическая система, основанная на принципиально новом подходе к созданию САПР и к интуитивно понятному визуальному созданию параметрических моделей. Сначала чертеж строится в тонких линиях (линиях построения), а затем обводится основными линиями (линиями изображения).**

Используя основные линии и привязываясь к линиям построения, формируется изображение чертежа. Все элементы оформления чертежа (размеры, штриховки, допуски, шероховатости, тексты и т.п.) при нанесении могут автоматически привязываться к вспомогательным построениям.

В результате получается полностью параметрический чертеж. При перемещении линий построения или изменении их параметров (расстояний, радиусов и т.д.) линии изображения, размеры, штриховки и т.д. следуют за вспомогательными линиями, полностью изменяя облик чертежа. За несколько минут можно получить десятки готовых рабочих чертежей разных типоразмеров изделия.

Используя параметрические сборочные чертежи системы T-FLEX CAD, можно быстро и эффективно получать требуемые модификации сборок. Можно спроектировать сборочный чертеж так, чтобы при различных условиях в него входили разные детали. Подбрав необходимые параметры сборки, можно мгновенно получить готовые рабочие чертежи отдельных деталей и спецификацию, оформленную в соответствии с ЕСКД. При изменении параметров сборки автоматически будет изменяться спецификация и все другие документы.

**Ключевое достоинство T-FLEX CAD – параметризация. Чертеж с момента его создания становится параметрическим. Далее можно легко изменять его параметры. При этом сохраняются все отношения, которые были заданы между элементами чертежа, и вся конструкция останется целостной. Параметрами чертежа могут назначаться переменные. С помощью математических формул переменные можно связывать между собой.**

Созданные в системе на основе двумерных чертежей трехмерные поверхностные и твердотельные модели можно легко модифицировать. Система позволяет передавать данные о геометрии в последующую обработку. Для систем подготовки данных для станков с ЧПУ программа может выдавать информацию в специализированных форматах.

В комплект системы включены параметрические библиотеки стандартных элементов чертежей - болты, гайки, подшипники, элементы электрических схем и т.д. Пользователю предоставлена возможность самостоятельного создания своих библиотек.

**Большим недостатком T-FLEX CAD является то, что прежде чем начертить окончательные линии, необходимо создать геометрическую основу чертежа в тонких линиях. Окончательное изображение потом обводится по этим линиям. Затем производится удаление невидимых линий в случае, если отдельные части чертежа перекрыва-**

ют друг друга

Требования T-FLEX CAD к аппаратной части:

– минимально IBM PC 486, RAM 16 Мбайт.

Работает под Windows.

### **CAD-системы среднего уровня T-FLEX CAD 3D**

Для создания трехмерной модели проектируемого изделия фирма "Топ Системы" предлагает систему параметрического трехмерного твердотельного моделирования **T-FLEX CAD 3D**, которая является закономерным развитием системы T-FLEX CAD 2D и включает в себя все возможности T-FLEX CAD 3D SE. Функциональные возможности системы T-FLEX CAD 3D позволяют сопоставлять ее с лучшими системами трехмерного моделирования. **T-FLEX CAD 3D выгодно отличает то, что помимо достаточной функциональности в области трехмерного моделирования система содержит в себе полный набор средств двумерного проектирования и оформления чертежной документации.** Чертежи и документация, созданные в T-FLEX CAD 3D, как уже отмечалось, доступны в любой другой системе T-FLEX CAD.

**T-FLEX CAD 3D построена на геометрическом ядре Parasolid фирмы Unigraphics Solutions, которое сегодня считается лучшим ядром для трехмерного твердотельного моделирования.** Это ядро используется в ведущих системах 3D моделирования. На сегодняшний день системы на Parasolid установлены на более чем 600000 рабочих мест. Профессионализм разработчиков фирмы "Топ Системы" позволяет использовать в системе T-FLEX CAD 3D самые новые версии ядра Parasolid. Использование ядра Parasolid не только обеспечивает T-FLEX CAD 3D мощными и надежными инструментами, но и обеспечивает прямую интеграцию с лучшими программами проектирования.

Моделирование в T-FLEX CAD 3D может осуществляться как непосредственно в 3D пространстве, так и на основе данных двумерного чертежа. Проектировщик может выбрать любой способ работы в T-FLEX CAD 3D или их комбинацию.

При создании новой 3D модели в T-FLEX CAD можно сразу работать непосредственно в трехмерном пространстве.

Отличительной особенностью T-FLEX CAD 3D от аналогичных систем является возможность располагать на "листе" 2D окна несколько рабочих поверхностей (плоскостей). Это дает возможность не только параметрически увязать виды, но и наиболее естественным образом работать над 3D обводами судов по теоретическим чертежам или проектировать гребной винт в цилиндрической системе координат и решать другие задачи.

**T-FLEX CAD 3D поддерживает двунаправленную ассоциативность, то есть изме-**



**нение параметров чертежа будет приводить к изменению трехмерной модели, а изменение параметров трехмерной модели будет автоматически обновлять чертежи.**

Система T-FLEX CAD 3D позволяет работать с трехмерными сборочными моделями. Механизм параметрического проектирования сборочных моделей успешно применяется разработчиками фирмы "Топ Системы" не только в двухмерном черчении, но и при проектировании трехмерных сборочных объектов. Удобный, интуитивный пользовательский интерфейс вместе со специально разработанными функциями позволяет создавать сложные трехмерные сборочные модели любому конструктору.

Трехмерная сборка в T-FLEX CAD является полностью параметрической - она состоит из отдельных параметрических деталей, связанных между собой. Это означает, что при изменении размера или положения какой-либо детали, другие будут автоматически скорректированы.

**Проектирование может осуществляться как от детали к сборке, так и наоборот - от сборки к детали.** По этой схеме конструктор создает проект сразу как сборочный. Детали проектируются в рамках одной и той же сборки, причем их геометрические элементы (грани, ребра и т.д.) могут быть использованы для проектирования других деталей. При этом, естественно, доступен весь арсенал средств моделирования. В любой момент деталь может быть выгружена в отдельный файл, и использоваться для получения чертежей или вставки в другие сборки.

При этом она остается в исходной сборке, и будет автоматически обновляться. Это значит, что деталь в упрощенном виде можно задать в сборке, затем выгрузить как деталь в отдельный файл, добавить с помощью операций моделирования необходимые элементы, после чего она автоматически будет откорректирована в сборке. То же самое произойдет и в обратном направлении. Если параметры, определяющие деталь в сборке изменить, то деталь будет модифицирована не только в сборочной модели, но и в отдельном файле-детали, в который она была выгружена.

Для каждой детали сборки можно задать перемещение, которое будет учитываться при выводе сборки в разобранном виде. T-FLEX CAD позволит проверить компоненты сборки на взаимное пересечение. В случае объемных моделей, требующих больших ресурсов, можно заменить детали их графическим представлением. Структура сборки отслеживается в дереве модели, по которому можно быстро перейти к детали любого уровня. Также в дереве модели можно производить булевы операции с помощью механизма "бери-тащи". Команда фотореалистичного изображения выведет качественную картинку с учетом материалов каждой детали. Подсистема создания спецификаций автоматически сгенерирует спецификацию, которая будет параметрически связана с моделью.

**Большой эффект может принести использование баз данных, позволяющих реа-**

лизовывать в одном чертеже целые каталоги изделий. Это позволяет создавать элементы конструкций в полуавтоматическом режиме, задавая их параметры из баз данных. Используя базы данных также можно строить теоретические профили по табличным данным рассчитанным и скомпонованным в других системах, например, в MS Excel или MathCAD. Т.е. наработанные расчетные методики можно быстро преобразовывать в чертежи и модели T-FLEX CAD.

### **Cimatron**

**Cimatron** – разработка израильской компании Cimatron Corporation, представляет собой полный набор средств для конструирования, анализа, черчения и производства на станках с ЧПУ и удовлетворяет всем современным требованиям, предъявляемым к системам такого класса предприятиями различных машино- и приборостроительных отраслей.

**Модульная структура программного обеспечения позволяет выбрать требуемую пользователю конфигурацию:**

- **двумерное проектирование и изготовление чертежей;**
- **трехмерное проектирование и изготовление чертежей;**
- **трехмерное проектирование и разработка управляющих программ;**
- **трехмерное проектирование, изготовление чертежей и разработка управляющих программ;**
- **твердотельное параметрическое моделирование деталей и их сборка;**
- **параметрическое эскизное проектирование.**

Любая базовая конфигурация может быть расширена.

**Основными характеристиками конструкторской части системы являются дружелюбный интерфейс, стабильность действий пользователя, интеллектуальная обработка ошибок, гибкое управление графической средой, настройка на требуемый режим работы, развитые средства моделирования, автоматическое получение проекций на базе трехмерной модели, эффективная структура базы данных.**

При необходимости дополнительные функции могут быть разработаны пользователем на языках Си и ФОРТРАН с использованием обширной библиотеки подпрограмм. Возможность использования параметрических объектов и механизм создания макросов позволяют повысить уровень автоматизации проектирования.

Cimatron не просто поддерживает автоматизированное конструирование, а принципиально расширяет возможности пользователя. Система имеет набор функций построения сложных моделей, включая разнообразные средства создания аналитически не описываемых поверхностей.

С помощью Cimatron быстро и просто создавать чертежи. Автоматически проецируются виды на основе трехмерной модели, вычисляются действительные размеры независимо от масштаба чертежей. При этом автоматически поддерживается связь чертежей с трехмерной моделью.

Соответствующие средства позволяют настраивать систему на используемые стандарты черчения.

Cimatron используется не только для проектирования отдельных деталей, но и предоставляет удобные способы разработки сложных сборочных проектов. Проектирование выполняется "сверху - вниз" – от концепции к отдельным сборочным единицам и деталям, и "снизу - вверх", когда вначале проектируются детали, затем они группируются в сборочные единицы. Возможно сочетание обоих методов. Создаваемое системой "дерево" изделий сопровождает проект на всех этапах конструирования, черчения, разработки управляющих программ.

**Возможность связывания записей базы данных и геометрических объектов обеспечивает быстрый доступ к инженерным данным о любых компонентах проекта, что создает предпосылки для успешной интеграции Cimatron с другими сферами производства.**

Неотъемлемой частью проектирования сложных деталей являются инженерные расчеты. Для решения этих проблем в Cimatron используется система генерации сетки конечных элементов. Система позволяет задать характеристики испытываемой модели (структуру, материал и пр.) и тип нагрузки. Для особо сложных расчетов может быть использована полностью совместимая система для передачи данных в специализированные расчетные комплексы (NASTRAN, ANSYS и др.). Результаты расчета отображаются различными способами (цветомодуляцией, таблицами).

Cimatron может быть связана с любой другой CAD/CAM системой с помощью стандартных интерфейсов данных, таких как IGES, VDA, DXF.

Система проектирует управляющие программы для фрезерных (включая пяти координатные станки), сверлильных, токарных, электроэрозионных станков, листопробивных прессов. Она генерирует траекторию движения инструмента для обработки множества поверхностей с автоматическим контролем зарезаний, имеет средства создания библиотеки инструментов. Графический режим моделирования позволяет отладить управляющую программу до выхода на станок. Ввод данных возможен с дигитайзера или координатно-измерительной машины, вывод – на стереолитографические машины.

Минимальные требования Cimatron к аппаратной части:

– IBM PC 386/486 и выше или различные рабочие станции (Silicon Graphics, HP/Apollo, Sun и др.), RAM 16 Мбайт, HDD 400 Мбайт.

Операционная система MS DOS, Windows NT, UNIX (на рабочих станциях). Cimatron независим от аппаратного обеспечения и может использоваться на смешанных компьютерных сетях.

## **КОМПАС**

У нас в стране АО "Аскон" предприняло попытку создания аналогичной CAD/CAM системы **"КОМПАС"**. Цель проекта – создание массовой полномасштабной интегрированной системы для моделирования сложных изделий с мощными средствами черчения и разработки приложений, а также многочисленными готовыми прикладными САПР и библиотеками. В настоящее время разработчики предоставили пользователям возможность работы с ее чертежно-конструкторским редактором **"КОМПАС-ГРАФИК"**.

### **Полнофункциональная система объемного моделирования КОМПАС-3D.**

Подсистема **КОМПАС-3D** предназначена для создания трехмерных параметрических моделей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как типичные, так и нестандартные, уникальные конструктивные элементы. Параметризация позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе однажды спроектированного прототипа.

Ключевой особенностью **КОМПАС-3D** является использование собственного математического ядра и параметрических технологий, разработанных специалистами **АСКОН**.

Область применения **КОМПАС-3D** определяется основным набором задач, которые он призван решать:

- моделирование изделий с целью создания конструкторской и технологической документации, необходимой для их выпуска (деталировок, сборочных чертежей, спецификаций и т.д.);
- моделирование изделий с целью расчета их геометрических и массово-центровочных характеристик;
- моделирование изделий для передачи геометрии в расчетные пакеты;
- моделирование деталей для передачи геометрии в пакеты разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ;
- создание изометрических изображений изделий (например, для составления каталогов, создания иллюстраций к технической документации и т.д.);

### **Детали**

**Модель детали является отдельным типом документа КОМПАС.**

Общепринятым порядком моделирования твердого тела является последовательное выполнение булевых операций (сложения и вычитания) над объемными при-

митивами (сферами, призмами, цилиндрами, конусами, пирамидами и т.д.).

В КОМПАС-3D объемные примитивы образуются путем выполнения такого перемещения плоской фигуры в пространстве, след от которого определяет форму примитива (например, поворот окружности вокруг оси образует сферу, а смещение многоугольника – призму).

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

### Эскизы

Эскиз изображается на плоскости стандартными средствами чертежно-графического редактора КОМПАС-ГРАФИК. При этом доступны все команды построения и редактирования изображения, команды параметризации и сервисные возможности. Единственным исключением является невозможность ввода некоторых технологических обозначений и объектов оформления. Пользователь, знакомый с работой в КОМПАС-ГРАФИК, не найдет принципиальных отличий между порядком создания фрагмента и эскиза.

В эскиз можно перенести изображение из ранее подготовленного в КОМПАС-ГРАФИК чертежа или фрагмента. Это позволяет при создании трехмерной модели опираться на существующую чертежно-конструкторскую документацию. Эскиз может располагаться в одной из ортогональных плоскостей координат, на плоской грани существующего тела или во вспомогательной плоскости, положение которой задано пользователем.

### Операции

Проектирование детали начинается с создания базового тела путем выполнения операции над эскизом (или несколькими эскизами).

При этом доступны следующие типы операций:

- вращение эскиза вокруг оси, лежащей в плоскости эскиза;
- выдавливание эскиза в направлении, перпендикулярном плоскости эскиза;
- кинематическая операция – перемещение эскиза вдоль указанной направляющей;
- построение тела по нескольким сечениям-эскизам.

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

- При вращении эскиза можно задать угол и направление поворота относительно плоскости эскиза и выбрать тип тела – тороид или сфероид (если контур эскиза не замкнут);
- При выдавливании эскиза можно задать расстояние и направление выдавливания относительно плоскости эскиза и при необходимости ввести угол уклона;

- При выполнении кинематической операции можно задать ориентацию образующей относительно направляющей (сохранение нормали, угла наклона или ортогональности);
- При построении тела по сечениям можно указать, требуется ли замыкать построенное тело;

Во всех типах операций можно включать опцию создания тонкостенной оболочки и задать толщину и направление построения стенки – внутрь, наружу или в обе стороны от поверхности тела, образованного операцией.

На любом этапе работы можно удалить часть тела по границе, представляющей собой плоскость или цилиндрическую поверхность, образованную выдавливанием произвольного эскиза.

Удобный прием моделирования изделий, которые отличаются лишь некоторыми конструктивными элементами – использование в качестве базового тела ранее подготовленной модели (она называется заготовкой). Последующая работа с таким базовым телом ("приклеивание" и "вырезание" дополнительных объемов) ничем не отличается от работы с телом, полученным путем операции над эскизом. При использовании заготовки следует учитывать, что она не копируется в модель, а существует в нем в виде ссылки на свой файл (заготовку можно сравнить со вставкой фрагмента ссылкой в чертеж КОМПАС-ГРАФИК). После редактирования модели, используемой в качестве заготовки другими моделями, все изменения передаются в файлы, содержащие ссылку на заготовку.

### Вспомогательные построения

Эскиз может быть построен на плоскости (в том числе на любой плоской грани тела). Для выполнения некоторых операций (например, копирования по окружности) требуется указание оси или направляющей. Если существующих в модели ортогональных плоскостей, граней и ребер недостаточно для построений, пользователь может создать вспомогательные плоскости, оси и пространственные кривые, задав их положение одним из предусмотренных системой способов.

### Сборки

Модель сборки является отдельным типом документа КОМПАС.

Сборка состоит из отдельных деталей и подборок (которые, в свою очередь, также могут состоять из деталей и подборок). **Проектирование сборки ведется "сверху вниз"; каждая новая деталь моделируется на основе уже имеющихся деталей (обстановки) с использованием параметрических взаимосвязей.**

Детали и под сборки могут создаваться непосредственно в сборке или вставляться в нее из существующего файла.

Кроме разработанных пользователем (уникальных) моделей, компонентами сборки могут быть стандартные изделия (крепеж, опоры валов и т.д.), библиотека которых входит в комплект поставки системы.

**Взаимное положение компонентов сборки задается путем указания сопряжений между ними. Процесс формирования сборки как бы повторяет действия слесаря-сборщика. Каждая деталь последовательными действиями "приставляется" к соседним деталям и подсборкам.**

Компонент сборки можно свободно перемещать и поворачивать мышью, если этому не препятствуют сопряжения, в которых участвует компонент (например, втулку, концентрично установленную в отверстие, можно вращать вокруг оси и перемещать вдоль оси). Компонент можно также зафиксировать в текущем положении; вращение и перемещение зафиксированного компонента невозможно.

Несколько компонентов (деталей и подсборок) могут объединяться в новую подсборку.

При работе с трехмерной моделью вся последовательность построения отображается в отдельном окне в виде "дерева построения". В нем перечислены все существующие в модели вспомогательные элементы, эскизы и выполненные операции в порядке их создания.

**Существует два аспекта параметризации трехмерной модели в КОМПАС-3D. Во-первых, каждый эскиз может быть параметрическим. На его объекты можно наложить различные параметрические связи и ограничения (вертикальность и горизонтальность, параллельность и перпендикулярность, выравнивание, симметрия, касание). Возможно задание зависимостей между параметрами графических объектов эскиза. Таким образом, в эскизах реализована та же вариационная идеология параметризации, что и в графических документах КОМПАС. Во-вторых, при создании модели система запоминает не только порядок ее формирования, но и отношения между элементами (например, принадлежность эскиза грани или указание ребра в качестве пути для кинематической операции). Таким образом, реализована иерархическая идеология параметризации объемных построений.**

Наличие параметрических связей и ограничений в модели, естественно, накладывает отпечаток на принципы ее редактирования.

В КОМПАС-3D в любой момент возможно изменение параметров любого элемента (эскиза, операции, сопряжения) модели. После задания новых значений параметров модель перестраивается в соответствии с ними. При этом сохраняются все существующие в ней связи.

Возможно измерение различных геометрических характеристик: расстояний между вершинами, ребрами и гранями в любой комбинации, измерение длин ребер и периметров граней, измерение площадей граней. Производится расчет массо-инерционных характеристик детали (объема, массы, координат центра тяжести, осевых и центробежных моментов инерции, направления главных осей инерции).

При работе со сборкой доступна команда обнаружения пересечений компонентов.

При помощи соответствующей команды можно создать плоское изображение (своеобразную "заготовку чертежа") трехмерной модели. Доступен выбор любой комбинации проекций, масштаба, параметров расположения видов, способов изображения невидимых линий и линий перехода. Полученное изображение размещается в файле чертежа КОМПАС-ГРАФИК; дальнейшее его оформление (проставка размеров и технологических обозначений, заполнение технических требований и т.д.) производится привычными средствами чертежно-графического редактора. Аналогично создается "заготовка спецификации" для сборки. Сборка может отображаться в "разобранном" виде (это может потребоваться, например, при создании изображения для каталога). Направление и величина сдвига при разнесении задаются пользователем.

### **SolidWorks**

**SolidWorks** – мощное средство проектирования, которое полностью решает проблемы ежедневной практической работы конструктора. SolidWorks служит основой для построения интегрированного комплекса автоматизации предприятия и позволяет осуществить сквозной процесс проектирования, инженерного анализа и подготовки производства изделий любой сложности и назначения. Эта система не имеет ограничений по количеству компонентов сложных сборок, предоставляет богатые возможности для оформления конструкторской документации, работы с листовым металлом, создания фотореалистичных изображений. SolidWorks сертифицирован на соответствие требованиям CALS-технологий и позволяет осуществлять поддержку полного жизненного цикла изделия, включая создание интерактивной документации на изделие и обеспечение обмена данными с другими системами. Неоспоримым преимуществом системы является её полная русификация. Все методические пособия и руководство пользователя SolidWorks, а также меню и пользовательский интерфейс реализованы на русском языке во всех версиях. SolidWorks полностью поддерживает стандарты ЕСКД в части оформления конструкторской документации, что лишний раз свидетельствует о повышенном внимании со стороны разработчика к нуждам российских пользователей. Открытость пользовательского интерфейса SolidWorks не требует специальной подготовки от пользователя: писать свои приложения, можно на любом распространенном языке для Windows.

### ***Проектирование***



#### Модуль проектирования пресс-форм **MoldBase:**

- быстрое комплектование пресс-формы на основе нескольких стандартов;
- добавление по выбору из библиотеки толкателей, каналов охлаждения;
- возможность создавать свои библиотеки комплектов плит, колонок, толкателей.

#### Модуль проектирования пресс-форм **MoldWorks:**

- четырнадцать используемых в мире стандартов пресс-форм;
- возможность модификации предлагаемых стандартом плит;
- обширная библиотека толкателей, колонок, втулок, литниковых колец;
- возможность автоматического пересчета пресс-формы под иной типоразмер;
- автоматическая генерация данных для станков с ЧПУ;
- анализ коллизий между элементами геометрии отдельных плит пресс-формы.

#### Модуль механообработки **CAMWorks:**

- 3-х координатная фрезерная и 2/4-х координатная токарная обработка;
- генератор постпроцессоров в составе базового модуля CAMWorks;
- поддержка ассоциативности с геометрией модели;
- визуализация процесса обработки, анализ недорезов и зарезов;
- обширная база данных станков, инструмента, режимов резания...

#### Модуль механической и электроэрозионной обработки **Mastercam:**

- прямой интерфейс обмена с SolidWorks;
- фрезерная обработка до пяти осей;
- возможность обработки детали боковой поверхностью фрезы;
- токарная и электроэрозионная обработка;
- функции высокоскоростной обработки.

#### Модуль для разводки электрических кабелей **Embassy:**

- разводка кабелей и формирование жгутов;
- генерация схемы разводки и оформление чертежа, получение текстовых отчетов;
- раскладка жгутов на монтажном столе;
- проверка заданных пользователем правил проектирования.

#### Модуль проектирования трубопроводов и библиотека стандартных изделий

##### **SolidWorks Piping:**

- трехмерная прокладка трасс трубопроводов в сборках SolidWorks;
- библиотека стандартных изделий, содержащая более 1700 уникальных деталей;
- возможность создавать свои библиотеки деталей или добавлять их в стандартную.

#### Модуль создания трехмерных моделей печатных плат **CircuitWorks:**

- автоматическое создание 3D-моделей печатных плат на основе данных, получен-

ных из электротехнических CAD-систем;

- пользовательские библиотеки моделей радиодеталей;
- возможность преобразования моделей SolidWorks в IDF-формат.

### ***Расчетные модули***

Инженерный калькулятор и библиотека **MechSoft-PROFI:**

- проектировочные расчеты балок, валов, сварных соединений, пружин...;
- моделирование стандартных изделий и кулачков;
- создание в сборке ассоциированных групп крепежа;
- моделирование валов и зубчатых передач на основе проектировочного расчета;
- введение в систему своих видов расчетов и моделей.

Утилита простановки допусков **Допуски и посадки:**

- простановка на чертежах допусков на размеры по квалитетам.

Модуль расчета размерных цепей **SigmundWorks:**

- анализ собираемости сборки из условий заданных допусков;
- автоматическое формирование размерной цепи;
- прямой и обратный виды расчетов;
- расчеты на максимум-минимум, статистический анализ;
- определение и учет весовых коэффициентов;
- учет статистики предприятия при задании функций распределения погрешностей.

Модуль анализа проливаемости пресс-форм **Plastics Advisers:**

- расчет течения пластмассы в форме любой сложности;
- определение мест образования пузырьков воздуха, линий холодного спая;
- оптимизация точек впрыска полимера;
- определение качества поверхности, зон недостаточного охлаждения;
- определение оптимальных параметров термопласт-автоматов.

Модуль кинематического анализа **Dynamic Designer (ADAMS):**

- кинематический анализ сложных механизмов;
- определение скоростей, ускорений и взаимных воздействий элементов системы;
- передача нагрузок в систему расчета на прочность CosmosWorks.

Модуль расчета на прочность **CosmosWorks:**

- разные виды расчета - статический, тепловой, частотный, потери устойчивости;
- автоматическая оптимизация размеров конструкции;
- работа с деталями и сборками;

- возможность учета нелинейных свойств материала
- вывод эпюр напряжений, деформаций, запасов прочности...

Модуль расчета на прочность **MSC visualNastran:**

- расчет движения систем со случайными взаимодействиями элементов;
- определение нагрузок, скоростей и ускорений в любой момент времени;
- расчет ударных нагрузок;
- расчет отдельных деталей на прочность в любой момент движения механизма.

Модуль аэрогидродинамических расчетов **FlowVision:**

- расчет и визуализация течений жидкостей и газов;
- расчеты движения на поверхности раздела двух сред;
- учет горения газо-воздушной смеси при движении;
- аэродинамические расчеты до числа  $M=10$  анализ ламинарного и турбулентного течений, учет вязкости газа и жидкости.

## **Документооборот и библиотеки стандартных элементов Менеджер проекта SWR-PDM**

SWR-PDM 1.0, PDM-система, позволяющая вести индивидуальные проекты и управлять параллельной разработкой легче и эффективнее чем когда-либо ранее!

Модуль интеграции с SolidWorks делает SWR-PDM мощным инструментом управления для документов SolidWorks. Используйте SWR-PDM для создания, редактирования, просмотра, управления версиями, хранения и поиска документов SolidWorks, MS Office и любых других приложений. SWR-PDM готов к использованию сразу после установки, оставаясь легко настраиваемым.

### **Описание SWR-PDM**

Библиотека стандартных изделий **Toolbox:**

- быстрое добавление в сборку комплектов крепежа (болт, гайка, шайба);
- библиотеки подшипников и прокатного сортамента;
- моделирование канавок под стандартные уплотнительные кольца;
- проектировочные расчеты балок;
- проектирование кулачков.

Библиотека стандартных изделий **StandardWorks и SWR-библиотеки:**

- пополняемые библиотеки любых параметризованных моделей;
- возможность разделенивапе доступа пользователя и администратора;
- поставка с готовым наполнением в соответствии с ГОСТами;

- возможность добавления прямо в сборку с наложением сопряжений;
- тесная интеграция с модулем автоматической генерации спецификаций;
- возможность настройки на СтП при поставке заказчику.

#### Модуль автоматической генерации спецификаций **SWR-Спецификация:**

- полностью автоматическое заполнение спецификации по ЕСКД;
- двусторонняя ассоциативная связь с чертежами и моделями SolidWorks
- встроенные библиотеки материалов и крепежа;
- поддержка множества бланков, функции экспорта данных- генерация других конструкторских и технологических документов;
- любые бланки заказчика – бесплатно.

#### *Дополнительные модули*

#### Модуль параметризации импортированных моделей в SolidWorks **FeatureWorks:**

- распознавание конструктивных элементов в импортированных моделях и преобразование их в параметрическую модель SolidWorks;
- получение редактируемых, ассоциативных и параметрических моделей;
- возможность как автоматического, так и интерактивного распознавания.

#### Модуль **SolidWorks Animator:**

- быстрая и простая генерация AVI-файлов на основе моделей SolidWorks;
- создание интерактивной документации и рекламных видеороликов.

#### Модуль для создания фотореалистичных изображений **PhotoWorks:**

- генерация изображений с фотографическим качеством на базе моделей SolidWorks;
- экспорт в TIFF, JPEG, PostScript, Targa, BMP, LWI форматы;
- возможность выбора оптических характеристик поверхностей деталей SolidWorks;
- задание источников света, окружающей обстановки, характеристик среды.

#### Средство просмотра моделей и чертежей SolidWorks – модуль **eDrawing:**

- уникальное средство просмотра чертежей и моделей SolidWorks с одновременным их многократным сжатием;
- объединение чертежа, модели и средств их просмотра в eхе-файл малого размера;
- функция "красного карандаша", дополнительные виды и разрезы, вывод на печать.

#### Модуль в области e-commerce **3D PartStream.NET:**

- поиск потенциальных заказчиков вашей продукции через Internet;
- позволяет покупателям просматривать, транслировать и загружать 3D модели.

#### Модуль обмена данных через Web-страницы **3d Instant Website:**

- создание пользовательских Web-страниц на своем сервере и защищенных паролем страниц на сервере SolidWorks Corporation;
- возможность представлять в Internet 3D-модели с фотографическим качеством.

### **Единая интегрированная система различных инженерных приложений CAD/CAM/CAE/PDM/TDM**

SolidWorks предоставляет возможность построения сквозного комплекса автоматизации конструкторских и технологических работ, оптимизируя его состав и функциональность в соответствии с решаемыми задачами и финансовыми возможностями предприятия. Этот эффект достигнут благодаря включению в базовый модуль специальных API-функций для программирования прикладных задач. Результат – во многих популярных прикладных системах появились средства прямого доступа к моделям SolidWorks. Более того, специально для SolidWorks было создано большое число модулей, работающих непосредственно в его среде.

SolidWorks можно рассматривать как систему, вполне подходящую для автоматизации конструкторского труда на среднем предприятии.

#### **Solid Edge.**

Как альтернативу коротко рассмотрим систему **Solid Edge**. Solid Edge является принципиально новой системой автоматизированного конструирования (CAD), которая предназначена для разработки сборочных узлов и геометрического моделирования отдельных деталей. **Разработанный с использованием передовой технологии трехмерного моделирования, Solid Edge обеспечивает настоящий прорыв в области интерактивного конструирования изделий машиностроения и позволяет значительно сократить время разработки изделия. Solid Edge прост в освоении и использовании, благодаря чему Вы уделяете больше времени конструированию и тратите меньше времени на управление системой.** Solid Edge разработан специально для Microsoft Windows и является первой системой CAD, которая предлагает эффективное объектно-ориентированное параметрическое моделирование в Windows. Предлагая интуитивный интерфейс, который отражает естественный процесс работы над конструкцией изделия, Solid Edge устраняет избыточность команд и запутанность процедуры создания модели. Solid Edge разработан с использованием наиболее известных открытых программных технологий, что позволяет быстро и легко объединить этот продукт вместе с другими программными средствами автоматизации в рамках единого проекта.

**SolidWorks фирмы SolidWorks Corp. и SolidEdge фирмы EDS PLM Solution – но-**

вые (с 1997) системы 3D-моделирования, на математическом ядре Parasolid, отличающиеся удобным интерфейсом, соответствием требованиям ЕСКД, легкостью редактирования моделей, возможностью создания сложных сборок, полной русификацией (локализацией).

### **Системы верхнего уровня (тяжелые САПР)**

Системы верхнего уровня отличаются от остальных систем двумя основными признаками.

**Во-первых, возможностью обеспечения всего цикла создания изделия – от концептуальной идеи до реализации – внутри самой системы, без дополнительного использования внешних приложений.**

**Во-вторых, обеспечение единой среды для разработки изделия и поддержка параллельного инжиниринга, то есть создание единой цифровой модели, с которой все участники проекта могут работать одновременно. Такие системы должны иметь достаточно мощные средства параметризации, позволяющие проводить изменения сложных структур в больших сборках, иметь возможность построения сложных ассоциативных связей, а также определенную гибкость, так как изделие в процессе проектирования постоянно изменяется.**

**Эти системы называют еще системами сквозного проектирования, т. е. обладающими функциями CAD/CAM/CAE-систем.**

Представление о возможностях полномасштабных CAD/CAM/CAE систем можно получить, рассмотрев одни из самых распространенных программных продуктов - **UNIGRAPHICS** и **Pro/ENGINEER**.

### **UNIGRAPHICS**

UNIGRAPHICS использует то же самое ядро твердотельного моделирования (Parasolid), что и SolidEdge, а также одинаковую индексацию данных, что обеспечивает их полную ассоциативность. Это очень удобно при автоматизации предприятий, так как обеспечивается обмен данными между рабочими местами SolidEdge и Unigraphics без потерь информации.

Unigraphics - это одна из основных CAD/CAM систем в мире, которая используется несколькими ведущими автомобильными компаниями, где General Motors является одной из наиболее известных. Такая позиция в основном поддерживается благодаря довольно недавнему приобретению компании Applicon.

Unigraphics имеет много модулей для различных приложений, начиная с концептуального проектирования и заканчивая работой с листовым металлом.

Рассмотрим некоторые особенности системы **UNIGRAPHICS (UG)**.

- Пакет твердотельного гибридного моделирования, который дает пользователю полный набор функций работы с твердым телом, поверхностью и каркасной моделью, основанный на полностью ассоциативном параметрическом дереве построения. Мощное средство визуализации, анимации, построения прототипов.
- Уникальный революционный системно-инженерный подход к построению WAVE-модели. Этот подход дает наиболее экономически эффективный и рациональный способ создания, сопровождения и оценки нового продукта, имеющего новые концептуальные решения.
- Мощные возможности по созданию и управлению крупными сборками, содержащими десятки и сотни тысяч компонентов.
- Модули высокоскоростной технологической обработки для любых типов оборудования.
- Модули SHOP, предлагающие решения одинаково удобные как для программиста станков с ЧПУ, так и для рабочего (шаблоны практических решений).
- Модули инженерного анализа, базирующиеся на встроенных решениях таких пакетов, как NASTRAN и ADAMS.
- Открытый мощный программный интерфейс дает возможность разрабатывать собственное прикладное программное обеспечение, которое будет полностью интегрировано в UG.
- Эффективный обмен данными с другими системами, даже при плохом качестве входных данных, полученных из старых систем.
- **Поддержка внешних форматов данных: IGES, STEP, DXF, DWG и прямых интерфейсов к наиболее известным пакетам.**
- Система UG работает на всех профессиональных RISE-платформах и соответствующих UNIX-SS, а также под управлением Windows NT на платформах Intel и ALFA.

**Unigraphics использует то же самое ядро твердотельного моделирования (Parasolid), что и SolidEdge. Parasolid очень эффективен и известен тем, что гораздо более устойчив к "плохим" данным по сравнению со своим основным конкурентом ACIS. Операции твердотельного моделирования, таким образом, хороши, гибки и быстры.**

Как только деталь полностью параметризована, контрольные параметры могут быть заданы (отредактированы) через электронные таблицы. Это позволяет легко генерировать семейства деталей. Параметры мастер-детали вводятся в электронную таблицу, после чего они могут быть скопированы/отредактированы, чтобы получить новые детали, принадлежащие к тому же семейству.

Чтобы помочь пользователю, параметры в любое время могут быть показаны на экране. Любая параметризованная деталь может быть использована как пользовательский элемент для создания новых моделей.

**Технологией "WAVE" позволяет управлять проектом, создав сначала простую модель и добавляя к ней впоследствии детали.**

Существует проверка на столкновения деталей. Unigraphics может определить, где две детали сталкиваются и создать твердое тело, которое показывает область их пересечения.

**Unigraphics позволяет показывать облако точек, которые могут быть использованы для привязки при моделировании с помощью данных оцифровки.**

Unigraphics предлагает диагностическую закраску по отражению и также имеет возможность накладывать текстуру с учетом отражения. Это позволяет получать эффект зеркального отражения растрового образа. Отдельные поверхности могут быть выделены из твердого тела для редактирования. В режиме создания чертежей все виды позволяют удалять скрытые линии. Это работает точно и быстро (условием является то, что работа идет только с твердыми телами, - если деталь не твердое тело, то удаление скрытых линий работает абсолютно неверно).

**Unigraphics может разворачивать ломаные сечения и показывать их в режиме проекции.**

Центра отверстий могут быть автоматически образмерены. Необходимо просто обозначить положение размера и указать отверстие.

Пользователь может определить свои собственные виды для дальнейшего использования. Это может быть очень полезным за исключением того, что существует предел 10 подобных видов. По умолчанию это 6 ортогональных проекций плюс 4 изометрических. Чтобы определить свой собственный вид необходимо переопределить существующий.

**Unigraphics может создавать центральные (средние) поверхности. Это поверхности, которые лежат в середине стенки или ребра. Такие поверхности бывают полезны для конечно-элементного анализа.**

**В ЧПУ модуле пользователь может скопировать любую управляющую программу и изменить ее параметры. Недавно был введен в действие UGSHOPS для работы в цехе.**

В Unigraphics есть хорошая возможность по созданию сообщений об ошибках. Этот модуль автоматически печатает такую важную информацию как версия операционной системы, версии драйверов, размер памяти и диска и т.д.

Unigraphics позволяет адаптировать программу под пользователя, изменяя значения в текстовых файлах.

**Отметим некоторые слабые стороны системы.**



Для того чтобы полностью использовать возможности Unigraphics и различных связанных с ним программ, пользователь должен отлично знать операционную систему. Так много вещей в Unigraphics зависит от настроек операционной системы, которые может знать только эксперт, что остальные пользователи оказываются в ущемленном состоянии.

Unigraphics не может напрямую считывать файлы Pro/E. Хотя и существует интерфейс с CATIA, он работает очень медленно.

UG, как впрочем и все системы высокого уровня, работает на сертифицированных аппаратных средствах, что делает его значительно дороже.

### **Pro/ENGINEER**

Рассмотрим систему Pro/ENGINEER.

Система Pro/ENGINEER представляет собой модульную структуру, на математическом ядре ACIS, основа которой – базовый модуль Pro/ENGINEER, к которому подключается множество различных модулей, охватывающих весь спектр конструкторско-технологических разработок.

Pro/ENGINEER спроектирован таким образом, что он используется конструктором с самого начала работы над изделием – с момента определения объектов и характеристик конструкции. Каскадное меню обеспечивает логический выбор и установку большинства предвыборных опций. В любой момент доступна полная помощь по выполняемой функции и короткая подсказка в строке подсказок.

Здесь необходимо отметить, что подсказки в этой системе на английском языке, что делает работу пользователя неудобной.

Возможность системы выполнять эскизную геометрию непосредственно на твердотельной модели позволяет легко и просто помещать объекты ("фичеры") в конструкцию модели.

Система основана на единой структуре данных, с возможностью делать изменения непосредственно в системе. Таким образом, изменения, внесенные в какой-то момент разработки, автоматически переносятся на все реализованные этапы конструкторско-технологического процесса, обеспечивая преемственность инженерных разработок.

Моделирование в Pro/ENGINEER основано на "фичерах", таких как фаски, ребра, скругления, оболочки и др., что позволяет создавать геометрию любой сложности. Наряду с информацией о их местоположении и связях с другими объектами "фичеры" содержат негеометрическую информацию, например, процесс изготовления и связанные с ним расходы.

В Pro/ENGINEER сборка компонентов (как деталей, так и подузлов) осуществляется с помощью таких операций как "приклеить", "вставить", "ориентировать". Можно быстро создавать сборки любой сложности. Причем компоненты "помнят", как они собраны, и при из-

менении либо геометрии, либо месторасположения детали соответствующим образом меняются остальные характеристики. Деталь можно проектировать непосредственно в сборке, определяя ее геометрию индивидуально или относительно геометрии существующих деталей, и при модификации параметров последних автоматически обновляются геометрия и местоположение проектируемой детали.

**Твердотельное моделирование в Pro/ENGINEER основано на безграничной технологии двойной точности, что обеспечивает высокую точность представления геометрии, характеристик массы и проверки всевозможных зазоров и пересечений.**

Полная ассоциативность системы предоставляет мощные возможности по внесению любых изменений, обеспечивая параллельность разработки конструкторского и технологического процессов. Инструмент для работы с параметрической базой данных позволяет управлять этими синхронными процессами и проводить любые контрольные действия.

**Требования Pro/ENGINEER к аппаратной части: функционирование на всех платформах, работающих под управлением UNIX или Windows NT, но требует сертифицированной аппаратуры.**

Интерфейс пользователя не зависит от операционной системы, поэтому пользователи могут выбирать наиболее экономичную конфигурацию для своих нужд и сочетать различные конфигурации платформ. Система гарантирует легкость обмена информацией между платформами с любой архитектурой.

**Pro/Engineer фирмы Parametric Technology Corporation – "тяжелая" система, в основе которой лежит тщательная математическая модель, известная как feature-based design. Отличается очень большими возможностями, реализован на разных платформах, но страдает очень сложным и неудобным пользовательским интерфейсом.**

### **Общие требования к CAD-системам**

Все рассмотренные системы постоянно развиваются, дополняясь все новыми модулями и возможностями. С течением времени программные продукты приобретают способность одинаково эффективно решать в своей "весовой" категории предъявляемые пользователем задачи. В этом случае пользователь при выборе той или иной системы руководствуется в первую очередь ее ценой. В то же время развитие программных сред имеет тенденцию перехода в более "тяжелую" категорию, но никогда наоборот. К сожалению, такое усовершенствование в большинстве случаев приводит к необходимости использования все более и более мощного аппаратного обеспечения.

Здесь уместно отметить, что, каким бы высоким ни был уровень системы, она сама по себе не функционирует. ЭВМ и установленный на ней программный продукт представляют собой хотя и высокопрофессиональный, но всего лишь инструмент, такой как, например, ка-

рандаш, линейка или счеты. Работа на ЭВМ происходит в форме диалога. Диалог с ЭВМ ведет человек (пользователь) с помощью указателя (курсора), который управляется мышью или клавишами клавиатуры. Таким образом, уровень эффективности использования ЭВМ зависит от степени подготовленности специалиста.

- работа в интерактивном режиме (в режиме диалога);
- высокое быстродействие (иначе работа за компьютером в режиме диалога будет утомительна);
- простота и быстрота в освоении и использовании (простой и понятный диалог);
- компактность продукта и создаваемых в его среде файлов (для возможности использования невысокопроизводительных компьютеров);
- соблюдение правил и условностей ГОСТов ЕСКД;
- наличие возможностей профессиональных систем, используемых на современном производстве (для обеспечения принципа востребованности знаний и навыков);
- простота просмотра, ввода и вывода графической информации;
- высококачественный вывод созданной графической информации на простой матричный принтер.

Создание и модификация (редактирование) изображений:

- возможность получения твердотельных объемных и плоских геометрических моделей из простых и сложных элементов;
- поддержка технологии получения плоских моделей по эскизам, объемных – твердотельным моделированием;
- возможность их масштабирования, поворота, переноса, копирования и зеркального отображения;
- обеспечение творческого процесса реконструирования ранее созданных объемных и плоских геометрических моделей (возможность выполнения топологических преобразований);
- возможность получения полутонных, текстурованных и цветных реалистических изображений твердотельных моделей (для решения дизайнерских задач);
- возможность выполнения логических (булевых) операций (операций сложения, вычитания, объединения, пересечения и группирования) с моделями;
- возможность создания параметризованных моделей (без необходимости прямого программирования);
- наличие (или возможность простого создания) библиотек типовых (желательно параметризованных) конструктивных элементов.

Наличие текстового редактора:

- возможность оформления текстовой части конструкторской документации (предпочтительно в автоматизированном режиме);
- нанесение текстов, размерных чисел и их отклонений, знаков чистоты обработки поверхности и взаимного расположения конструктивных элементов (предпочтительно в автоматизированном режиме).

Дополнительные сервисные возможности:

- возможность выполнения вспомогательных построений;
- автоматизированная простановка размеров;
- определение геометрических характеристик линий и контуров;
- приближение и отдаление изображения, откат, поворот на заданный угол, использование различных типов курсоров.

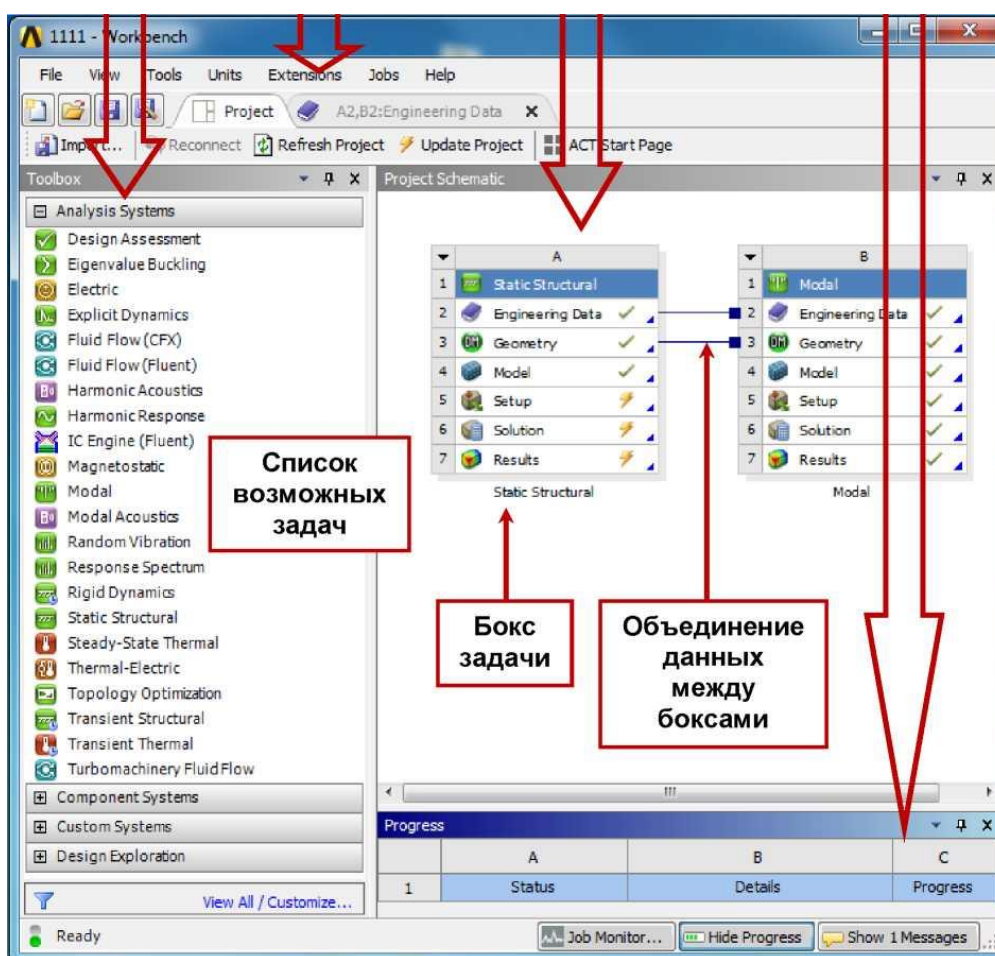
Возможность вывода графической информации для составления управляющих программ на станки с ЧПУ и в растровые файлы.

## ЛЕКЦИЯ №4

### ANSYS WORKBENCH

ANSYS - пакет программ для компьютерного инженерного анализа проектов методом конечных элементов, который охватывает многие направления расчетного обоснования инженерных проектов (механика, гидродинамика, электротехника, электроника и т.д.) и может выполнять multidisciplinary calculations.

Workbench - это пользовательская оболочка ANSYS, призванная соединить раз-



... combine different physical models in one calculation project and provide the engineer with an intuitively understandable interface for managing the calculation project.

The Workbench environment uses settings windows. Each window manages functions and settings at all stages of modeling: creating a geometric model, creating a calculation mesh, applying loads (determining boundary conditions), viewing calculation results.

The ANSYS Workbench start menu contains the following elements:

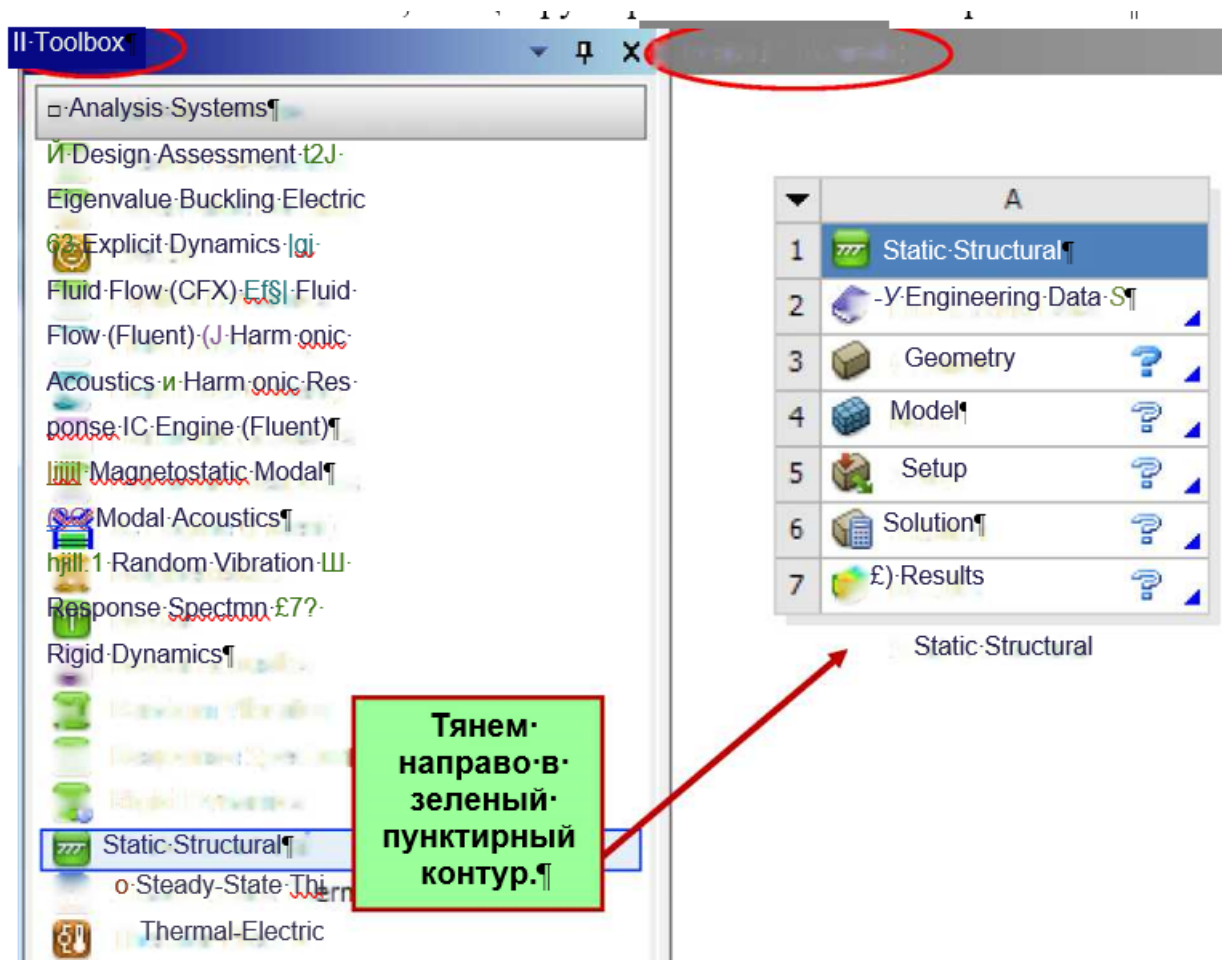
В стартовом окне слева перечислены все типы задач, которые можно запустить на решение. Можно запустить одну задачу. А можно настроить несколько задач, указать связи между ними и запустить на решение многодисциплинарную задачу.

Каждой выбранной задаче соответствует отдельный бокс.

#### Окна настроек и менеджер расчетов

Создание расчетного проекта начинается с вызова менеджера расчетов. Каждому типу расчетов соответствует свой менеджер и соответствующий бокс настроек. Список доступных типов расчета **Toolbox** находится слева в стартовом окне. Необходимое окно настроек нужно перенести направо в рабочее окно **Project Schematic**. Для этого достаточно дважды щелкнуть мышкой в выбранной строчке или потянуть направо мышкой. В рабочем окне появится бокс задачи.

Создать проект в Workbench = дважды щелкнуть мышью в строчке **Static Structural**; иницируем расчет статической прочности:



Менеджер расчетов - это отдельный бокс, в котором сверху вниз перечислены все необходимые действия и этапы расчета. При выполнении расчетной задачи двигайтесь сверху вниз, снимая вопросы. Как только расчетный этап определен, вопрос заменяется галочкой.

## Последовательность решения

Решение расчетной задачи проходит последовательно через 4 этапа.

### 1. Основные допущения

- Выбор типа анализа: статический, вибрационный...?
- Выбор контактной модели: деталь или сборка?
- Выбор типа элементов: оболочечные или твердотельные...?

### 2. Препроцессинг

- Трансляция геометрической модели.
- Задание свойств материалов.
- Генерация сетки.
- Нагружение и закрепление конструкции.
- Выбор расчетных параметров.

### 3. Расчет

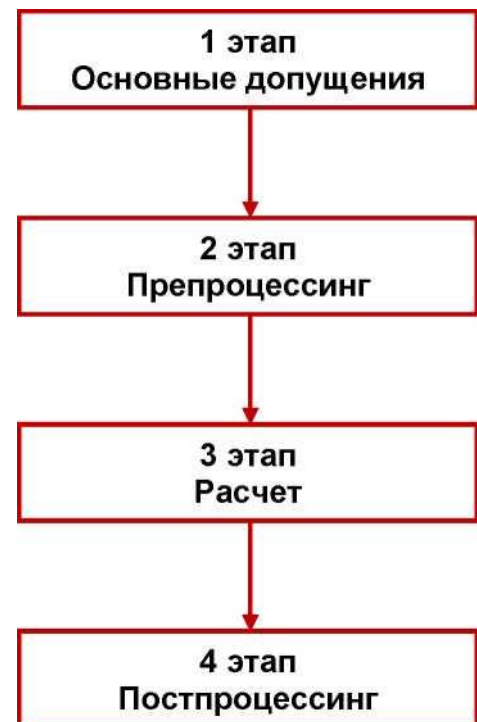
### 4. Постпроцессинг

- Просмотр результатов.
- Проверка достоверности решения.

Последовательность решения расчетной задачи, этапы и основные шаги отражены строками в боксе менеджера расчетов.

### Основные шаги конструкционного анализа:

1. Транслировать геометрическую модель из CAD системы.
2. Задать свойства материалов.
3. Сгенерировать сетку.
4. Закрепить модель.
5. Приложить нагрузки.
6. Выбрать параметры решателя.
7. Задать список расчетных результатов и провести расчет.
8. Просмотреть расчетные результаты.  
Сгенерировать отчет.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Учаев П.Н., Емельянов С.Г., Захаров И.С., Схиртладзе А.Г., Павлов Е.В. и др. Червячные передачи и передачи винт-гайка с задачами и примерами расчетов: Учеб.пособие для вузов Старый Оскол: ТНТ
2. Схиртладзе А.Г., Новиков В.Ю. Технологическое оборудование машиностроительных производств: Учеб.пособие для вузов. М.: Высш.шк.,
3. Ефремов В.Д., Горохов В.А., Схиртладзе А.Г., Коротков И.А. Металлорежущие станки: Учеб.для вузов Старый Оскол: ТНТ
4. Исаев А.Н. Технологическое оборудование машиностроительного производства. Учебное пособие Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ
5. П. Ю. Бунаков, Э. В. Широких Сквозное проектирование в машиностроении. Основы теории и практикум ДМК – Пресс
6. Дементьев Ю.В. САПР в автомобиле- и тракторостроении: Учеб.для вузов- М.: Академия
7. Крушель Е. Г., Панфилов А. Э. ОСВАИВАЕМ Mathcad (первокурсникам, заочникам и не только...): Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. – 179.
8. Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В. Основы работы в ANSYS 17. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.: ил. 2. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов — М.: Мир, 1979. — 392 С.
9. Оголихин Д. А. Метод конечных элементов – ЛитРес: Самиздат, 2018. – 100 с.: ил.
10. Кондратьева Л.Е. Основы метода конечных элементов: Введение. Расчет стержневых систем: конспект лекций / Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 36 с.
11. ANSYS Student | Free Student Software (ANSYS – Продукты. Бесплатное программное обеспечение для студентов). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ansys.com/academic/free-student-products> 6. Цветков В.А. Современные тенденции создания поршневых уплотнений // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО -2019. - Т. 5. - С. 222 – 226



Составитель:  
ЛЕСНЯК Сергей Васильевич

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

Конспект лекций по дисциплине «Компьютерные технологии в области автоматизации и управления»

Редактирование осуществлено автором

---

В печать  
Объем 5,2 усл. п. л. Офсет. Формат 60×84/16  
Бумага тип. № 3. Заказ № Тираж 50. Цена свободная

---

Издательский центр ДГТУ  
Адрес университета и полиграфического предприятия:  
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1