

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ  
им. М.Т.УРАЗБАЕВА

А.А.Шермухамедов, О.В.Лебедев

САПР В МАШИНОСТРОЕНИИ

Ташкент  
Издательство «Фан» Академии наук Республики Узбекистан  
2004

УДК 621.001.2-52

Шермухамедов А.А., Лебедев О.В. САПР в машиностроении. Ташкент: Фан, 2004. 112 с.

Предназначено для специалистов в области автоматизации процессов проектирования и конструирования на ЭВМ, а также для студентов, обучающихся в высших технических учебных заведениях.

Рецензенты: заведующий лабораторией «Динамика машин» института механики и сейсмостойкости сооружений Академии наук Республики Узбекистан, доктор технических наук, профессор Хромова Г.А.,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная механика» Ташкентского автомобильно-дорожного института Алимухамедов Ш.П.

С  $\frac{2702000000-3-752}{M355(04)-04}$  Рез.2004

© Издательство «Фан» АН РУз,

2004

ISBN 5-648-02972-1

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Внедрение ЭВМ и компьютерных технологий в различные сферы человеческой деятельности приводит к появлению новых инженерных специальностей и к росту потребностей общества в специалистах, занимающихся разработкой автоматизированных систем.

К числу наиболее сложных и наукоемких систем в современной технике по праву относят системы автоматизированного проектирования (САПР).

Разработка САПР включает следующие основные задачи:

- анализ процессов проектирования в машиностроении, алгоритмизация проектных задач на базе методов оптимизации, математического моделирования, дискретной математики, искусственного интеллекта;
- разработка программных комплексов для решения задач проектирования сложных технических устройств и систем;
- создание проектов САПР, включая выбор и адаптацию программных и технических средств, разработку операционных сред САПР.

Следовательно, специалист по разработке САПР является системным аналитиком, задачи которого - поиск путей формализации и алгоритмизации проектных процедур, обоснованный выбор технических и программных средств среди множества возможных вариантов для реализации алгоритмизированных процессов, адаптация существующих и разработка оригинальных программ для решения сформулированных проблем.

Особенностью общенаучной и общеинженерной подготовки специалистов по САПР является сочетание дисциплин, типичных как для направлений информатики и электроники, так и для механики. Это обусловлено тем, что инженер-разработчик САПР проектирует средства автоматизации интеллектуальной деятельности на базе современных средств вычислительной техники, а объектом автоматизации являются процессы проектирования в машиностроении.

Основная задача книги - дать читателю знания по современным операционным системам и средам; по методам формирования уравнений математических моделей схем, устройств, механизмов; по численным методам моделирования полей напряжений, сил, давлений и т.п. в исследуемых средах; по численным методам решения дифференциальных и алгебраических уравнений; по методам оптимизации проектных решений; по выбору состава технических средств (ЭВМ, периферии) для автоматизированных рабочих мест, структуры вычислительной сети и состава сетевого оборудования; по организации автоматизированной системы технологической подготовки производственного процесса.

Изучение предлагаемой книги позволяет читателю овладеть:

- вопросами построения ЭВМ и вычислительных сетей;
- методами функционирования операционных систем ЭВМ;
- технологией разработки программного обеспечения, языками программирования, основами математического моделирования;

- методами оптимизации и синтеза проектных решений;
- методами и средствами компьютерной графики;
- вопросами проектирования информационного обеспечения автоматизированных систем и созданием экспертных систем.

## ВВЕДЕНИЕ

Система автоматизированного проектирования объединяют средства и методы автоматизации всех стадий проектных работ и, следовательно, включают в себя в качестве составных частей ряд других автоматизированных систем, важнейшие из которых следующие: система автоматизации инженерного труда; автоматизированные системы конструирования; автоматизированные системы технологической подготовки производства.

В свою очередь, САПР может рассматриваться как самостоятельная система или как составная часть более общей интегрированной системы комплексной автоматизации проектирования и производства.

В зарубежной литературе такие комплексные системы принято называть CIM (Computer Integrated Manufacturing), а перечисленные выше автоматические системы в составе САПР – CAE/CAD/CAM (Computer Aided Engineering/...Design/... Manufacturing) системами.

Общим фактором повышения эффективности разработок изделий машиностроения с помощью САПР является возможность за более короткое время (по сравнению со временем при «ручном» проектировании) обработать гораздо больший объем проектно-конструкторской информации, формализовать ряд задач, связанных с выполнением рутинных процедур, и автоматизировать их выполнение.

САПР относятся к числу наиболее сложных технических систем, созданных человеком. Их проектирование сводится к решению совокупности проблем, включающих выбор состава технических и программных средств, к определению архитектуры вычислительной сети, построения операционной среды, анализу эффективности функционирования получающейся системы, к разработке оригинальных программно-методических комплексов, баз данных и библиотек программных компонентов. Проектные решения, принимаемые в отношении различных видов обеспечения САПР и различных подсистем, должны быть взаимно согласованы, и учитывать международные и национальные стандарты.

Первая глава предлагаемой книги посвящена общим сведениям о системе автоматизированного проектирования. В этой главе приведены этапы, процедуры и операции проектирования; структура, виды обеспечения и уровни САПР; комплексирования технических средств САПР.

Вторая и третья главы посвящены техническому и программному обеспечению САПР, автоматизированным рабочим местам проектировщика.

Четвертая глава посвящена автоматизированному моделированию систем приводов машин на основе элементарно-узлового метода.

Пятая глава посвящена автоматизированным системам технологической подготовки производства.

# ГЛАВА 1

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 1.1. Основные понятия

Предварительно остановимся на рассмотрении ряда понятий.

**СИСТЕМА** - целостное образование, состоящее из взаимосвязанных (взаимодействующих) компонент, (элементов, частей) и обладающее свойствами, не сводимыми к свойствам этих компонент и не выводимыми из них.

В приведенном определении зафиксировано основное свойство системы - ее целостность, единство, достигаемое посредством определенных взаимосвязей (взаимодействий) элементов системы и проявляющееся в возникновении новых свойств, которыми элементы системы не обладают. Данное определение включает наиболее характерные особенности концепции системы.

Вместе с тем необходимо представлять, что реальные системы существуют в пространстве и во времени и, следовательно, взаимодействуют с окружающей их средой и характеризуются теми или иными переменными во времени величинами.

Важным шагом на пути от вербального к формальному определению системы является определение понятия модели системы.

**МОДЕЛЬ** - (некоторой исходной системы) система, в которой отражаются по определенным законам те или иные стороны исходной системы.

Среди различных способов моделирования важнейшее место занимает моделирование с помощью средств математики - математическое моделирование.

Формальное определение системы по существу сводится к определению соответствующей математической модели.

В основу построения математических моделей систем может быть положено следующее определение системы:

Система определяется заданием некоторой совокупности базисных множеств (элементов, компонент системы), связанных между собой рядом отношений, удовлетворяющих тем или иным правилам (аксиомам) сочетания, как элементов множеств, так и самих отношений.

Последнее определение содержит необходимую основу для формализации. В простейших случаях это определение описывает систему как одно или несколько взаимосвязанных отношений, заданных на одном или нескольких множествах. В то же время, данное определение допускает возможность нескольких вариантов таких представлений для одной и той же системы, а также использование их композиции. Последнее имеет место в случае необходимости многоаспектного моделирования системы.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ**-комплекс работ по исследованию, расчетам и конструированию нового изделия или нового процесса.

Проектирование называют **АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ**, если осуще-

ствляется преобразование первичного описания при взаимодействии человека с ЭВМ, и АВТОМАТИЧЕСКИМ, если все преобразования выполняются без вмешательства человека только с использованием ЭВМ.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ - организационно-техническая система, представляющая собой подразделения проектной организации и комплекс средств автоматизированного проектирования. Автоматизация приводит к существенному изменению методов проектирования.

Вместе с тем, сохраняются многие положения и принципы традиционного проектирования, такие, как:

- необходимость, блочно-иерархического подхода,
- деление процесса проектирования на этапы;
- деление на уровни представления об объектах.

Дадим определение сложной системы.

СЛОЖНАЯ СИСТЕМА-система, обладающая, по крайней мере, одним из перечисленных признаков:

а) допускает разбиение на подсистемы, изучение каждой из которых, с учетом влияния других подсистем в рамках поставленной задачи, имеет содержательный характер;

б) функционирует в условиях существенной неопределенности и воздействие среды на нее обуславливает случайный характер изменения ее параметров или структуры;

в) осуществляет целенаправленный выбор своего поведения.

Процесс их проектирования характеризуется высокой размерностью решаемых задач, наличием большого числа возможных вариантов, необходимостью учета разнообразных факторов.

В основе проектирования сложных систем лежит блочно-иерархический подход. Сущность блочно-иерархического подхода состоит в уменьшении сложности решаемой проектной задачи. Это осуществляется за счет выделения ряда уровней абстрагирования, которые различаются степенью детализации представлений об объекте. Например, компоненты объекта, рассматриваемые как элементы на некотором уровне с номером  $k$ , описываются как подсистемы на соседнем уровне с номером  $k + 1$ .

Рассмотрим АСПЕКТЫ описания объекта.

Аспекты могут быть:

- функциональные;
- конструкторские;
- технологические.

Функциональные аспекты можно разделить на:

- системные;
- функционально-логические;
- схемотехнические;
- компонентные.

На системном уровне в качестве систем выделяют комплексы. Примером комплекса может быть ЭВМ. В качестве элементов выделяют блоки

(устройства) аппаратуры, процессор, модем.

На функционально-логическом уровне эти блоки рассматривают как системы, состоящие из элементов. Элементами, являются функциональные узлы-дешифраторы, усилители, модуляторы и др.

На схемотехническом уровне функциональные узлы описываются как системы, состоящие из элементов электронных схем - транзисторов, конденсаторов, резисторов и др.

На компонентном уровне рассматриваются процессы, которые имеют место в схемных компонентах.

Конструкторскому аспекту присуща своя иерархия компонент. Она включает различные уровни описания рам, стоек, панелей, типовых элементов замены, дискретных компонент и микросхем, топологических фрагментов функциональных ячеек и отдельных компонент в кристаллах интегральных микросхем.

## **1.2 Этапы, процедуры и операции проектирования**

Процесс проектирования делится на этапы.

**ЭТАП ПРОЕКТИРОВАНИЯ** условно выделенная часть процесса проектирования, состоящая из одной или нескольких проектных процедур. Обычно этап включает процедуры, которые связаны с получением описания в рамках одного аспекта и одного или нескольких уровней абстрагирования.

Иногда в процессе проектирования выделяют ту или иную последовательность процедур под названием “маршрут проектирования”.

Этапы в свою очередь, делятся на процедуры и операции.

**ПРОЦЕДУРА** - формализованная совокупность действий, выполнение которых заканчивается проектным решением.

**ПРОЕКТНОЕ РЕШЕНИЕ** - промежуточное или окончательное описание объекта проектирования, необходимое и достаточное для рассмотрения и определения дальнейшего направления или окончательного проектирования.

При проектировании возможны различные последовательности выполнения процедур и этапов.

Различают два способа проектирования (два типа маршрутов):

восходящее проектирование,

нисходящее проектирование.

Восходящее проектирование (снизу-вверх) имеет место, если проектируются типовые объекты, предназначенные для использования в качестве элементов во многих объектах на более высоких уровнях иерархии.

Нисходящее проектирование охватывает те уровни, на которых проектируются объекты, ориентированные на использование в качестве элементов в одной конкретной системе.

Проектированию свойственен итерационный характер. При этом приближение к окончательному варианту осуществляется путем многократного выполнения одной и той же последовательности процедур с корректировкой исходных данных. Итерации могут охватывать различные части проектиро-



вания, включающие как несколько операций, так и несколько этапов.

На рис.1.1 изображен процесс проектирования в виде совокупности основных этапов и переходов между ними, показаны основные виды документации, получаемые при выполнении этапов.

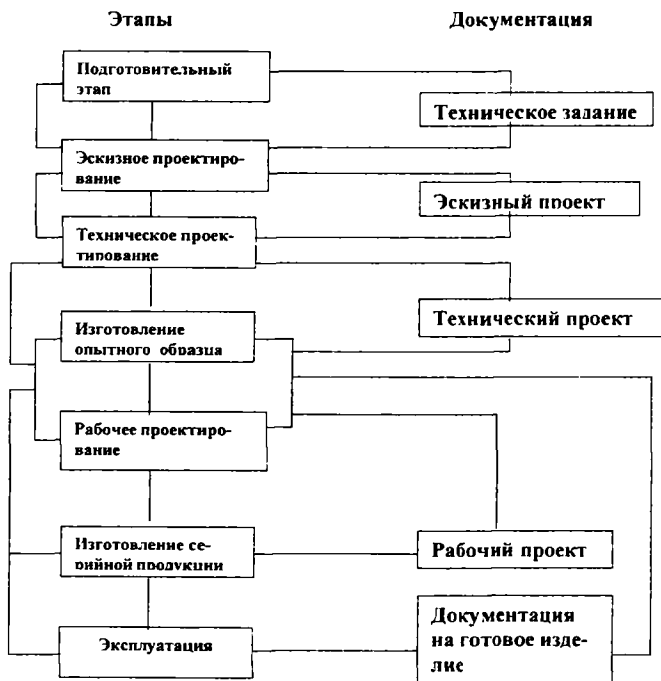


Рис.1.1 Этапы проектирования и выпускаемая документация.

Последовательность прохождения этапов разработки изделия, цели и задачи, стоящие перед проектировщиками на отдельных этапах, состав проектной документации и требования к ней регламентированы соответствующими ГОСТами. Кратко охарактеризуем основные этапы проектирования.

#### Подготовительный этап

Основная задача - изучение назначения изделия, условий эксплуатации и производств, на которых предполагается его изготовление. Цель этапа - разработка технического задания (ТЗ), в котором содержится информация о назначении, основных технических характеристиках, условиях эксплуатации, транспортировки и хранения.

#### Эскизное проектирование

Основная задача - определение возможности разработки изделия в соответствии требованиям ТЗ. При этом определяют техническую основу изделия (физические элементы и детали), ориентировочную оценку состава и количества оборудования, разрабатывают структуру, определяют технические характеристики изделия и устройств, входящих в его состав.

При этом может выявиться невозможность построения изделия, отвечающего требованиям ТЗ. В этом случае требуется корректировка ТЗ с последующим его утверждением заказчиком, либо дальнейшая разработка прекращается.

### Техническое проектирование

Задачи:

- подробная разработка принципа работы изделия и всех его составных блоков;
- уточнение технических характеристик;
- разработка конструкции блоков, узлов и всего изделия;
- получение конструкторских характеристик;
- согласование взаимодействия всех составных частей изделия;
- разработка технологии их изготовления;
- определение технологии сборки и наладки, методики и программы испытаний.

В результате должно быть подготовлено производство опытного образца.

### Рабочее проектирование

Основная задача - разработка технологической оснастки и оборудования для серийного выпуска изделия.

Внедрение систем автоматизированного проектирования (САПР) не изменяет сути процесса проектирования. Тем не менее, характер деятельности разработчика с внедрением САПР существенно меняется, так как разработка изделия в автоматизированном варианте предполагает согласованное взаимодействие оператора и ЭВМ. Это обеспечивает существенное повышение производительности труда и повышение качества проекта.

В процессе автоматизированного проектирования на оператора возлагаются творческие функции. Как правило, это связано с выбором варианта решения, определения структуры, метода расчета и др. Эти функции трудно формализовать. Здесь опыт и талант конструктора, инженера определяют конечный результат.

ЭВМ поручают рутинную работу. Перечислим ее основные виды:

- хранение и накопление в машинном архиве сведений, необходимых разработчику;
- поиск и выдача информационных справок по запросам пользователя (типовые решения, характеристики узлов, рекомендации по применению, сведения об уровне запасов комплектующих материалов и др.);
- обеспечение редактирования текстовой конструкторской документа-

ции, создаваемой инженером;

- автоматическое вычерчивание графической документации (чертежи деталей, схемы электрические и др.);

- решение некоторых частных, хорошо алгоритмизированных задач, которые характерны для автоматизированного проектирования определенного класса изделий.

Применительно к машиностроению хорошо алгоритмизированными задачами являются следующие:

- моделирование поведения того или иного узла по описанию его принципиальной схемы при заданном входном воздействии,

- трассировка соединений на этапе конструирования,

- расчет тепловых режимов узлов и аппаратов и др.

Автоматизированное проектирование изделия заканчивается изготовлением конструкторской документации и управляющих программ на машинных носителях. На завершающих этапах проектирования вносятся технологические дополнения и коррекции. Далее изготавливается пробный образец. После его анализа осуществляется аттестация проекта. Это обеспечивается на основе введения автоматизированных производственных линий в состав технологического комплекса.

Аттестованные машинные носители с управляющими программами в дальнейшем копируются. На их основе выполняется перестройка исполнительного оборудования на изготовление другого изделия. Отмеченное является одним из основных условий реализации гибкого автоматизированного производства.

### **1.3 Структура, виды обеспечения и уровни САПР**

#### Подсистемы САПР

В зависимости от отношения к объекту проектирования проектирующие подсистемы делят на:

- объектно-ориентированные,

- объектно-независимые.

Выделяют подсистемы проектирующие и обслуживающие. Проектирующие подсистемы выполняют проектные процедуры и операции. Обслуживающие подсистемы предназначены для поддержания работоспособности объектно-ориентированных подсистем. В объектно-ориентированных подсистемах выполняются процедуры и операции, непосредственно связанные с конкретным типом объектов проектирования; в объектно-независимых унифицированные процедуры и операции.

Примеры проектирующих подсистем.

- подсистема проектирования деталей и сборочных единиц,

- подсистема проектирования топологии больших интегральных схем (БИС),

- подсистема технологического проектирования.

Примеры обслуживающих подсистем:

- подсистема графического отображения объектов проектирования,

- подсистема документирования,
- подсистема информационного поиска.

### Виды обеспечения САПР

В САПР выделяют следующие виды обеспечения:

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

Методическое обеспечение – документы, в которых определены состав, правила отбора и эксплуатации средств автоматизации проектирования.

Математическое обеспечение - совокупность математических методов и моделей, необходимых для выполнения процесса автоматизированного проектирования.

Программное обеспечение - совокупность программ, представленных в заданной форме, вместе с программной документацией.

Техническое обеспечение - совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств для ввода, хранения, переработки, передачи программ и данных, организации общения оператора с ЭВМ, изготовления проектной документации.

Информационное обеспечение - совокупность представленных в заданной форме сведений, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования, в том числе описания стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, типовых элементов, комплектующих изделий, материалов и др.

Организационное обеспечение - совокупность документов, определяющих состав проектной организации и ее подразделений, их функции, связи между ними и комплексом средств автоматизации.

### Уровни САПР

Техническое обеспечение современных САПР имеет иерархическую структуру. Принято выделять следующие уровни:

Центральный вычислительный комплекс предназначен для решения сложных задач проектирования. Представляет собой ЭВМ средней или высокой производительности с типовым набором периферийных устройств. Возможно расширение этого набора некоторыми средствами обработки графической информации. Для повышения производительности в ЦВК могут использоваться многопроцессорные или многомашинные комплексы.

АРМы предназначены для решения сравнительно несложных задач и организации эффективного общения пользователя САПР с комплексом технических средств. Включает в свой состав мини-ЭВМ и (или) микро-ЭВМ, графические и символьные дисплеи, координатосъемщики, устройства сим-

вольного и графического документирования и другие с соответствующим базовым и прикладным программным обеспечением. Для некоторых АРМ характерен интерактивный режим работы с обработкой графической информации.

Комплекс периферийного программно - управляющего оборудования предназначен для получения конструкторско-технологической документации и управляющих программ на машинных носителях для исполнительных технологических автоматов. В его составе исполнительное программно - управляющее оборудование, средства диалогового взаимодействия. В составе ЭВМ с большим объемом внешней памяти. Подобные комплексы обычно называют технологическими. На данном оборудовании решаются задачи редактирования, тиражирования, архивного сопровождения документации и др.

Наличие указанных уровней приводит к соответствующей структуре программного и информационного обеспечения САПР. В результате уровни ЦВК, АРМ и ТК, первоначально выделяемые как уровни технического обеспечения, становятся уровнями САПР.

Существующие САПР делятся на одно-, двух- и трехуровневые. в одноуровневых САПР, построенных на основе ЦВК, выполняются процедуры, характеризующиеся высокой трудоемкостью вычислений при сравнительно малых объемах исходных данных. В одноуровневых САПР на основе АРМ выполняются процедуры, в которых объемы вычислений и выпускаемой документации сравнительно невелики. В одноуровневых технологических комплексах содержание проектной документации определяется в результате неавтоматизированного проектирования, а изготовление ее автоматизировано. При этом объем выпускаемой документации может быть большим.

В двухуровневых САПР возможны сочетание ЦВК-АРМ, ЦВК-ТК, АРМ-ТК.

В наибольшей степени возможности автоматизированного проектирования сложных объектов реализуются в трехуровневых САПР, включающих ЦВК, АРМы и ТК.

#### **1.4 Комплексование технических средств САПР**

Комплектование технических средств САПР производится на основе следующих требований:

- полноты,
- унификации,
- расширяемости,
- резервируемости,
- экономичности разработки и эксплуатации,
- эксплуатационного удобства и технологичности.

Полнота технических средств означает наличие в САПР набора технических средств всех групп для выполнения операций по всему циклу автоматизированного проектирования.

Унификация технических средств означает использование однотип-

ных единиц оборудования для выполнения одних и тех же функций на различных уровнях САПР.

Расширяемость (открытость) технических средств означает возможность количественных и качественных изменений в составе технических средств по изменению требований к производительности и степени автоматизации проектирования, а также появления новых более совершенных типов оборудования.

Резервируемость технических средств реализуется дублированием тех или иных средств и позволяет снизить влияние их сбоев и отказов на функционирование САПР. Избыток технических средств не только повышает живучесть САПР, но и является обязательным условием успешной обработки потока задач, интенсивность которого изменяется во времени.

Экономичность разработки технических средств позволяет удешевить создание и внедрение САПР за счет последовательного многоэтапного ввода оборудования и наращиванием мощности САПР с небольшим опережением относительно роста текущих потребностей.

Экономичность эксплуатации технических средств позволяет снизить непроизводительные потери за счет сочетания режимов реального времени с пакетной обработкой, коллективного использования рабочих мест.

Эксплуатационное удобство технических средств позволяет увеличить производительность разработчика и снизить уровень ошибок при взаимодействии оператора с ЭВМ за счет совершенства программно-аппаратного обеспечения. Технологичность технических средств характеризуется степенью соответствия состава оборудования перечню проектных операций, свойственных применяемой технологии проектирования заданного объекта.

В соответствии с этими требованиями в последнее время признаны наиболее целесообразными САПР из унифицированных модулей. Они имеют достаточно развитые технические и базовые программные средства. В составе периферийных модулей широкое распространение получили "интеллектуальные терминалы" и "инженерные графические станции", создаваемые на основе микропроцессорных вычислительных средств.

## ГЛАВА 2

### ЭВМ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ И АРМЫ

Любая форма человеческой деятельности, либо процесс функционирования технического объекта связаны с передачей и преобразованием информации.

Одно из важнейших положений кибернетики состоит в том, что без информации и её переработки невозможны организованные системы, какими являются живые организмы и искусственные, созданные человеком технические системы.

Информацией называют сведения о тех или иных явлениях природы, событиях в общественной жизни и процессах в технических устройствах. Информация, воплощенная и зафиксированная в некоторой материальной форме, называется сообщением. Например, при планировании и управлении производством собираются и обрабатываются сведения (сообщения) о потребностях в той или иной продукции, ресурсах рабочей силы, сырья и материалов, производительности станков и другого оборудования и вырабатываются соответствующие управляющие решения.

Сообщения могут быть непрерывными и дискретными (цифровыми).

Непрерывное (аналоговое) сообщение представляется некоторой физической величиной (электрическим напряжением, током и др.), изменения которой во времени отображают протекание рассматриваемого процесса, например изменения температуры в нагревательной печи. Физическая величина, передающая непрерывное сообщение, может в определённом интервале принимать любые значения и изменяться в произвольные моменты времени. Для дискретных сообщений характерно наличие фиксированного набора элементов, из которых в некоторые моменты времени формируются различные последовательности. Важным является не физическая природа элементов, а то обстоятельство, что набор элементов конечен и поэтому любое дискретное сообщение конечной длины передаёт конечное число значений некоторой величины.

Элементы, из которых состоит дискретное сообщение, называют буквами или символами. Набор этих букв образует алфавит. Здесь под буквами в отличие от обычного представления понимаются любые знаки (обычные буквы, цифры, знаки препинания, математические и прочие знаки), используемые для представления дискретных сообщений. При дискретной форме представления информации отдельным элементам её могут быть присвоены числовые (цифровые) значения. В таких случаях говорят о цифровой (числовой) информации.

Передача и преобразования дискретной информации любой формы (например, обычного текста, содержащего обычные буквы и цифры) могут быть сведены к эквивалентной передаче и преобразованию цифровой информации. Более того, возможно с любой необходимой степенью точности непрерывные сообщения заменять цифровым путём квантования непрерывного

сообщения по уровню и времени. Таким образом, любое сообщение может быть представлено в цифровой форме.

Электронные вычислительные машины или компьютеры являются преобразователями информации. В них исходные данные задачи преобразуются в результат её решения. В соответствии с используемой формой представления информации машины делятся на два класса: непрерывного действия - аналоговые и дискретного действия - цифровые.

В силу универсальности цифровой формы представления информации цифровые ЭВМ представляют собой наиболее универсальный тип устройства обработки информации.

Внедрение ЭВМ оказало большое влияние на многие области науки и техники, вызвало процесс их математизации и компьютеризации.

Эффективность применения средств вычислительной техники (СВТ) определяется техническим совершенством аппаратной части электронных вычислительных машин (ЭВМ) и вычислительных систем (ВС), качеством программного обеспечения (ПО) и квалификацией персонала, эксплуатирующего СВТ.

В табл. 2.1 представлены данные, характеризующие развитие аппаратной части и общего программного обеспечения ЭВМ.

Быстродействие ЭВМ и Ъ постоянно возрастает с экспоненциальной скоростью за счет, как совершенствования элементной базы, так и создания принципиально новых вычислительных структур. На сегодняшний день наряду с созданием супер-ЭВМ с пиковой производительностью до  $10^{12}$ - $10^{15}$  фвоп (фвоп - количество операций с числами с плавающей запятой выполненных за 1 секунду), разрабатываются вычислительные средства кластерного типа, объединяющие в сети ЭВМ различной мощности: ПЭВМ, рабочие станции и т.д.

Таблица 2.1

Характеристика поколений ЭВМ и общего программного обеспечения

Поколение ЭВМ	Год Выпуска	Элементная база	Объем ОЗУ	Быстродействие, оп/с	Общее ПО АРП	Общее ПО УФ	Сфера применения	Примеры ЭВМ
I	Начало 50-х г.г	Электронные Лампы	4К слов	1 - 10 тыс.	-	-	Научно-технические расчеты	БЭСМ-1,2 М-2,3,20 Урал-1,2 Минск-1 Стрела
II	Конец 50-х г.г	Полупроводниковые приборы	32К слов	50 - 100 тыс.	BASIC, FORTRAN, ALGOL, COBOL	+	-- " -- планово-экономические задачи, управление технологическими процессами	БЭСМ-3,4 М-220.222 Минск-22,32 Урал-14,16 Мир-1,2,3 Раздан Наири



III	Конец 60-х г.г	Интегральные микросхемы (ИС)	Сотни Кбайт	Единицы млн.	-- " -- PL/I, C, PASCAL, PROLOG и т.п.	+	-- " -- системы ИИ, локальные сети	IBM/360 IBM/370 ЕС ЭВМ I,II СМ ЭВМ
IV	Середина 70-х г.г.	Большие ИС (БИС); сверх-большие ИС (СБИС)	Десятки Мбайт	Сотни млн.	-- " -- DELPHI, EBONY, JAVA и т.п.	+	-- " -- экспертные системы, глобальные сети	ЕС ЭВМ III VAX IBM PC Apple- Macintosh
V	Конец 90-х г.г	-- " -- опто-электроника; молекулярная память и т.п.	Сотни Мбайт	До 100 млрд.	Любое	+	-- " --	

### Основные области применения вычислительной техники и основные типы ЭВМ

Развитие вычислительной техники, сферы и методов ее использования - процессы взаимосвязанные и взаимообусловленные. С одной стороны, потребности народного хозяйства, науки и культуры стимулируют поиски учеными и конструкторами новых путей построения ЭВМ, а с другой стороны, появление электронных вычислительных машин, систем и устройств с большими функциональными возможностями, с существенно улучшенными показателями по производительности, стоимости, габаритным размерам, надежности и т.п., создает предпосылки для непрерывного расширения областей и развития форм применения ЭВМ.

Первоначально сравнительно узкая сфера применения ЭВМ, главным образом для научных и технических расчетов, в короткий срок существенно расширялась и охватила почти все области науки, техники, планирования и управления производством, контроля и управления технологическими процессами, все области человеческой деятельности, связанные с обработкой больших объемов информации.

Разнообразие областей и форм использования ЭВМ породило широкий спектр требований к характеристикам и особенностям организации машин и систем. В результате к настоящему времени определились основные типы ЭВМ, которые при сохранении (в основном) указанных в 2 фундаментальных принципов существенно разнятся не только по количественным характеристикам, но и по архитектуре, электронно-технологической базе и используемым периферийным устройствам.

Основные средства современной вычислительной техники можно классифицировать следующим образом: сверхпроизводительные ЭВМ и системы (суперЭВМ), ЭВМ общего назначения, малые ЭВМ, микроЭВМ, персональные компьютеры, микропроцессоры.

## 2.1 Классификация вычислительных систем

Стремление удовлетворить требования разнообразных областей и форм применения электронной вычислительной техники, повысить производительность и расширить логические возможности ЭВМ, повысить надежность их функционирования, облегчить контакты человека с ЭВМ при подготовке программ и в процессе решения задач, повысить обслуживаемость машин привело в ряде случаев к созданию таких объектов вычислительной техники, которые из-за сложности входящего в них оборудования, тесной логической взаимосвязи аппаратурных и программных средств при реализации сложных процессов функционирования, множества возможных конфигураций, территориальной рассредоточенности оборудования не укладываются в наше представление о понятии машина. В таких случаях вместо термина вычислительная машина пользуются термином вычислительная система.

Одним из важнейших путей повышения производительности вычислительных машин и систем, их эффективности и надежности является использование различных форм параллелизма в функционировании вычислительного оборудования. Поэтому в основу классификации ВС следует положить в первую очередь, реализуемую форму параллелизма. По режиму работы ВС делятся на однопрограммные и мультипрограммные. В однопрограммной системе в памяти машины присутствует только одна рабочая программа (или часть ее), которая, начав выполняться, завершается до конца. При этом даже если допускается совмещение во времени операции ввода-вывода с обработкой данных возможен простой оборудования (например, машина не может продолжать работу пока не будут введены новые данные). Стремление повысить эффективность использования вычислительного оборудования привело к разработке мультипрограммных машин и систем, которые могут одновременно выполнять несколько программ или несколько частей одной и той же программы. Когда говорится об одновременности выполнения программ, то подразумевается, что процессор после выполнения части одной программы может перейти к выполнению другой программы, не закончив ее, перейти к третьей и т.д., сохраняя возможность вернуться позднее к неоконченным программам и продолжить их выполнение. При этом моменты и очередность переключений программ должны быть выбраны так, чтобы повысить общую эффективность вычислительной системы, хотя время, в течение которого решается каждая отдельная задача, по сравнению со временем в однопрограммном режиме может даже увеличиться. Мультипрограммный режим реализуется и по отношению к частям одной программы, что приводит к сокращению времени ее выполнения по сравнению со временем, когда режим мультипрограммирования не используется.

### Классификация систем по режиму обслуживания.

Процесс решения задачи может рассматриваться как обслуживание пользователя ВС. Рассмотрим основные режимы обслуживания.

Режим индивидуального пользования. Машина предоставляется полностью в распоряжение пользователя, но крайней мере на время решения его задачи. Пользователь имеет непосредственный доступ к машине и может вводить информацию в оперативную память машины (или выводить из нее), используя устройства ввода-вывода. Режим индивидуального пользования удобен пользователю, но в этом режиме плохо используется вычислительное оборудование из-за простоев, когда пользователь, получив некоторый промежуточный результат (например, при отладке программы), обдумывает, что он будет делать дальше. Этот режим применялся в ЭВМ первого поколения, а в настоящее время возродился как форма использования персональных компьютеров. Режим пакетной обработки. В этом режиме пользователи не имеют непосредственного доступа к ВС. Подготовленные ими программы передаются персоналу, обслуживающему систему, и затем накапливаются во внешней памяти (на магнитных дисках, лентах и т.п.). Система последовательно либо по заранее составленному расписанию выполняет накопленный пакет программ.

Пакетная обработка может производиться в однопрограммном и мультипрограммном режимах. Мультипрограммная пакетная обработка обеспечивает высокую степень загрузки вычислительного оборудования, но при этом из-за отсутствия непосредственной связи между системой и пользователем производительность и эффективность труда самих пользователей снижаются по сравнению с индивидуальным обслуживанием. Это противоречие преодолевается путем создания систем коллективного пользования, содержащих высокопроизводительные ЭВМ, или, наоборот, путем применения персональных ЭВМ умеренной производительности в режиме индивидуального пользования. Режим коллективного пользования или многопользовательский режим - форма обслуживания, при которой возможен одновременный доступ нескольких независимых пользователей к вычислительным ресурсам мощной ВС. Каждому пользователю предоставляется терминал, с помощью которого он устанавливает связь с системой коллективного пользования (ВСКП). В наиболее простых ВСКП обработка всех запросов занимает примерно одно и то же время (системы типа "запрос - ответ"). Обеспечение более тесного взаимодействия пользователей с вычислительными средствами в системе коллективного пользования, в которой запросы сильно разнятся по времени их обработки, требует в первую очередь сокращения времени ожидания пользователем результата выполнения коротких программ (коротких запросов), для чего применяются различные методы квантования времени, уделяемого процессором для выполнения отдельных программ. Системы коллективного пользования с квантованным обслуживанием называются системами с разделением времени. По количеству процессоров (машин) в ВС, определяющему возможность параллельной обработки программ, ВС делятся на однопроцессорные (одномашинные), многомашинные и многопроцессорные.

Многомашинные и многопроцессорные ВС создаются для повышения производительности и надежности вычислительных систем и комплексов.

По особенностям территориального размещения и организации взаимодействия частей системы различают следующие типы ВС. Сосредоточенные ВС. В этих системах весь комплекс оборудования, включая терминалы пользователей, сосредоточен практически в одном месте и связь между отдельными машинами и устройствами комплекса обеспечивается, причем без существенного запаздывания, стандартными для системы внутренними интерфейсами (без использования передачи данных по каналам связи). Вычислительные системы с телеобработкой (или теледоступом). В этих ВС отдельные источники и приемники информации, включая терминалы пользователей, расположены на таком значительном расстоянии от вычислительных средств, что связь их с центральными средствами ВС осуществляется путем передачи данных по каналам связи.

Вычислительные сети (сети ЭВМ) представляют собой территориально рассредоточенную многомашинную систему, состоящую из взаимодействующих ЭВМ, связанных между собой каналами передачи данных.

По особенностям функционирования ВС во времени различают ВС, работающие не в масштабе реального времени, и ВС реального времени. Последние должны работать в темпе с процессом, информация о котором автоматически поступает в ВС и обрабатывается. Результаты обработки информации должны получаться столь быстро, чтобы можно было ими воспользоваться для воздействия на сам процесс.

Вычислительные системы различаются по назначению следующим образом:

- информационно-справочные;
- сбора и обработки данных в автоматизированных системах, в частности информационно-планирующие;
- управления технологическими процессами в реальном времени;
- автоматизации обработки данных при сложных экспериментах;
- автоматизации проектирования и др.

Многие применения ВС, например автоматизация проектирования, требуют, чтобы поиск решений задач осуществлялся в режиме взаимодействия человека с машиной.

Проблемная ориентация ВС достигается соответствующей конфигурацией аппаратурных средств и укомплектованием их соответствующим проблемно-ориентированным программным обеспечением.

## 2.2. Архитектура аппаратных средств

*Архитектура вычислительной системы* — общая логическая организация цифровой вычислительной системы, определяющая процесс обработки данных в конкретной вычислительной системе и включающая методы кодирова-

ния данных, состав, назначение, принципы взаимодействия технических средств и программного обеспечения.

Построение вычислительных машин основано на трех принципах:

- принцип цифрового представления данных (чисел, команд, обозначение операций, букв, слов и т.д.). Единицами данных в ЭВМ являются бит, байт, слово и т.п.;
- принцип адресности данных, согласно которого все данные и любые объекты программы хранятся в ячейках памяти, имеющих адрес;
- принцип программного управления (Ч.Баббидж, 1834 г.), сущность которого состоит в том, что управление вычислительным процессом осуществляется с помощью программы, находящейся в памяти ЭВМ.

Все универсальные вычислительные машины, в том числе и персональные компьютеры, имеют структуру, показанную на рис 2.1, где обозначено: АЛУ - арифметическо-логическое устройство; УУ - устройство управления; ВУ - внешние устройства; ОЗУ - оперативное запоминающее устройство.

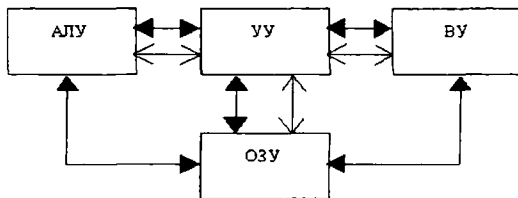


Рис. 2.1. Общая структура универсальной ЭВМ

Впервые такую структуру вычислительных машин предложил Джон фон Нейман в 1945 г., поэтому ЭВМ со структурой рис.2.1 называют машинами фон Неймана. Чтобы компьютер был универсальным и эффективным устройством для обработки информации, он должен иметь следующие основные устройства:

- *арифметическо-логическое устройство*, выполняющее арифметические и логические операции;
- устройство управления, предназначенное для организации процесса выполнения программ;
- оперативное запоминающее устройство (оперативная память) для хранения программ и данных;
- внешние устройства для ввода/вывода информации.

Конкретная аппаратная реализация схемы рис.2.1 изменялась от поколения к поколению ЭВМ. Например, в современных компьютерах АЛУ и УУ объе-

динены в единое устройство - *центральный процессор*. Кроме того, выполнение программ может прерываться для выполнения неотложных действий или для реакции на какие-либо события, связанные с внутренними или внешними причинами. Для этого в ЭВМ ввели *систему прерываний*. Появились многопроцессорные ЭВМ, позволяющие осуществлять параллельную обработку данных в компьютере. Тем не менее, функциональная структура существующих компьютеров в основном соответствует структуре машины фон Неймана.

Большинство из выпускаемых сейчас компьютеров выполнено в соответствии с принципом *открытой архитектуры*, впервые примененном в персональной ЭВМ IBM PC (фирма IBM, 1981г.). В отличие от предшествующих моделей ПК в IBM PC была заложена возможность усовершенствования его отдельных частей и использования новых устройств. Компьютер перестал быть отдельным неразъемным устройством. В IBM PC была обеспечена возможность его сборки из независимо изготовленных частей, причем методы сопряжения отдельных устройств в нем доступны всем желающим. Открытость архитектуры IBM PC привела к появлению множества производителей "IBM PC - совместимых компьютеров", что стало причиной не только снижения их цен на ПК, но и повышения их качества.

### 2.3. Архитектура персонального компьютера

Персональный компьютер содержит следующие обязательные части (см. рис.2.2):

- системный блок;
- клавиатуру;
- монитор (дисплей).

Клавиатура и монитор подключаются к системному блоку с помощью специальных кабелей. К системному блоку могут быть подключены также другие *внешние* устройства. Например, принтер, манипулятор "мышь", манипулятор "трекбол", манипулятор "джойстик", сенсорная панель, модем или факс-модем, аудиосистема и т.п.

Системный блок содержит:

- основную электронную плату компьютера, называемую *системной* или *материнской* платой;
- блок питания;
- внутренний динамик;
- накопители (дискетоды) для гибких магнитных дисков;
- накопители на жестких магнитных дисках ("винчестеры").

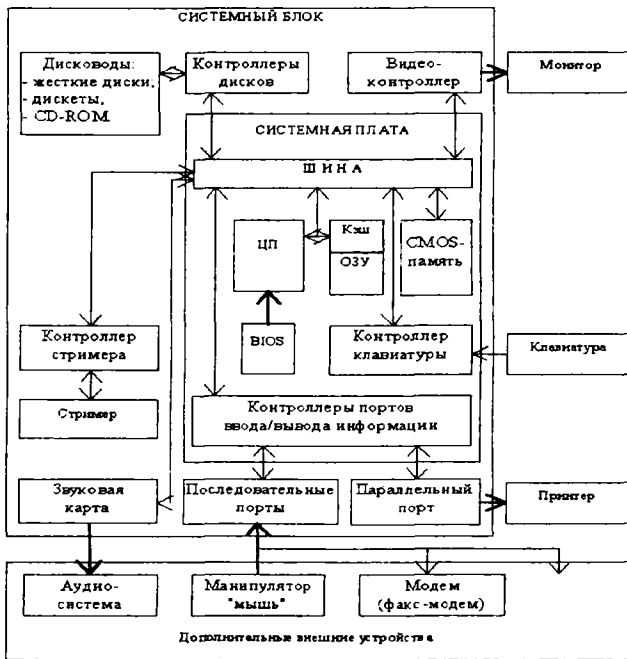


Рис.2.2. Архитектура персонального компьютера

Внутри системного блока могут быть размещены и другие *внутренние* устройства, например, дополнительные накопители на жестких магнитных дисках, модем или факс-модем (внутреннего исполнения), электронные схемы для подключения компьютера к локальным или глобальным сетям ЭВМ (сетевые адаптеры), дисковод компакт-дисков, стример, звуковая карта и т.п. На системной плате компьютера размещены:

- центральный процессор (ЦП), выполненный в виде *микроспроцессора* (МП);
- постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) с базовой системой ввода/вывода;
- перезаписываемая память для хранения параметров конфигурации машины;
- оперативное запоминающее устройство (ОЗУ);
- кэш-память;
- системная магистраль передачи данных;
- контроллер клавиатуры;
- контроллеры портов ввода/вывода информации;

- стандартные разъемы для подключения контроллеров внутренних и внешних устройств (монитора, жестких и гибких дисков, портов ввода/вывода и т.п.).

Рассмотрим основные аппаратные компоненты ПК, размещенные на системной плате.

- центральный процессор (ЦП), выполненный в виде *микроспроцессора* (МП);
- постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) с базовой системой ввода/вывода;
- перезаписываемая память для хранения параметров конфигурации машины;
- оперативное запоминающее устройство (ОЗУ);
- кэш-память;
- системная магистраль передачи данных; контроллер клавиатуры;
- контроллеры портов ввода/вывода информации;
- стандартные разъемы для подключения контроллеров внутренних и внешних устройств (монитора, жестких и гибких дисков, портов ввода/вывода и т.п.).

Рассмотрим основные аппаратные компоненты ПК, размещенные на системной плате.

#### 2.4. Основные аппаратные компоненты ПК

*Микропроцессор и сопроцессор.* В компьютерах IBM PC и совместимых с ними используются следующие микропроцессоры фирмы Intel: Intel-8088, 80286, 80386 модификаций SX и DX, 80486 модификаций SX, SX2, DX, DX2 и DX4, Pentium, Pentium Pro, Pentium MMX, Pentium Celeron, Pentium tualantin (МП перечислены в порядке возрастания производительности). Кроме того, широко применяются совместимые с ними микропроцессоры других фирм (AMD, Сугіх, IBM и др.).

Одинаковые модели МП могут иметь разную тактовую частоту. Понятно, что чем выше тактовая частота, тем выше производительность процессора, поскольку она указывает скорость выполнения элементарных операций внутри микропроцессора. Тактовая частота измеряется в мегагерцах (МГц). Например, МП Pentium выпускают с тактовой частотой от 75 до 2400 МГц. На микросхемах МП фирмы Intel тактовая частота указывается непосредственно сразу за моделью процессора, например, 80386DX-33, Pentium/75. Микропроцессоры других фирм могут иметь маркировку, отличающуюся от маркировки Intel. Например, МП AMD 5x86 аналогичен Intel 80486DX4, а не Pentium, поэтому AMD 5x86/133 по производительности схож лишь с Pentium/75.

Микропроцессоры Intel-8088, 80286, 80386 и 80486SX не обеспечивают аппаратную поддержку вычислений с вещественными числами. Поэтому к ним для этого требуется добавить *математический сопроцессор* типа Intel-8087,



80287, 80387 и 80487SX, соответственно. Новейшие МП фирмы Intel (80486DX, Pentium, Pentium Pro) и их аналоги других фирм имеют встроенную поддержку вычислений с вещественными числами, поэтому для них сопроцессоры не требуются.

Память. На системной плате ПК размещены четыре вида памяти (см.рис.1.2): оперативная память (ОЗУ), постоянная память (BIOS), полупостоянная память (CMOS) и кэш-память. Кроме того, на плате видеоадаптера находится дополнительная *видеопамять*.

*Оперативная память* (ОЗУ или RAM) является очень важным элементом компьютера. Именно из него процессор берет программы, исходные данные для обработки, в нее он записывает полученные результаты. Существует 4 вида оперативной памяти: SIMM, DIMM, RIMM, DDR. Емкость одной микросхемы SIMM памяти может составлять 1, 2, 4, 8, 16, 32 и 64 Мбайт. DIMM памяти может составлять 32, 64, 128, 256 Мбайт. DDR памяти может составлять 64, 128, 256, 512 Мбайт. RIMM памяти может составлять 128, 256, 512 Мбайт. Быстродействие микросхем памяти измеряется временем доступа к информации и составляет 60 или 70 нс (наносекунд,  $1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$ ). Системная плата имеет два или четыре слота для микросхем ОЗУ, так что ПК может иметь от 2 Мбайт до 2 Гбайт оперативной памяти.

*Постоянная память* (ПЗУ или BIOS) предназначена для хранения данных, заносимых в нее при изготовлении компьютера. Выполняемые на ПК программы не могут изменить содержимое этого вида памяти, однако чтение данных из нее возможно. В ПЗУ обычно хранятся программы для проверки оборудования, инициализации и загрузки операционной системы и выполнения функций по обслуживанию устройств компьютера. Поскольку основная часть этих программ связано с обслуживанием устройств ввода/вывода, содержимое ПЗУ называют BIOS. Некоторые устройства, например, видеоадаптеры или SCSI-контроллеры (для жестких магнитных дисков), содержат *расширения BIOS*, т.е. программы, корректирующие и дополняющие функции основной BIOS в соответствии с потребностями этих устройств. На многих современных ПК устанавливается BIOS на основе *флэш-памяти*. Содержимое такого вида памяти может быть изменено с помощью специальных программ, что позволяет производить обновление BIOS без замены материнской платы или микросхемы BIOS. Для предотвращения случайного изменения BIOS запись в эту память осуществляется только при предварительном снятии некоторой перемычки (джампера) на системной плате ПК. Во всех компьютерах в BIOS содержится также программа настройки конфигурации ПК (Setup).

*Полупостоянная память* (CMOS) предназначена для хранения параметров конфигурации компьютера. Содержимое CMOS-памяти не изменяется при выключении электропитания ПК, поскольку для ее электропитания используется специальный аккумулятор. Изменение параметров конфигурации выполняют с применением программ Setup, находящейся в BIOS.

*Кэш-память*, выполняемая в виде отдельной микросхеме, необходима для ускорения доступа процессора к данным, находящимся в ОЗУ. Она представ-

ляет собой сверхбыстродействующее ОЗУ, время доступа к которому в несколько раз меньше, чем к обычному ОЗУ. Кэш-память располагается как бы "между" МП и ОЗУ и хранит копии наиболее часто используемых участков оперативной памяти. При обращении процессора к памяти сначала производится поиск нужных данных в кэш-памяти и только потом (если в кэш-памяти их нет) - к ОЗУ. Объем кэш-памяти может составлять 64, 128, 256, 512 Кбайт; 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 Мбайт. Микропроцессоры серий 486 и Pentium содержат небольшую внутреннюю кэш-память. Поэтому в технической литературе для однозначности терминологии кэш-память, расположенную на системной плате, называют *кэш-памятью второго уровня* (level two cache, L2 cache). В микропроцессорах Pentium Pro кэш-память второго уровня содержится в одном корпусе с процессором, т.е. она встроена в микропроцессор.

Системная магистраль передачи данных (шина). Обычно современные ПК имеют две, а иногда и три шины разных типов. Это связано с тем, что разработанная в начале 80-годов шина ISA перестала удовлетворять по быстродействию существующим потребностям по обмену данными между высокоскоростными устройствами, появившимися в середине 80-х годов - жестких быстродействующих дисков, видеоконтроллеров и т.п. Сейчас шина ISA используется для подключения только низкоскоростных устройств (контроллеров портов ввода/вывода, звуковых карт и т.п.). Для подключения высокоскоростных устройств были разработаны и применяются более производительные шины - сначала MCA, EISA, VESA, потом PCI, затем AGP (Apply Group Policy). Сейчас большинство ПК оснащаются шинами PCI и ISA (обозначение: PCI/ISA). В шине PC, разработанной фирмой Intel, воплощены многие возможности, необходимые в современных компьютерах: независимость от типа микропроцессора, высокая производительность, автоматическая настройка подключаемых контроллеров, малая нагрузка на микропроцессор и т.д.

Контроллеры портов ввода/вывода информации. Одним из контроллеров, которые присутствуют практически в каждом ПК, является *контроллер портов ввода/вывода*. Часто этот контроллер интегрирован в состав материнской платы. Контроллер портов ввода/вывода соединяется кабелями с разъемами на задней стенке компьютера, через которые к нему подключаются внешние устройства. Порты ввода/вывода бывают следующих типов:

- параллельные (обозначаются LPT1-LPT4);  
последовательные (обозначаются COM1-COM3);  
игровой порт (имеет также название *game-port*) к его разъему подключается джойстик. Игровой порт имеется не во всех компьютерах.

Контроллер портов ввода/вывода поддерживает, как правило, один параллельный и два последовательных порта. Кроме перечисленных, в компьютере имеется также множество других (внутренних) портов ввода/вывода, которые используются для обмена данными между микропроцессором и контроллерами устройств.

## 2.5. Периферийные устройства и устройства внешней памяти персональных компьютеров

Клавиатура. Клавиатура предназначена для ввода в ПК информации от пользователя. Наиболее широко распространена так называемая улучшенная клавиатура с 101 или 102 клавишами. На некоторые клавиатуры помещают дополнительные клавиши для удобства работы с программами, например, с Windows.

Мониторы и видеоконтроллеры. Мониторы и видеоконтроллеры обеспечивают формирование и вывод на экран текстовой и графической информации. Монитор (дисплей) предназначен для *вывода* на экран текстовой и графической информации. Мониторы различаются:

- по цветности изображения (монохромные или цветные);
- по размеру экрана (от 14 до 21 дюйма по диагонали). Обычно применяются мониторы с размером экрана 14 и 17 дюймов;
- по размеру зерна, т.е. по расстоянию между центрами точек люминофора одного цвета (0,25-0,26 мм, 0,28 мм, 0,31 мм и более).

В документации к монитору указано, какие видеорежимы (режимы вывода изображения) он поддерживает. Каждый видеорежим характеризуется разрешением, а также частотами развертки (вертикальной и горизонтальной). *Разрешением* монитора называется количество точек по вертикали и горизонтали в передаваемом изображении. В современных мониторах применяется разрешение 640x 480, 800x600, 1024x768, и 1600x1200 точек. *Частотой развертки по вертикали* (частотой кадров) называют частоту управляющих сигналов, указывающих о необходимости перейти к изображению верхнего ряда точек. *Частотой развертки по горизонтали* (частотой строк) называют частоту управляющих сигналов, указывающих о необходимости перейти к изображению следующего ряда точек.

*Видеоконтроллер* (видео карта) обеспечивает *формирование* видеосигнала, показываемого затем монитором. Видеоконтроллер обычно выполняется на отдельной плате и вставляется в разъем системной шины ПК. Формирование видеоизображения осуществляется по командам от микропроцессора в служебной памяти видеоконтроллера - *видеопамяти*. Видеопамять формируется блоками по 512 Кбайт, 1, 2 и 4 Мбайт. Общее количество цветовых оттенков (цветов), воспроизводимых на экране монитора, ограничено, поскольку видеоконтроллер может запомнить в видеопамяти информацию о цвете для ограниченного количества точек. Существующие видео карты обеспечивают видеорежимы с  $16=2^4$ ,  $256=2^8$ ,  $32768=2^{15}$ ,  $65536=2^{16}$  и  $16777216=2^{24}$  цветами. Для описания цвета каждой точки в этих режимах требуется, соответственно, 4, 8, 15, 16, и 24 бита видеопамяти. На IBM PC-совместимых компьютерах видеоконтроллеры могут работать в различных режимах. Эти режимы бывают двух основных видов: текстовые и графические. В *текстовом режиме* экран монитора условно разбивается на отдельные участки - знакоместа, чаще всего на 25 строк и 80 столбцов. В каждое знакоместо может быть введен один из 256 заранее заданных символов. Для формирования изображения ка-

ждого символа видеоконтроллер использует матрицу точек фиксированного размера, например, 16x 8 точек. Совокупность этих матриц для всех 256 символов составляют шрифт (font). Для каждого знакоместа в видеоконтроллер передается два байта для описания цвета фона и цвета символа. Количество цветов, доступных в текстовом режиме, составляет для фона - 16, для символа - 8. Соответствие между кодами символов и их изображениями унифицировано и приводится в технической литературе в виде *таблиц кодировки символов*. В *графических режимах* на экран монитора выводится изображение в виде прямоугольной сетки точек, цвет каждой из которых задается отдельно. Количество выводимых по вертикали и горизонтали точек определяется разрешением монитора. Количество цветов, доступных для окрашивания точек графического изображения, зависит от объема видеопамати и разрешения монитора. Например, при разрешении монитора 800x 600=48000 точек и объеме видеопамати 1 Мбайт (1048576 байт) на описание цвета каждой точки может быть выделено 2 байта (1048576/48000x2,11), что дает возможность использовать 65536 оттенков цветов. В компьютерной литературе можно встретить термины CGA, EGA, VGA и SuperVGA (SVGA), которые обозначают названия видеостандартов, созданных фирмой IBM для цветных мониторов и адаптеров. Основные характеристики этих стандартов приведены в табл.2.2.

Таблица 2.2.

Основные характеристики видеостандартов IBM

Термин	Текстовые режимы	Графические режимы
CGA	80x 25, 16 цветов	640x 200, 2 цвета; 320x 200, 4 цвета
EGA	80x 25 и 80x 43, 16 цветов	640x 350, 16 цветов + все режимы CGA
VGA	80x 25 и 80x 50, 16 цветов	640x 480, 16 цветов; 320x 200, 256 цветов + все режимы CGA и EGA
SVGA	80x 25 и 80x 50, 16 цветов	800x 600 и более, 256 цветов и более + все режимы CGA, EGA и VGA

Некоторые видеоконтроллеры имеют дополнительные возможности. В частности, существуют видео карты, включающие в себя функции поддержки вывода видео роликов (тогда в их названии обычно имеется слово Video), работы с трехмерными изображениями (тогда в их названии может присутствовать обозначение 3D) и т.д. Бывают видеоконтроллеры, предоставляющие возможность вывода телевизионного изображения или иного видеосигнала в окне на экране монитора, вывод компьютерного изображения на экран телевизора, оцифровку и запись на диск отдельных кадров видеосигнала (получаемого от видеомагнитофона, видеокамеры и т.п.). Некоторые видеоконтроллеры сами не поддерживают эти возможности, но позволяют подключать соответствующие дополнительные платы.

Указательные устройства. Для работы с современными операционными системами и программами практически всегда обязательно использование так называемых *указательных устройств*, к которым относятся манипулятор "мышь", трекбол и трекпойнт, предназначенные для указания на элементы и изображения на экране монитора.

*Манипулятор "мышь"* (далее - просто мышь) является наиболее распространенным настольным указательным устройством. Конструктивно мышь выполняется в виде коробочки с двумя или тремя клавишами и шариком, соприкасающимся с поверхностью стола или коврика, по которому перемещают мышь. В соответствии с перемещением мыши при ее движении по поверхности происходит вращение шарика, передающееся через преобразователи (угол-код) в компьютер и вызывающее перемещение указателя мыши (курсора) на экране дисплея.

*Трекбол* представляет собой манипулятор, выполненный в виде шара на подставке, снабженной также двумя клавишами. Принцип действия трекбола такой же, как и у мыши, только вращение шарика осуществляет пользователем с помощью пальца. Трекболы бывают внешними (для настольных компьютеров), и встроенными (в портативных ПК).

*Трекпойнт* является по существу мини трекболом, встроенным в портативный компьютер. Шарик трекпойнта размещается на клавиатуре, как правило, между клавишами G, H и V. Клавиши трекпойнта размещены на передней панели клавиатуры.

Устройства хранения данных. Различные устройства для хранения данных различаются по своему интерфейсу, т.е. по типу контроллера, к которому они должны подключаться. В настоящее время применяются следующие интерфейсы:

- IDE (EIDE) наиболее широко используемый интерфейс, т.к. большинство компьютеров оснащено сейчас интерфейсом IDE или EIDE (Enhanced IDE - усовершенствованный IDE). Различие между IDE и EIDE состоит в том, что IDE-контроллеры, во-первых, ограничивают объем жесткого диска 528 Мбайтами, во-вторых, не поддерживают быстрые режимы передачи данных, реализованные в современных жестких дисках и, в-третьих, IDE-контроллеры позволяют подключать два устройства, а EIDE - четыре.

SCSI/ различные модели SCSI-контроллеров (Fast SCSI-2, Fast Wide SCSI-2, Ultra SCSI-2 и т.д.) применяются на компьютерах, используемых как серверы локальных сетей, в издательском деле, автоматизированных системах проектирования и других областях, требующих высокую скорость обмена большими массивами данных со многими внешними устройствами. SCSI-контроллеры имеют высокое быстродействие, широкий диапазон подключаемых устройств, возможность подключения до 7 (в некоторых вариантах - до 15 и 31) устройств на один контроллер, параллельное выполнение операций ввода/вывода с разными устройствами, средства контроля ошибок и т.д.

- *LPT* - так обозначаются устройства, подключаемые к параллельному порту. Поскольку параллельный порт работает медленно, то подключение к нему устройств хранения данных (стримеров, съемных дисков) целесообразно только в портативных ПК.

*Жесткие диски* (винчестеры) предназначены для постоянного хранения информации, используемой при работе компьютера, программ операционной системы, часто используемых пакетов прикладных программ и программ пользователя. Жесткие диски обеспечивают наиболее быстрый доступ к хранямым данным. Накопители на жестком диске отличаются следующими основными характеристиками:

- емкостью;
- быстродействием;
- интерфейсом.

*Емкость* диска, т.е. максимальное количество байт информации, помещающейся на диске - это его основная характеристика. На ПК устанавливаются жесткие диски емкостью 120, 210, 250, 500, 800 Мбайт, 1.3, 1.6, 2, 3, 4, 20, 40, 60, 80, 120 и более Гбайт (1Гбайт=1024Мбайт). Максимальная емкость жестких дисков в настоящее время - 160 Гбайт, однако, готовятся к выпуску диски большей емкости.

*Быстродействие* жесткого диска характеризуется двумя показателями: *временем доступа* к данным на диске (временем позиционирования головки) и *скоростью чтения/записи* данных (пропускной способностью ввода/вывода). Существующие жесткие диски имеют следующие характеристики быстродействия: "медленные" диски время доступа 12-20 мс, скорость чтения/записи 1.5-3 Мбайт/с; "быстрые" диски - время доступа 6-8 мс, скорость чтения/записи 4-5 Мбайт/с и более (до 30 Мбайт/с).

*Интерфейс*, т.е. тип контроллера, к которому должен подключаться жесткий диск, определяется емкостью и быстродействием диска. Для дисков с относительно небольшой емкостью и быстродействием применяют IDE- и EIDE-контроллеры. Для высокоскоростных дисков большой емкости используются SCSI-контроллеры.

*Дискетоды для дискет* предназначены для создания копий документов, программ, данных и другой информации, не используемой постоянно в компьютере, на гибких дисках (дискетах). В настоящее время наиболее распространены дискеты размером 3,5 и 5,25 дюйма, обозначаемые 3.5" и 5.25" и называемые "трехдюймовыми" и "пятидюймовыми", соответственно. Емкость дискет зависит от качества их изготовления. Маркировка диска: DS/DD (Double Side/Double Density) - двусторонняя запись/двойная плотность; DS/HD (Double Side/High Density) - двусторонняя запись/высокая плотность. Емкость 3.5" дискет составляет: DS/DD - 720 Кбайт; DS/HD - 1,44 Мбайт. Емкость 5.25" дискет составляет: DS/DD - 360 Кбайт; DS/HD - 1,2 Мбайт. В зависимости от типа дискеты различают дискетоды для пятидюймовых и трехдюймовых дискет. Скорость чтения (записи) информации с дискет составляет 20-60 Кбайт/с.

*Дисководы для компакт-дисков* позволяют считывать в компьютер информацию с компакт-дисков или проигрывать с помощью компьютера обычные компакт-диски. Компьютерный компакт-диск может содержать до 650 Мбайт информации. Дисководы для компакт-дисков отличаются друг от друга следующими основными характеристиками:

- быстродействием;
- интерфейсом;
- исполнением.

*Быстродействие* дисководов для компакт-дисков определяется временем доступа и скоростью чтения данных. Скорость чтения данных обычно указывают в виде отношения скорости вращения компьютерного компакт-диска к скорости вращения аудио компакт-диска. Современные дисководы имеют следующие значения этих показателей: время доступа - 0.1-0.4 с; скорость чтения данных: однокоростной дисковод - 150 Кбайт/с, двухкоростной - 300 Кбайт/с, четырехкоростной - 600 Кбайт/с и т.д.

*Интерфейс* компакт-диска - это тип контроллера, к которому он должен подключаться. Имеются следующие дисководы:

- с нестандартным (proprietary) интерфейсом типа Sony, Panasonic, Mitsumi и т.д.;
- с IDE- интерфейсом, подключаемые к контроллерам IDE (EIDE);
- с SCSI-интерфейсом, подключаемые к контроллерам типа SCSI, чаще всего - к Fast SCSI-2;
- внешние дисководы для портативных компьютеров, подключаемые через PC-карту или параллельный порт.

*Исполнение* дисковода для компакт-дисков бывает внутренним (для установки в компьютер) и внешним (в отдельном корпусе). IDE-дисководы бывают только внутренними.

Существуют так называемые CD-чейнджеры - дисководы с магазином, в который можно загрузить сразу несколько компакт-дисков. При обращении к любому из них CD-чейнджер автоматически устанавливает нужный диск в дисковод (если его там не было).

*Стримеры* предназначены для создания резервных копий больших массивов данных и представляют собой устройства для записи информации на кассеты (картриджи) с магнитной лентой. Стримеры подразделяются на три класса:

1. Стримеры низшего класса, предназначенные для индивидуальных пользователей, имеют относительно небольшую емкость (до 1 Гбайта) и невысокое быстродействие (500-800 Кбайт/с).
1. Стримеры среднего класса для рабочей группы, обычно устанавливаются на серверах локальных сетей. Они имеют емкость 2-8 Гбайт и быстродействие от 800 Кбайт/с до 3 Мбайт/с.
2. Стримеры высшего класса применяются для создания резервных копий очень больших объемов данных и имеют емкость более 8 Гбайт и быстродействие более 3 Мбайт/с.

Стримеры обычно подключаются с помощью интерфейса SCSI (Fast SCSI-2).

*Магнитооптические диски* являются новым и весьма перспективным способом создания резервных копий и представляют собой магнитный носитель, защищенный прозрачной пленкой. Запись информации осуществляется совместным действием луча лазера и магнитного поля, а чтение - только лазерным лучом. Магнитооптические диски выпускаются двух размеров - 3.5" и 5.25". Емкость магнитооптических дисков размером 3.5" составляет 230 и 640 Мбайт, а размером 5.25" - 1.3 или 2.6 Гбайт. Показатели быстродействия дисководов магнитооптических дисков следующие: для дисков 3.5" - время доступа 25-30 мс, скорость чтения 800 Кбайт/с, скорость записи 400 Кбайт/с; для дисков 5.25" - время доступа 15-17 мс, скорость чтения/записи 2-4 Мбайт/с. Вся работа с магнитооптическими дисками осуществляется так же, как и с жестким диском. Магнитооптические диски имеют, как правило, интерфейс SCSI, однако начали появляться и устройства с интерфейсом IDE.

Устройства вывода на печать. Для вывода информации на бумажный носитель применяются различного типа устройства печати. В больших вычислительных комплексах, например, на базе ЕС ЭВМ или СМ ЭВМ, применяются устройства с параллельной печатью строки - *алфавитно-цифровые печатающие устройства* (АЦПУ). В персональных компьютерах используются *принтеры*, позволяющие выводить на печать как текстовую, так и графическую информацию. В настоящее время распространены три вида принтеров: матричные, струйные, и лазерные.

*Матричные* (или *точечно-матричные*) принтеры осуществляют формирование изображения на бумаге с помощью вертикального ряда тонких металлических стержней (иголок), находящихся в печатающей головке, и различаются количеством иголок в печатающей головке (чем больше иголок, тем выше качество печати). При выводе на печать головка движется вдоль печатаемой строки, и иголки ударяют в нужный момент через красящую ленту по бумаге. Наиболее распространены 9- и 24-игольчатые матричные принтеры.

*Струйные принтеры* осуществляют формирование изображения на бумаге микро каплями специальных чернил, выбрасываемых из сопел печатающей головки. Печатающая головка струйного принтера в зависимости от его типа может содержать от 50 до 200 таких сопел. Качество выводимого изображения у этих принтеров значительно выше, чем у матричных. Кроме того, существуют модели струйных принтеров для вывода цветных изображений.

*Лазерные принтеры* обеспечивают самое высокое качество черно-белой и цветной печати. В этих принтерах изображение переносится на бумагу со специального барабана, к которому электрически притягиваются частички красящего вещества (тонера). Электризация печатающего барабана осуществляется с помощью луча лазера по командам от компьютера.

*Модемы и факс-модемы.* Модем - это устройство для обмена информацией с другими компьютерами через телефонную сеть. Факс-модем сочетает в себе возможности модема и устройства для обмена факсимильными сообщениями с другими факс-модемами и обычными телефаксными аппаратами. По конструктивному исполнению модемы бывают:



*внутренними* в виде электронной платы, подключаемой к системной шине внутри системного блока ПК;  
*внешними* - в виде отдельного устройства, обычно подключаемого через последовательный порт компьютера;

- в виде *PC-карты* для подключения к портативному компьютеру.

Модемы отличаются друг от друга по максимальной скорости обмена данными. Измеряемой в бодах, т.е. в битах в секунду (бит/с). Взаимодействие модемов при каждой скорости обмена стандартизовано соответствующим протоколом. Наиболее распространены модемы с максимальной скорости обмена данными, равной 2400 бод (протокол V.32bis), 9600 бод (протокол V.32), 14400 бод (протокол V.32bis), 28800 бод (протокол V.34) и 33600 бод (протокол V.34bis). Большинство современных модемов имеют встроенную функцию коррекции ошибок приема/передачи данных (протокол V.42), а также сжатия данных (протокол V.42bis).

*Сканеры*. Сканеры предназначены для считывания графической и текстовой информации в компьютер. Применение специального программного обеспечения позволяет распознавать текст, введенный с помощью сканера в компьютер. Сканеры бывают настольные (они обрабатывают весь лист целиком), барабанные (пропускают лист бумаги через себя) и ручные (их надо проводить над нужным участком изображения). Различают сканеры черно-белые и цветные. Сканеры отличаются друг от друга разрешающей способностью и количеством воспринимаемых цветов (или оттенков серого цвета). Существуют также сканеры для ввода изображения со слайдов (слайд-сканеры).

## 2.6 Вычислительные сети

Территориальное разнесение отдельных ЭВМ и комплексов САПР вызывает необходимость включения в состав технических средств аппаратуры сопряжения, передачи данных и телеобработки. При этом технические средства крупных САПР структурно объединяются в вычислительные сети. Преимущества организации вычислительных сетей САПР заключаются в следующем:

1. Пользователи, работающие на аппаратуре в конкретном подразделении предприятия, получают доступ к базам данных и программным средствам, которые имеются в других территориально разнесенных узлах вычислительной сети. Это расширяет функциональные возможности САПР.

2. Появляется возможность оптимального распределения нагрузки между различными ЭВМ, а также возможность предоставления конкретному пользователю в случае необходимости значительных вычислительных ресурсов.

3. Повышается надежность функционирования технических средств САПР.

### Классификация вычислительных сетей

Вычислительные сети САПР классифицируются по ряду признаков. В таблице 2.3 представлена эта классификация.

Таблица 2.3

Признак классификации вычислительных сетей	Тип связей	Примечание
Топология связей	Радиальная Кольцевая Радиально-кольцевая Распределенная (децентрализованная)	Обычные двухуровневые САПР, в которых имеется центральный вычислительный комплекс и несколько АРМов
Состав средств передачи данных	Однородная	Состоит из программно-совместимых ЭВМ
Способ передачи данных	С некоммутируемыми каналами С коммутацией каналов С коммутацией сообщений С коммутацией пакетов Со смешанной коммутацией	В сеансах связи образуются транзитные каналы между связываемыми узлами сети Поэтапная передача сообщений через центры коммутации сообщений Поэтапная передача пакетов информации определенной длины Сочетание коммутации каналов сообщений, пакетов
Способ управления	Централизованная Децентрализованная	Управление потоками данных осуществляется центральным узлом связи. Управление потоками данных распределено по узлам сети
Удаленность узлов	Локальная Дистанционная	Расстояния между узлами ограничены заданной величиной $L$ Расстояния превышают величины $L$

#### Устройства телеобработки, сопряжения и передачи данных

Эти устройства предназначены для организации связи с удаленными рабочими местами и для межмашинного обмена данными в многоуровневых и сетевых САПР. Различают системы связи (телефонные и телеграфные каналы, релейные и кабельные линии), мультиплексоры передачи данных (МПД), аппаратура передачи данных (АПД), абонентские пункты (АП) и интерфейсы (И).

Устройства:

- КЭВМ - коллективная ЭВМ,
- ПК - персональный компьютер,

Мультиплексор передачи данных подключается к мультиплексному каналу ввода-вывода через стандартный интерфейс и управляет передачей и частичной обработкой информации от ЭВМ на абонентские пункты и другие ЭВМ. Возможно, снижение нагрузки на центральный процессор ЭВМ, если обработка выполняется частично в МПД. В этом случае он ставится процессором телеобработки данных (процессором передачи данных).

Аппаратура передачи данных обеспечивает сопряжение мультиплексоров передачи данных и абонентских пунктов с каналами связи. Абонентские пункты передают ЭВМ и принимают от нее информацию.

Если абонентские пункты проводят предварительную обработку получаемых и передаваемых данных, их называют "интеллектуальными" абонентскими пунктами.

Аппаратура передачи данных включает следующие устройства:

- модемы и устройства преобразования сигналов,
- вызывные устройства для коммутируемых линий связи,
- устройства защиты от ошибок.

Модем (устройство модуляции и демодуляции) преобразует двоичные сигналы от мультиплексора или абонентского пункта в модулированные сигналы на несущей частоте для их передачи по линиям связи, а при приеме осуществляет обратное преобразование (демодуляцию).

Абонентский пункт состоит из одного или нескольких периферийных устройств со специальным устройством управления. Устройство управления обеспечивает работу периферийных устройств, как автономную, так и под управлением ЭВМ. Интерфейсы согласуют работу отдельных блоков по уровням логических сигналов и конструкциям разъемов. Аппаратура передачи данных бывает:

- низкоскоростная со скоростями передачи информации до 200 бит/сек (по стандартным телеграфным каналам);
- среднескоростная - до 4800 бит/сек (по каналам тональной частоты);
- высокоскоростная - более 4800 бит/сек (по широкополосным каналам).

## **2.7. Автоматизированные рабочие места проектировщика**

Автоматизированное рабочее место (АРМ) проектировщика представляет собой комплекс технических средств, который обеспечивает оперативный и легкий доступ оператора к ЭВМ и помогает реализации итерационных циклов проектирования при диалоговом режиме работы.

АРМ позволяет обмениваться с ЭВМ информацией в графической форме.

Функционально АРМы могут использоваться в качестве основы автономных САПР или подсистем функционально-логического, схемотехниче-

ского, приборно-технологического, конструкторского проектирования различных САПР машиностроительных изделий. Комплексы АРМ могут быть использованы в качестве:

- одного из уровней многоуровневых САПР;
- рабочих мест на уровне ЦВК;
- технологических комплексов для адаптации конструкторского проекта к различному технологическому оборудованию;
- одного из технологических маршрутов, включая совместную работу с управляющими ЭВМ технологического комплекса в режиме обратной связи;

инструментальных комплексов для разработки системного и прикладного программного обеспечения для подсистем САПР.

Рассмотрим два режима работы АРМ: автономный и непосредственной связи с ЦВК.

В автономном режиме АРМ используются для решения отдельных проектных задач, не требующих высокой производительности и большого объема оперативной памяти. Как правило, они связаны с редактированием графической, текстовой информации и ее документированием.

Примеры проектных задач:

- проектирование печатных плат и механических узлов с выпуском комплектов управляющих перфолент и документации;
- проектирование фотошаблонов микросхем СВЧ узлов и микро полосковых трактов;
- подготовка управляющих перфолент для станков с числовым программным управлением;
- проектирование конструктивов.

В режиме непосредственной связи с ЦВК технические программные средства АРМ играют роль интерактивно графического комплекса САПР и обеспечивают выполнение проектных операций. Основное назначение АРМ в этом случае обеспечение эффективного общения проектировщика со средствами автоматизации проектирования.

Примеры проектных задач:

- ввод и редактирование больших массивов входных данных и заданий;
- управление режимами работы САПР;
- отображение и редактирование результатов проектирования;
- выпуск технической документации;
- моделирование и оптимизация элементов изделия;
- компоновка и трассировка элементов;
- создание и пополнение банков данных.

#### Технические средства АРМ

В АРМах технические средства группируются (см. рис.2.3) вокруг высокопроизводительной мини-ЭВМ. Она связана с периферийными устройствами, комплексами, уровнями или другими САПРами каналами высокой

пропускной способности.

К каналам через интерфейс типа "Общая шина" подключаются технические средства рабочих мест. Они состоят из текстовых и графических средств ввода-вывода. Возможно использование микро-ЭВМ с оперативным и внешним запоминающими устройствами. Состав технических средств АРМов для решения задач проектирования приведен в таблице 2.4

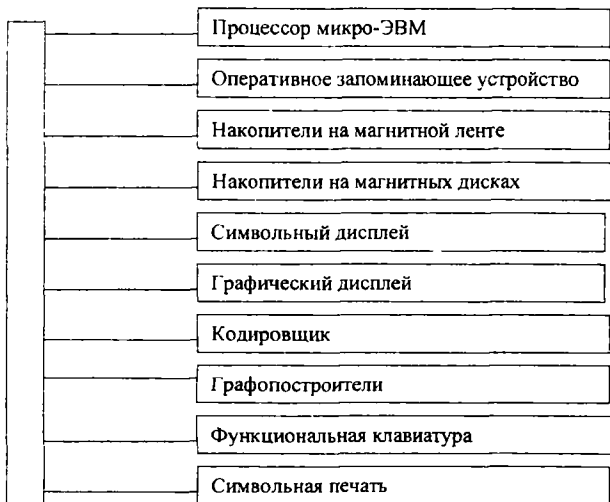


Рис. 2.3 Состав технических средств АРМ

Таблица 2.4

Модель АРМ	Назначение	Состав технических средств
АРМ-Р-01	Минимальный базовый комплект как основа других вариантов	ЭВМ типа СМ, ОЗУ емкостью 8К слов, 16 разрядов, НМД 1370, дисплей VT-340
АРМ-Р-02	Размещение, редактирование графической и текстовой информации, диалога с ЦВК САПР на базе ЕС ЭВМ	АРМ-Р-01 с графическим дисплеем ЭПГ -400
АРМ-Р-03	Инструментальный комплекс для разработки программного обеспечения	АРМ-Р-01 с устройством мозаичной печати DZM-180

### Перспективы развития АРМ

Дальнейшее развитие АРМ связано с:

- использованием новых технических средств;  
разработкой нового базового и прикладного программного обеспечения;

- развитием технологии автоматизированного проектирования;  
объединением АРМ в иерархические и сетевые структуры.

Широкое распространение получают профессиональные персональные ЭВМ с использованием процессоров "Пентиум" и специализированных, а также соответствующего программного обеспечения.

Параметры новых АРМ:

- быстродействие, более 100 млн.оп/с;
- объем внешней памяти - до 500 Гбайт;
- скорость обмена информацией по каналам связи - свыше 2 Мбайт/с.

Рабочие места будут оборудованы цветными графическими дисплеями с регенерацией или растровыми с размерами экрана до 50 см по диагонали и проекционных с площадью экранов в несколько квадратных метров.

Базовое программное и лингвистическое обеспечения должны включать в себя:

- средства создания многомашинных сетевых и иерархических структур;

- мониторинговую систему;
- операционную систему реального времени;
- связанных друг с другом АРМами по разработке логики и схемотехники, топологии, конструкций узлов и блоков изделий.

### ГЛАВА 3. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР

Все программное обеспечение ЭВМ можно разделить на две большие группы. Первая группа ПО - *общее программное обеспечение*, объединяет в себе программы, описания и инструкции, предназначенные для автоматизации трудоемких технологических этапов разработки алгоритмов и программ (инструментальные средства разработки ПО), сервисные программы, предназначенные для обслуживания ЭВМ и ВС (утилиты), и программные комплексы для организации и контроля вычислительного процесса в ВС во время ее функционирования (операционные системы - ОС). Для того чтобы ориентировать вычислительную систему на решение задач определенного типа, к общему программному обеспечению добавляется вторая группа ПО - *специальное программное обеспечение* (называемое также *прикладным программным обеспечением* или *пакетами прикладных программ*), которое позволяет эффективно использовать ВС в зависимости от конкретной сферы ее применения.

Появление общего программного обеспечения в ЭВМ относят к 1953 г., когда в бывшем СССР появилась одна из первых теоретических работ по автоматизации программирования для цифровых ЭВМ (А.П.Ершов), а в Массачусетском технологическом институте (США) была создана экспериментальная "операционная система", применявшаяся в учебных целях. Затем появились специализированные ОС для обслуживания оборонных вычислительных систем реального времени. Однако эти разработки имели экспериментальный, исследовательский характер и широкого распространения не получили. Тем не менее, потребности практического использования ЭВМ в предметных различных областях, необходимость более эффективного использования ЭВМ, повышение производительности труда разработчиков программного обеспечения, а также стремление расширить рынок сбыта ЭВМ вызвали стремительный прогресс в создании теории и инструментальных средств общего программного обеспечения вычислительных систем.

На начальном этапе общее ПО поставлялось потребителям производителями ЭВМ, и его стоимость входила в стоимость поставки средств ВТ. Основные усилия теоретиков и системных программистов были направлены на разработку алгоритмических языков, интерпретаторов, трансляторов и библиотек стандартных программ, облегчающих подготовку программного обеспечения решения прикладных задач. Следует заметить, что ПО автоматизации разработок алгоритмов и программ входило в состав этих поставок и считалось частью соответствующих операционных систем.

В начале 70-х годов фирма IBM по экономическим соображениям перешла на раздельное распространение производимых ею вычислительных машин и общего программного обеспечения к ним. Эта стратегия взаимодействия с потребителем оказалась весьма жизненной, сохранившейся до настоящего времени. Более того, принятое и реализованное фирмой IBM стратегическое решение привело к ускорению появления новых практических

разработок как в области общего ПО автоматизации программирования, так и в области разработок операционных систем ЭВМ, поскольку практически сразу создавалась независимая индустрия программного обеспечения. Поставщики начали более методично проводить при разработке своих программных средств модульный принцип, с тем, чтобы их можно было продавать или предоставлять на них лицензии как на индивидуальные изделия.

История развития общего ПО и операционных систем тесно связана с историей развития аппаратуры вычислительных систем. В табл. 2.1 представлены данные, характеризующие развитие общего программного обеспечения и аппаратной части ЭВМ. Более подробно хронология развития общего программного обеспечения приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Хронология развития общего программного обеспечения

Год	Событие
1953	Одна из первых теоретических работ по автоматизации программирования для цифровых ЭВМ (А.П.Ершов, СССР);
1953	Операционная система для компьютера IBM-701 (General Electric, США);
1953	Экспериментальная "операционная система" (МТИ, США);
1953	Специализированные операционные системы для оборонных систем реального времени (США);
1954	Алгоритмический язык и транслятор FORTRAN (IBM, США);
1954	Алгоритмический язык и транслятор ALGOL (Международная ассоциация ученых);
1955	Алгоритмический язык и транслятор COBOL для решения учетно-оперативных и коммерческих задач;
1955	Операционная система для компьютера IBM-704 (General Electric и North American Aviation, США);
1961	Алгоритмический язык и транслятор LISP для машинной обработки текстовой информации;
1961	Алгоритмический язык и интерпретатор BASIC (Дж.Кеннеми, Т.Куртц, Дартмунский университет);
1962	Операционная система CTSS для компьютера IBM-7094 - совместная система разделения времени (группа Project MAC, МТИ, США);
1963	Операционная система MCP для компьютера B5000 (Burrough, США);
1964	Дисковая операционная система DOS/360 для младших моделей системы компьютеров System/360 (IBM, США);
1965	Операционная система OS/MFT (мультипрограммирование с фиксированным числом задач) для средних и старших моделей системы компьютеров System/360 (IBM, США);



1966	Операционная система OS/MVT (мультипрограммирование с переменным числом задач) для старших моделей системы компьютеров System/360 (IBM, США);
1967	Операционная система CP-67/CMS (управляющая программа-67/диалоговая мониторная система) для мощной модели 360/67, имеющей виртуальную память и предусматривающей работу в режиме разделения времени (IBM, США);
1968	Операционная система MULTICS для компьютера GE-645 - система разделения времени, написана на языке высокого уровня EPL (группа Project MAC МТИ, Bell Laboratories и General Electric, США);
1970	Локальная (на языке ассемблера) версия операционной системы UNIX для PDP-7 (К.Томсон, Б.Керниган, Bell Telephone Laboratories, США);
1970	Алгоритмический язык и транслятор Pascal (Н.Вирт, Институт информатики Швейцарской высшей политехнической школы);
1971	Алгоритмический язык и транслятор C (Б.Керниган, Д.Ритчи, Bell Telephone Laboratories, США);
1972	Язык логического программирования и транслятор Prolog (А.Кольмерр, Марсельский университет);
1973	Мобильная (на языке C) версия операционной системы UNIX (К.Томсон, Д.Ритчи, Bell Telephone Laboratories, США);
1975	Первая операционная система CP/M для ПК (Г.Килдэл, Digital Research, США);
1975	Интерпретатор языка BASIC для первого ПК MITS Altair (Б.Гейтс, П.Аллен, Microsoft, США)
1977	Алгоритмический язык Modula для параллельного программирования (Н.Вирт);
1979	Алгоритмический язык Ada (Министерства обороны США);
1980	Алгоритмический язык с классами C++ (Б.Строструп, Bell Telephone Laboratories, США);
1981	Дисковая операционная система для ПК MS DOS 1.0 (Microsoft по заказу фирмы IBM, США);
1981	Интерпретатор GWBASIC для MS DOS (Microsoft, США);
1981	Первая коммерческая система на базе GUI для рабочей станции Star 8010 (Xerox, США);
1982	Транслятор с алгоритмического языка и Ada (Ассоциация пользователей Ada, США);
1983	Компилятор C++ (Б.Строструп, Bell Telephone Laboratories, США);
1983	Операционная система Apple Lisa, выполненная на базе GUI (Apple Computer, США);
1984	Операционная система Apple Macintosh, выполненная на базе GUI

	(Apple Computer, США);
1985	Операционная среда MS Windows 1.01, выполненная на базе GUI (Microsoft, США);
1985	Интерпретатор-компилятор QuickBASIC для MS DOS (Microsoft, США);
1987	Операционная среда MS Windows 2.0 (Microsoft, США);
1988	Интерпретатор-компилятор QuickBASIC 4.5 для MS DOS (Microsoft, США);
1988	Операционная система OS/2, выполненная на базе GUI (совместная разработка IBM и Microsoft, США);
1989	Система для профессиональной разработки программ MS Basic Professional Development 7.0 для MS DOS (Microsoft, США);
1989	Интегрированная среда подготовки программ с использованием ООП Turbo C++ 1.0 (Borland International, Inc., США);
1990	Система для профессиональной разработки программ MS Basic Professional Development 7.1 для MS DOS (Microsoft, США);
1990	Интегрированная среда с ООП Borland C++ 2.0 (Borland International, Inc., США);
1990	Операционная среда MS Windows 3.0 (Microsoft, США);
1991	Операционная среда MS Windows 3.1x (Microsoft, США);
1991	Первая RAD-среда Visual Basic 1.0 автоматизации подготовки программных средств для Windows VB/Win 1.0 - визуальное программирование на основе алгоритмического языка BASIC (Microsoft, США);
1992	RAD-среда Visual Basic 2.0 для Windows VB/Win 2.0 (Microsoft, США);
1992	RAD-среда Visual Basic 1.0 для DOS VB/DOS 1.0 (Microsoft, США);
1992	Интегрированная среда с ООП Borland C++ 3.0 (Borland International, Inc., США);
1992	Интегрированная среда с ООП Borland Pascal 7.0 для DOS и Windows (Borland International, Inc., США);
1992	Операционная система MS Windows NT (Microsoft, США);
1993	RAD-среда Visual Basic 3.0 для Windows VB/Win 3.0 (Microsoft, США);
1995	Операционная система MS Windows 95 (Microsoft, США);
1995	RAD-среда Delphi 1.0 на основе алгоритмического языка Pascal (Borland International, Inc., США);
1996	Операционная система MS Windows OSR2 (Microsoft, США);
1996	RAD-среда Delphi 2.0 (Borland International, Inc., США);
1996	RAD-среда Ebonu автоматизации подготовки программных средств

	на основе алгоритмического языка C;
1997	операционная система MS Windows 97 (Microsoft, США);
1997	RAD-среда Delphi 3.0 (Borland International, Inc., США).
1998	RAD-среда Delphi 4.0 (Borland International, Inc., США).
1998	Операционная система MS Windows 98 (Microsoft, США);
1999	RAD-среда Delphi 5.0 (Borland International, Inc., США).
1999	Операционная система MS Windows 2000 (Microsoft, США);
1999	Операционная система MS Windows Millenium (Microsoft, США);
2001	RAD-среда Delphi 6.0 (Borland International, Inc., США).
2001	Операционная система MS Windows XP prof. (Microsoft, США);

### 3.1 Состав и функциональное назначение ПО САПР.

Программное обеспечение САПР представляет собой совокупность программ на машинных носителях с необходимой программной документацией, предназначенных для выполнения автоматизированного проектирования.

ПО САПР подразделяют на базовое, общесистемное и специализированное.

Базовое ПО не является объектом разработки при создании ПО САПР (напр. ОС)

Основные функции общесистемного ПО САПР:

- ввод, вывод и обработка инструкций пользователей;
- управление процессом вычислений;
- хранение, анализ, поиск, модификация данных;
- контроль и диагностика в процессе решения задач проектирования;

В состав общесистемного ПО входят:

- мониторная диалоговая система;
- СУБД
- информационно поисковые системы;
- геометрические и графические процессоры;
- средства формирования графической и текстовой информации;
- средства для выполнения общетехнических расчётов.

Специализированное ПО функционирует в операционной среде, которая состоит из общесистемного и базового ПО.

Основной функцией специализированного ПО является получение проектных решений.

Специализированное ПО создаётся с учётом организации и возможностей общесистемного ПО САПР.

### Функциональное назначение ПО САПР.

По функциональному назначению ПО САПР можно разделить на ряд программных комплексов, предназначенных для выполнения заданных функций. Можно выделить проектирующие, обслуживающие и инструментальные программные комплексы. Проектирующие ПК предназначены для получения законченного проектного решения и подразделяются на проблемно-ориентированные и объектно-ориентированные. Проблемно-ориентированные комплексы выполняют унифицированные проектные процедуры, не зависящие от объекта проектирования. Объектно-ориентированные ПК используются лишь для проектирования объектов определённого класса. Проектирующие программные комплексы входят в состав специализированного ПО. Обслуживающие ПК входят в состав общесистемного ПО и предназначены для поддержания работоспособности проектирующих ПК.

Инструментальные ПК представляют собой технологические средства, предназначенные для разработки, развития и модернизации ПО САПР. Инструментальные ПК можно разделить на инструментальные средства, являющиеся частью САПР и используемые в процессе её работы и инструментальные средства, используемые только во время разработки САПР.

### Инструментальные средства, используемые, только во время работы САПР.

- СУБД
- Языковые процессоры, для обеспечения взаимодействий с пользователями
- Средства машинной графики
- Пакет математических подпрограмм

Инструментальные средства, применяемые при разработке САПР включают в себя:

- средства построения спецификаций, тестирования, документирования;
- инструментальные средства проектирования программ.
- препроцессоры, отладчики.

### Принципы проектирования ПО САПР.

Проектирование ПО САПР осуществляется на основе принципов системного единства, развития, совместимости и стандартизации.

Принцип системного единства. При создании, функционировании и развитии ПО САПР связи между компонентами должны обеспечивать её целостность.

Принцип развития. ПО САПР должно создаваться и функционировать с учётом накопления, совершенствования и обновления её компонент.

Принцип совместимости. Языки, символы, коды, информация и связи между компонентами должны обеспечивать их совместное функционирование и сохранять открытую структуру системы в целом.

Принцип стандартизации. При проектировании ПО САПР необходимо унифицировать, типизировать и стандартизировать ПО, инвариантное к проектируемым объектам.

#### Пользователи САПР.

- Разработчики САПР (специалисты способные разрабатывать базовые методы, средства и оснащение САПР, осуществлять генерацию и настройку САПР).
- Прикладные программисты.
- Проектировщики.

#### Общие требования к ПО САПР.

В соответствии с общими принципами создания САПР ПО должно удовлетворять следующим требованиям:

- Адаптируемость - приспособленность ПО САПР к функционированию в различных условиях проектирования. Это связано с изменением самих объектов проектирования.
- Гибкость, т.е. возможность легко вносить изменения, дополнения, исправление в ПО, при сохранении всей системы в целом.
- Компактность, т.е. потребление мин. ресурсов ЭВМ (памяти, времени ЦП), что позволяет улучшить эксплуатационные характеристики САПР.
- Мобильность, способность функционирования ПО САПР на различных технических средствах.
- Надежность - обеспечение получения достоверных результатов проектирования.
- Реактивность - обеспечение быстрого решения задачи, при ориентации на пользователя, не являющегося специалистом в области вычислительной техники и программирования.
- Эволюционируемость - пополнение САПР новыми программами, реализующими возможность всей системы в целом.

Все вышеперечисленные требования должны обеспечивать высокое качество функционирования САПР т.е.:

- получение проекта решений в форме, принятой в соответствующей организации.  
полноту диагностических сообщений;  
удобство освоения и сопровождения ПО САПР и т.д.

### **3.2 Этапы проектирования ПО САПР**

Согласно ГОСТу устанавливаются следующие стадии разработки ПО: техническое задание, эскизный, технический и рабочий проекты, внедрение.

1. Техническое задание. На стадии ТЗ выполняются следующие виды работ:

постановка задачи;

сбор исходных материалов  
выбор и обоснование критериев эффективности и качества разрабатываемой программы  
обоснование необходимости проведения научно-исследовательских работ

- предварительный выбор методов решения задач
- определение требований к техническим средствам
- согласование и утверждение ТЗ

2. Эскизный проект. На стадии эскизного проектирования выполняются следующие виды работ:

- внешнее проектирование программного изделия;
- уточнение методов решения задачи
- предварительное проектирование внутренних структур данных
- разработка общего алгоритма решения задачи

3. Технический проект. Этапы технического проектирования:

- проектирование архитектуры программного изделия
- проектирование архитектуры структур данных
- проектирование модульной структуры изделий
- проектирование модулей
- разработка пояснительной записки.

На этапе проектирования архитектуры программного изделия разбивают на составные части: определяют функции каждой компоненты, способы взаимодействия между ними, разрабатывают схемы распределения оперативной и внешней памяти вычислительной системы.

На этапе проектирования структур данных определяют способы представления, хранения и преобразования входных, выходных и внутренних данных.

На этапе проектирования модульной структуры программного изделия разбивается на модули (процедуры), определяются их функции и способы взаимодействия.

На этапе проектирования модулей составляется описание всех модулей программного изделия, которое включает в себя: имя модуля функции, выполняемые модулем описание входных и выходных параметров, их форматов; взаимосвязи между входными и выходными параметрами и т.д., описание алгоритма модуля и т.д.

4. Рабочий проект. На стадии рабочего проекта выполняются следующие виды работ:

- кодирование, тестирование и отладка программ
- разработка программных документов в соответствии с требованиями ЕСПД  
проведение различных видов испытаний  
корректировка программ и документации по результатам испытаний

5. Стадия внедрения. Осуществляется подготовка и передача программ и программной документации для сопровождения и изготовления.

Оценка показателей качества.

В зависимости от назначения и условий создания и эксплуатации ПО могут быть выбраны свойства для формирования соответствующих показателей качества:

- **Безотказность** - способность выполнять заданные функции без проявления отказов.  
Корректность, т.е. соответствие заданным функциональным требованиям
- **Мобильность** - возможность приспособления к работе в другой программно-технической среде.
- **Модифицируемость**
- **Совместимость**
- **Сопровождаемость**, т.е. приспособленность к устранению ошибок в ходе создания и сопровождения.
- **Унифицированность** - приспособленность для применения в качестве составной части для другой системы
- **Устойчивость** - способность сохранять работоспособность системы в условиях проявления отказов и сбоев технических средств
- **Целостность** - защищенность программ и данных от несанкционированного доступа.

### 3.3 Принцип модульного программирования.

Принцип модульного программирования заключается в разделении программ на функционально самостоятельные части (модули), обеспечивающие заменяемость, модификацию, удаление и дополнение составных частей (модулей)

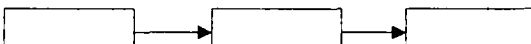
Методы проектирования программ, основанные на модульном , делятся на три группы:

- Методы нисходящего проектирования
- Методы расширения ядра
- Методы восходящего проектирования

На практике обычно применяют различные состояния этих методов.

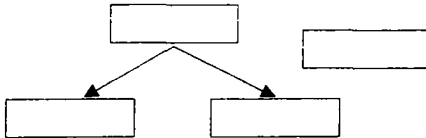
В зависимости от задач, решаемых разработчиками и от использования ими методов проектирования, модульная программа может иметь одну из следующих основных структур.

#### 1. МОДУЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ СТРУКТУРА



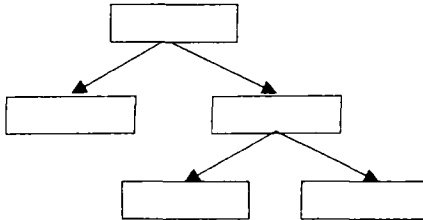
Такая структура программы включает в себя несколько последовательно передающих друг другу управление программных модулей. Структура проста и наглядна, но может быть реализована лишь для относительно простых задач.

## 2. МОНОЛИТНО-МОДУЛЬНАЯ СТРУКТУРА



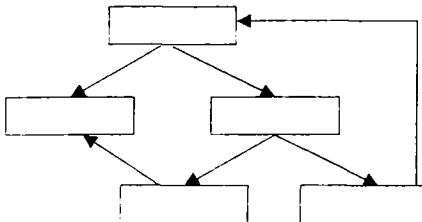
Она включает в себя большой программный модуль, реализующий основную часть возложенных на программу функций. Из этой части имеется незначительное число обращений к другим программным модулям небольшого размера. Подобная программа сложна как для написания, так и для сопровождения. При проектировании ПО подобных структур следует избегать.

## МОДУЛЬНО-ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА



Структура программы включает в себя программные модули, располагаемые на нескольких уровнях иерархии. Модули верхних уровней управляют работой модулей нижних уровней. Вышестоящий модуль передает управление модулю более низкого уровня, а когда тот отработает, возвращает управление вызвавшему его модулю. Подобная структура достаточно проста и позволяет решать очень сложные задачи.

## 4. МОДУЛЬНО-ХАОТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА





Эта структура программы включает в себя программные модули, которые связаны между собой таким образом, что они не образуют в явном виде не одну из перечисляемых выше структур. Такие программы сложны для проверки и сопровождения. Следует по возможности избегать построения таких конструкций.

#### Связанность и цельность модулей.

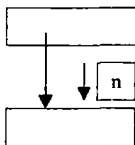
Эффективность модульного программирования зависит от того, насколько удаётся обеспечить независимость программных модулей, которая достигается за счет уменьшения связанности модулей друг с другом и увеличения цельности (внутреннего единства) модулей.

Можно выделить следующие виды связей модулей:

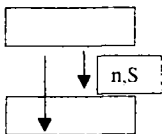
1. Через простой параметр-данные
2. Через структурный параметр-данные
3. Через управляющий параметр
4. Через общий блок данных или внешнюю переменную
5. Через содержимое

Порядок перечисленных видов связей соответствует увеличению силы связанности от наименьшей (через простой параметр-данные) до наибольшей (через содержимое).

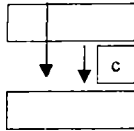
1. Связь через простой параметр-данные возникает тогда, когда все необходимые данные модуль принимает и возвращает в форме параметров вызова, а эти данные являются простыми (неструктурированными) переменными.



2. Связь через структурный параметр-данные возникает когда в списке параметров вызова имеются структурные данные. В этом случае модуль, который их получает, зависит не только от самих данных, но и от их структуры. Если модулю нужны только отдельные элементы данных, ему следует передавать всю структуру.

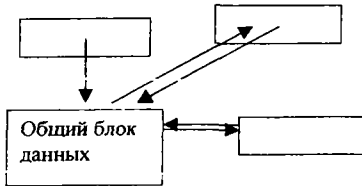


3. Связь через управляющий параметр возникает тогда, когда в списке параметров вызова присутствует управляющий признак, (флаг), который анализируется получающим его модулем.

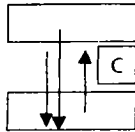


Сила связи таких модулей еще более возрастает, так как модуль передающий признак, должен быть осведомлен о внутренней структуре модуля, получающего этот признак.

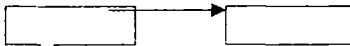
4. Связь через общий блок данных возникает между модулями тогда, когда они ссылаются на один и тот же блок данных с целью получения и передачи параметров.



5. Связь через внешние переменные возникает, когда в модулях объявляется внешняя переменная, значение которой устанавливается в одном модуле, а затем используется в другом.



6. Связь через содержимое возникает тогда, когда один модуль передает управление другому модулю не по имени, а непосредственно в тело модуля.



### Цельность модулей.

Модуль с функциональной цельностью выполняет одну четко определенную функцию. Одним из критериев для формирования функционально цельного модуля является возможность формирования назначения модуля в виде одного предложения в повелительном наклонении без использования слов типа: если, тогда, вначале, затем и т.п.

Модуль с последовательно-функциональной цельностью выполняет несколько последовательных функций, при этом данные на выходе какой-либо функции целиком являются входными для следующей функции.

Модуль с коммуникационной цельностью выполняет несколько функций, для которых входные и выходные данные расположены в одном и том же хранилище данных.

Модуль с алгоритмической цельностью выполняет функции, соответствующие отдельным блокам схемы алгоритма программы. Цельные алгоритмические модули получаются, когда разработчик создает программу на основе анализа логической структуры процесса обработки данных без учета связей по данным между частями программы.

Модуль с временной цельностью реализует функции, выполняемые на каком-либо одном этапе обработки данных. При этом этапы обработки следует друг за другом строго определенным образом. Так же как и алгоритмически цельный модуль, модуль с временной цельностью формируется на основе анализа логической структуры программы без учета связей по данным между блоками.

Модуль с логической цельностью выполняет множество функций, не связанных между собой ни по управлению, ни по данным. Единственное что между ними общего это сходство характера выполняемых функций. Например, модуль, реализующий все имеющиеся в программе функции обработки ошибок.

Модуль, цельный по совпадению, обладает самой слабой цельностью. В такие модули выделяются фрагменты программ, содержащие одинаковые последовательности команд, без учета контекста, в котором он может использоваться.

## ГЛАВА 4 АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПРИВОДОВ МАШИН

Моделирование современных технических устройств и машин в рамках систем автоматизированного проектирования связано с построением моделей, обеспечивающих формализованное описание структуры систем определенного класса (электрических, механических, гидравлических и др.).

Анализ работ, посвященных автоматизированным методам расчета и проектирования, показывает, что для построения формальных моделей представления систем и их структуры используют в основном два подхода.

Первый подход базируется на методах теории графов. Матрично-топологические методы, основанные на применении теории графов, используют для анализа электронных схем, гидравлических цепей, механизмов.

Второй подход базируется на использовании известного описания отдельных функционально законченных элементов. Эта идея по сути дела лежит в основе метода конечных элементов, когда сложную по конфигурации систему можно условно расчленить на отдельные элементы, математическое описание которых известно и для которых в рамках рассматриваемой системы можно однозначно определить условия связей этих элементов друг с другом (вход-выход). Тогда для описания системы в целом достаточно указать имя элемента (идентификатор типа), пронумеровать его входы и выходы, задать необходимые физические и конструктивные константы и записать уравнения, преобразующие переменные на входе элемента в переменные на выходе.

В качестве такого элемента может быть любое из функционально законченных устройств как гидрообъемного привода (насос, клапан, гидролиния, дроссель и т. д.), так и гидромеханической передачи (редуктор, фрикцион, гидротрансформатор и т. д.). Таким образом, структура произвольной схемы привода может быть описана посредством идентификации элементов, нумерации точек соединения элементов в схеме (вход-выход), называемых узлами, и формирования матриц связей. Целесообразность такого подхода обусловлена тем, что пользователь может применять методы автоматизированного расчета и моделирования на ЭВМ, оставаясь в рамках привычных для него понятий, что существенно упрощает как подготовку данных для расчета, так и анализ результатов. При этом стыковка уравнений элементов в единую математическую модель схемы производится автоматически программными средствами, и любое изменение схемы (состав элемента, их типоразмеры и т. п.) требует от пользователя лишь соответствующих изменений во входных данных, а трудоемкий процесс формирования математической модели и ее решение целиком возлагаются на ЭВМ.

Исходя из этого, можно указать следующие основные задачи, возникающие при построении такой подсистемы автоматизации моделирования гидроприводов на ЭВМ:

определение состава основных элементов приводов;

формализованное описание структуры произвольной схемы привода;  
разработка математического описания элементов привода;  
систематизация исходных данных и разработка метода их формирования и подготовки;  
разработка метода автоматического формирования системы уравнений, описывающих схему привода произвольной структуры;  
выбор и реализация метода решения сформированной системы уравнений;  
программная реализация методов автоматизированного расчета рабочих процессов на ЭВМ.

#### **4.1. Динамический анализ механических и гидромеханических приводов произвольной структуры.**

Рассмотрим задачу автоматизации динамических расчетов произвольных по структуре механических и гидромеханических передач, состоящих из таких элементов, как дизель с центробежным регулятором, редуктор, фрикционная и гидродинамическая муфты, гидротрансформатор, колесный движитель и т. д.

Особенностью моделирования таких передач является наличие двух основных режимов движения.

1) разблокированного вращения масс, когда имеет место проскальзывание ведущей и ведомой частей некоторых элементов. Например, фрикционной муфты, гидромуфты (в дальнейшем для краткости их будем именовать муфтами);

2) заблокированного вращения, когда ведущая и ведомая части муфты вращаются с одинаковой угловой скоростью.

Для каждого из этих режимов движения момент, реализуемый муфтой, определяется по-разному, причем в момент блокировки имеет место скачок ускорения, а сами условия блокировки муфты зависят от структуры схемы, распределения внешних моментов и приведенных моментов инерции, а также режима вращения других муфт, жестко связанных с данной. Все это в совокупности представляет определенные трудности для анализа подобных передач, так как в процессе моделирования требуется непрерывная проверка условий блокировки с соответствующим изменением моментов, реализуемых муфтами

Автоматизация динамического анализа (расчета переходных процессов) механических и гидромеханических передач сводится к решению следующих задач:

выбор основных элементов привода и их математических моделей;  
формализованное описание структуры привода и соответствующей системы уравнений;  
анализ режимов блокировки муфт;  
формирование системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику привода.

## 4.2. Основные элементы механического и гидромеханического приводов

Анализ различных схем механических и гидромеханических передач, применяемых в мобильных машинах (автомобилях, дорожных, строительных, землеройно-транспортных машинах, тракторах и др.), показывает, что существует конечный набор основных элементов, с помощью которых можно синтезировать практически любую механическую или гидромеханическую передачу. К этим элементам относятся двигатель, редуктор, упругий вал, фрикцион, гидромуфта, гидротрансформатор, колесный движитель, маховик, дифференциал (рис. 4.1).

Описание каждого элемента в настоящее время детально изучено, и поэтому благодаря накопленному опыту моделирования различных схем привода выбор подходящей математической модели элемента особых трудностей не представляет.

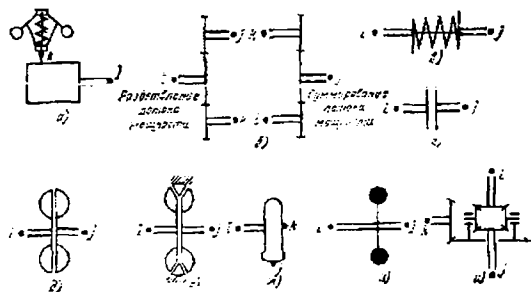


Рис. 4.1. Основные элементы механических и гидромеханических передач:  
а—дизель; б—редуктор; в—упругий вал; г—фрикцион; д—гидромуфта; е — гидротрансформатор; ж — колесный движитель; з — маховик; и. — дифференциал.

Зависимость моментов, реализуемых в таких элементах, как дизель, вал, фрикцион, гидромуфта, гидротрансформатор, дифференциал, окружной силы на колесе, потерь на трение в редукторах и т. д., подробно описаны в п. 4.5.

## 4.3. Структурный анализ схем механических и гидромеханических передач

Любая схема механического (гидромеханического) привода представляет собой совокупность элементов (из набора основных), соединенных друг с другом в определенной последовательности. Точки соединения элементов будем называть узлами.

Перечисленные выше элементы получили следующие идентификаторы: ДИЗЕЛЬ, РЕДУКТОР, ВАЛ, ФРИКЦИОН, ГДРМУФТА (гидромуфта), ТРАНСФТР (гидротрансформатор), КОЛЕСО, МАХОВИК, ДИФФРНЦЛ (дифференциал). Последовательность нумерации узлов схемы является произвольной, однако, порядок указания этих номеров при описании каждого элемента (для формирования строки матрицы  $S$ ) строго определен (см. рис. 4.2). Например, у фрикциона, гидромуфты, гидротрансформатора, маховика, вала  $i \rightarrow j$  (от двигателя к нагрузке); у двигателя  $j \rightarrow k$  (узел  $k$  связан с перемещением муфты регулятора, а узел  $j$  — с валом дизеля); у редуктора  $i \rightarrow j \rightarrow k$  ( $i \rightarrow j$  при разветвлении потока мощности,  $j \rightarrow k$  при суммировании потоков мощности); у дифференциала независимо от направления потока мощности узлы  $i$  и  $j$  связаны с полуосями, узел  $k$  — с водилом, у колеса узел  $i$  связан с осью колеса,  $j$  — с точкой контакта колеса с дорогой,  $k$  — с корпусом машины ( $k$ -общий узел для всех колес машины). Указанный порядок следования номеров узлов элементов выбран для удобства формализации структурного описания схемы.

В механических передачах соединение элементов бывает жестким. Для таких цепочек элементов необходимо осуществлять приведение моментов инерции и передаточных чисел, объединяя элементы в один участок и описывая их одним уравнением вида

$$J\omega = M_1 i_1 + M_2 i_2 + \dots + M_m i_m, \quad (4.1)$$

где  $J$  — приведенный момент инерции;  $M_1, \dots, M_m$  — действующие в различных узлах участка моменты;  $i_1, \dots, i_m$  — передаточные отношения в этих узлах участка.

В выражениях для моментов и передаточных отношений необходимо учитывать их знаки.

Граничными элементами, разделяющими схему привода на участки, являются элементы с раздельно вращающимися массами: фрикционные, гидродинамические муфты, гидротрансформаторы, а также колеса, упругие валы, дифференциалы, т.е. элементы с переменным передаточным отношением.

На рис. 4.2 в качестве примера показана схема гидромеханической трансмиссии, состоящей из дизеля (узлы 1, 2), редуктора (1, 3, 4), фрикциона (4, 6), маховика (6, 8), упругого вала (8, 9), маховика (9, 10), колеса (10, 11, 12), гидромуфты (3, 5), редуктора (5, 7), колеса (13, 14, 12), маховика (7, 13).

В результате анализа схема разбивается на следующие участки (в скобках указаны номера узлов, входящих в эти участки): I (1, 3, 4), II (5, 7, 13), III (6, 8, 9), IV (9, 10), V (14, 11, 12). Отметим, что третий узел у всех колес (в данном примере 12) общий, так как к нему осуществляется “привязка” скорости поступательного движения машины; регулятор дизеля описывается самостоятельным уравнением, поэтому узел 2 не входит в указанные участки. Участок V соответствует поступательному движению машины.

Все узлы, входящие в участок, разделяют на внутренние и внешние (например, на участке II узлы 5 и 13—внешние, а узел 7—внутренний). Все моменты задаются или вычисляются только во внешних узлах. В свою очередь, внешние узлы разделяют на начальные и конечные. Начальными являются узлы  $j$  в следующих элементах: дизель, фрикцион, гидромуфта, гидротрансформатор, вал, колесо, т. е. именно в тех элементах, которые являются граничными элементами участков. К граничным элементам, разбивающим схему на участки, относится и дифференциал, у которого узлы  $i$  и  $j$  относятся к полуосям, а узел  $k$  — к водилу. В случае, когда в дифференциале разветвляется поток мощности, узлы  $i$  и  $j$  являются начальными узлами участков; при суммировании потоков мощности  $i, j$  — конечные узлы; узел  $k$  ни к какому участку не относится.

К начальным относится и узел  $i$  маховика, если к нему в узле  $i$  не примыкают другие элементы. Если редуктор суммирует потоки мощности, то узел  $k$  тоже начальный. Конечными узлами участков являются узлы  $i$  этих же элементов, кроме дизеля (имеющего узлы  $j, k$ ), а также узлы  $j$  у маховика,  $k$  у колеса; у редуктора  $j$  и  $k$  в случае разветвления потока мощности или только  $j$  в случае суммирования потоков мощности, если за ними в схеме не следует других элементов.

Поскольку в участок может попасть один или несколько редукторов, ясно, что такой участок может иметь несколько начальных или несколько конечных узлов.

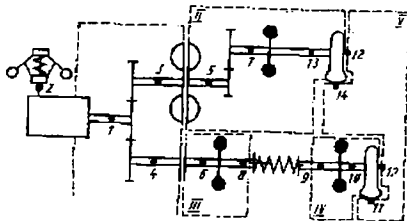


Рис.4.2. Пример разбивки схемы гидромеханической трансмиссии на элементы, узлы и участки

Условимся, что уравнения динамики каждого участка вида (4.1) будем формировать в его начальном узле (если начальных узлов несколько, то в начальном узле, указанном первым).

Наличие нескольких начальных узлов участка усложняет алгоритм приведения моментов инерции и передаточных чисел, поэтому было принято, что если на участке начальных узлов несколько, то каждый из них, начиная со второго, должен быть одновременно узлом  $k$  редуктора-сумматора, т. е. к нему (редуктору) в этом узле примыкает либо вал, либо ведомая часть фрикционной муфты, гидромуфты или гидротрансформатора. Такое условие не





узел участка, содержащего данный редуктор, и в матрицах  $S_H$  и  $S_K$  делаются соответствующие изменения: узел  $k$  вносится в матрицу  $S_H$  и вычеркивается из матрицы  $S_K$ .

Строится дополнительный участок “колесо — дорога”, в котором несколько начальных узлов (точки контакта шин с дорогой) и один конечный узел (поступательное движение машины). Этот участок отличается от остальных тем, что уравнение поступательного движения записывается относительно скорости в его конечном узле (скорость машины). Именно поэтому его построение производится отдельно, после формирования остальных участков.

В результате проведения структурного анализа формируются матрицы  $S_I, S_H, S_K$ .

#### 4.4 Приведение моментов инерции и передаточных отношений

Пусть имеется  $m$ -й участок, содержащий следующие узлы.

$n_{m1}, n_{m2}, \dots, n_{mk}$ , где  $n_{m1}$  — начальный узел,  $n_{mk}$  — конечный узел. Введем следующие обозначения:  $i_{n_l}$  — передаточное отношение в узле  $n_{ml}$ ,  $J_{n_l}$  — приведенный момент инерции в узле  $n_{ml}$ .

Сначала определяются передаточные отношения в узлах участка, приведенные к начальному узлу  $n_{m1}$  (при этом всегда  $i_{n_{m1}} = 1$ ):

$$i_{n_{ml}} = i_{n_{m,l-1}} \alpha_l, l = 2, 3, \dots, k, \quad (4.5)$$

где  $\alpha_l$  принимает значение  $-1$ , если  $n_{m,l-1} - n_{ml}$  не является ветвью редуктора,  $i_p$ , если  $n_{m,l-1} - n_{ml}$  является ветвью редуктора с передаточным отношением.

Если участок содержит разветвления, каждое из которых имеет свой конечный узел, то передаточные отношения приводятся по формуле (4.5) последовательно по каждой ветви. После определения передаточных отношений во всех узлах участка приводятся моменты инерции его элементов к начальному узлу  $n_{m1}$ :

$$J_{n_{m1}} = \sum_{e \in E_m} J_e i_{n_e}^2 \quad (4.6)$$

где  $E_m$  — множество элементов, входящих в  $m$ -й участок;  $J_e$  — некоторый элемент участка;  $J$  — момент инерции элемента или его части [для фрикционной муфты, гидромуфты, гидротрансформатора — момент инерции соответственно ведущей или ведомой части (так как они относятся к разным участкам), для редуктора — момент инерции ветви; вал считается без инерционным];  $i_{n_e}$  — передаточное отношение в узле  $n_e$  элемента  $e$ .

Таким образом, для формирования системы уравнений вида (4.1) подсчитаны все константы, входящие в уравнения, а также осуществлена привязка переменных и констант этих уравнений к внешним узлам участков. Для оп-

ределения моментов, входящих в правую часть уравнений (4.1), необходимо дать их математическое описание с учетом характеристик основных элементов привода.

#### 4.5. Математическое описание основных элементов привода и их характеристик

**Дизель.** Момент на валу дизеля (узел  $j$  на рис. 4.1) связан с угловой скоростью вала  $\omega_j$ , и перемещением муфты регулятора  $Z_k$  следующей зависимостью:

$$M_j = M_{д}(\omega_j) + M_z - k_{д} z_k, \quad (4.7)$$

где  $M_{д}(\omega_j)$  — внешняя характеристика дизеля при минимальной подаче топлива (рис. 4.3, а) с учетом тормозной ветви;  $M_z$  — приращение крутящего

При моделировании переходных процессов часто бывает необходимо перейти в область регуляторных характеристик дизеля, что в реальных условиях обеспечивается изменением величины  $F$  — силы предварительного сжатия пружины, регулируемой водителем с помощью рычага управления. В общем случае величина  $F$  должна быть переменной:

$$F = F_{\max} \psi(t), \quad (4.8)$$

где  $\psi(t)$  — функция регулирования силы сжатия пружины;  $0 \leq \psi(t) \leq 1$

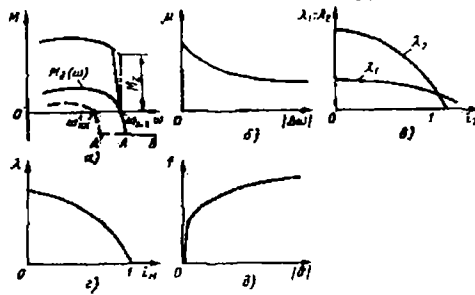


Рис.4.3. Характеристики базовых элементов механических и гидромеханических передач:

а - дизеля; б - фрикционной муфты, в - гидротрансформатора; г - гидромуфты; д - колеса (кривая буксования)

При переходе на регуляторную характеристику изменяется угловая скорость холостого хода  $\omega_{х.х}$

$$\omega'_{х.х} = i_{пер} \sqrt{\frac{F_{\max} \psi(t) + cZ_{\max}}{b + k Z_{\max}}}$$

Тогда

$$k_n = \frac{M_n(\omega_{yx}) + M_s}{z_{\max}}$$

Учитывая, что тормозная ветвь  $AB$  характеристики дизеля практически линейна, координаты начальной точки тормозной ветви  $A'$  при  $\psi(t) < 1$  можно определить по следующим формулам:

$$M_{A'} = M_A \frac{M_A(\omega_B - \omega'_{yx}) + M_B(\omega'_{yx} - \omega_A)}{M_A(\omega_B - \omega_{yx}) + M_B(\omega_{yx} - \omega_A)}; \\ \omega = \frac{M_A[\omega_B(\omega'_{yx} - \omega_{yx}) - \omega_A(\omega'_{yx} - \omega_{yx})] + M_B\omega_A(\omega_{yx} - \omega_A)}{M_A(\omega_B - \omega_{yx}) - M_B(\omega_{yx} - \omega_A)} \quad (4.9)$$

где  $(\omega_A, M_A); (\omega_B, M_B); (\omega_{yx}, M_{yx})$  — координаты точек  $A, A', B$  тормозной ветви.

**Редуктор.** В редукторе имеет место постоянство передаточных отношений в узлах  $i, j$  и  $k$ , т.е.

$$\omega_i = \frac{\omega_j}{i_j} = \frac{\omega_k}{i_k} \quad (4.10)$$

где  $i_j$  и  $i_k$  — передаточные отношения ветвей редуктора (соответственно  $i-j$  и  $i-k$ ).

Пусть  $\eta_j$  и  $\eta_k$  — КПД редуктора в ветвях  $i-j$  и  $i-k$ . Тогда суммарные потери на трение в редукторе, приведенные к узлу  $i$ , можно определить как

$$\Delta M_{\text{тр}} = -[M_j(1 - \eta_j)|i_j| + M_k(1 - \eta_k)|i_k|] \text{sign} \omega_i \quad (4.11)$$

где  $M_j$  и  $M_k$  — абсолютные значения номинальных моментов, передаваемых соответственно в узлах  $j$  и  $k$  (в ветвях  $i-j$  и  $i-k$ ).

**Упругий вал.** Момент кручения, развиваемый за счет упругой угловой деформации и демпфирующих свойств вала, приложенный в узле  $j$ ,

$$M_j = c\varphi_j + v\dot{\varphi}_j \quad (4.12)$$

где  $c$  — угловая жесткость вала;  $v$  — коэффициент вязкого трения,  $\varphi_j$  — угол закручивания вала;

$$\varphi_j = \omega_j - \omega_i \quad (4.13)$$

В узле  $i$  действует момент противоположного знака:

$$M_i = -M_j$$

**Фрикционная муфта.** Момент, реализуемый во фрикционной муфте и приложенный к узлу  $j$  (см. рис. 4.1), определяется следующим образом:

$$M_j = \begin{cases} kp(t)\mu(\omega_j - \omega_i) \text{sign}(\omega_j - \omega_i) & \text{при } \omega_j \neq \omega_i, \\ kp(t)\mu(0) \text{sign} M^* & \text{при } \omega_j = \omega_i, \quad kp(t)\mu(0) < |M^*|, \\ M^* & \text{при } \omega_j = \omega_i, \quad kp(t)\mu(0) \geq |M^*|, \end{cases} \quad (4.14)$$

где  $k$  — конструктивная постоянная фрикционной муфты;  $p(t)$  — давление в механизме прижатия фрикционной пары в функции времени;  $\mu(\omega_j - \omega_i)$  — коэффициент трения в функции модуля относительной угловой скорости

(рис.4.3,б);  $M^*$ — момент, реализуемый фрикционной муфтой при блокировке (режим блокировки см. п. 4.6).

В узле  $i$  действует момент  $M_i = -M_j$ .

**Гидротрансформатор.** Моменты, развиваемые на насосном ( $M_H$ ) и турбинном ( $M_T$ ) колесах гидротрансформатора,

$$M_H = \rho \lambda_1(i_T) D^5 \omega_i |\omega_i|; \quad M_T = \rho \lambda_2(i_T) D^5 \omega_i |\omega_i|, \quad (4.15)$$

причем  $M_i = -M_H$ ,  $M_j = M_T$

Здесь  $\rho \lambda_1(i_T)$  и  $\rho \lambda_2(i_T)$  —характеристики гидротрансформатора;  $i_T = \omega_i / \omega$ , (рис.4.3, в);  $\omega_i$ —угловая скорость насосного колеса (узел  $i$ , рис. 4.1,е).

Коэффициент трансформации по определению равен

$$k(i_T) = \lambda_2(i_T) / \lambda_1(i_T), \quad (4.16)$$

Тогда

$$M_T = k(i_T) M_H \quad (4.17)$$

Если гидротрансформатор с обгонной муфтой, то с учетом режима блокировки насосного и турбинного колес (подробно режим блокировки см. п. 4.6) получим

$$M = \begin{cases} -M_H & \text{при } i_T < 1 \\ -M_T |_{i_T=1} - \Delta M & \text{при } i_T = 1 \text{ и } \begin{cases} \omega_i \geq 0 \\ M^* > M_T \geq 0 \end{cases} \text{ или } \begin{cases} \omega_i \leq 0 \\ M^* < M_T \leq 0 \end{cases} \\ -(M^* + \Delta M) & \text{при } i_T = 1 \text{ и } \begin{cases} \omega_i \geq 0 \\ M_T > M^* \end{cases} \text{ или } \begin{cases} \omega_i \leq 0 \\ M_T < M^* \end{cases} \end{cases} \quad (4.18)$$

$$M = \begin{cases} M_T & \text{при } i_T < 1 \\ M_T |_{i_T=1} & \text{при } i_T = 1 \text{ и } \begin{cases} \omega \geq 0 \\ M^* > M_T \geq 0 \end{cases} \text{ или } \begin{cases} \omega \leq 0 \\ M^* < M_T \leq 0 \end{cases} \\ M^* & \text{при } i_T = 1 \text{ и } \begin{cases} \omega \geq 0 \\ M_T > M^* \end{cases} \text{ или } \begin{cases} \omega \leq 0 \\ M_T < M^* \end{cases} \end{cases} \quad (4.19)$$

где  $M^*$  — момент на турбинном колесе, определяемый из уравнений блокировки (см. п. 4.6);  $M_{н.т} |_{i_T=1} = \rho \lambda_{н.т}(1) D^5 \omega_i |\omega_i|$ ;  $\Delta M$ —момент потерь на лопатках реактора;

$$\Delta M = M_H |_{i_T=1} - M_T |_{i_T=1} = M_H |_{i_T=1} [1 - k(1)] \quad (4.20)$$

Если насосное и турбинное колеса гидротрансформатора могут блокироваться фрикционом, то выражения (4.18)—(4.19) принимают вид

$$M = \begin{cases} -M_n - M_\phi & \text{при } i_r \neq 1 \\ -M_T |_{i_r=1} - |M_\phi|_{i_r=1} \cdot \text{sign}(|M^* - M_T|_{i_r=1}) - \Delta M & \\ \text{при } i_r = 1 & |M_\phi|_{i_r=1} < |M^* - M_T|_{i_r=1} \\ (-M^* + \Delta M) & \text{при } i_r = 1 \text{ и } |M_\phi|_{i_r=1} \geq |M^* - M_T|_{i_r=1} \end{cases} \quad (4.21)$$

$$M = \begin{cases} M_T + M_\phi & \text{при } i_r \neq 1 \\ M_T |_{i_r=1} + |M_\phi|_{i_r=1} \cdot \text{sign}(|M^* - M_T|_{i_r=1}) - \Delta M & \\ \text{при } i_r = 1 & |M_\phi|_{i_r=1} < |M^* - M_T|_{i_r=1} \\ M^* & \text{при } i_r = 1 \text{ и } |M_\phi|_{i_r=1} \geq |M^* - M_T|_{i_r=1} \end{cases} \quad (4.22)$$

где  $M_\phi$  — момент фрикционной муфты;

$$M_\phi = k\rho(t)\mu(|\omega_i - \omega_j|) \text{sign}(\omega_i - \omega_j), \quad (4.23)$$

а при равенстве угловых скоростей  $\omega_i = \omega_j$

$$|M_\phi|_{i_r=i} = k\rho(t)\mu(0) \quad (4.24)$$

**Гидромуфта.** Момент, реализуемый в гидромуфте,

$$M_M = \rho \lambda(i_M) D^5 \omega_i |\omega_i| \quad (4.25)$$

где  $\rho \lambda(i_M)$  — характеристика гидромуфты в функции  $i_M = \omega_j / \omega_i$ , (рис. 4.3, з).

Поскольку при  $i_M = 1$   $\lambda(i_M) = 0$ , то режима блокировки в гидромуфте нет, так как при равенстве угловых скоростей момент, реализуемый гидромуфтой, равен нулю.

**Колесный движитель.** Уравнения динамики колесного движителя имеют вид

$$m v_k = \sum_{i=1}^N R_n + W, \quad (4.26)$$

$$J_n \omega_n = M_n - R_n r_n + M_{\text{торм } n}, \quad n = 1, 2, \dots, N,$$

где  $m$  — масса машины;  $R_n$  — окружная сила в узле  $j$  (см. рис. 4.1) на  $n$ -м колесе (на колесах  $n$ -й оси);  $W$  — суммарная сила сопротивления;  $J_n$  — приведенный момент инерции вращающихся масс  $n$ -й оси;  $M_n$  — активный момент  $n$ -й оси;  $r_n$  — радиус колеса (колес  $n$ -й оси);  $M_{\text{торм } n}$  — тормозной момент на валу  $n$ -й оси, приложенный в начальном узле.

В установившемся режиме окружная сила на колесе связана с относительной пробуксовкой  $\delta$  зависимостью

$$R = f(|\delta|) \text{sign}(\omega r - v) \quad (4.27)$$

$$\delta = \frac{\omega r - v}{|\omega r|} \quad (4.28)$$

где  $f(|\delta|)$ —характеристика буксования (рис.4.3,д);  $\omega$ —угловая скорость колеса;  $v$ —скорость поступательного движения машины (узел  $k$  см. рис. 4.1).

Радиус  $r$  колеса зависит от статического прогиба колеса под нагрузкой  $y_{ст}$  и динамического изменения прогиба колеса  $y(t)$ , зависящего от нагрузки на колесо, жесткости и демпфирования шин, неровностей профиля дороги. В рассматриваемом случае величину  $y(t)$  можно считать внешним воздействием. Тогда

$$r = r_0 - y_{ст} - y(t) \quad (4.29)$$

где  $r_0$ —свободный радиус колеса;  $y_{ст} = G/c_{ш}$  (здесь  $G$ —нагрузка, приходящаяся на ось;  $c_{ш}$ —радиальная жесткость шины).

В неустановившемся режиме зависимость (4.27), имеющая статический характер, должна быть заменена другой, динамической моделью.

Для этого воспользуемся методикой, предложенной в работе, в соответствии с которой окружная сила  $R$  на колесе является функцией продольной деформации  $\lambda$  шины (рис.4.4)

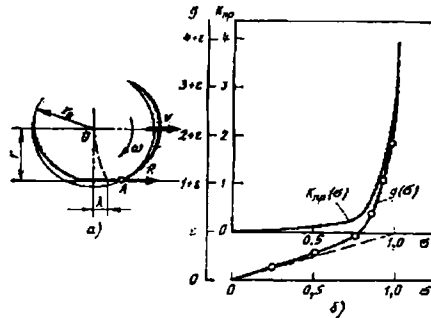


Рис. 4.4. К выводу дифференциального уравнения окружной силы на колесе: а—расчетная схема продольной деформации шины; б—зависимость  $K_{np}(\lambda)$ .

(рис.4.4,а), а также сжатия набегающих волокон. При качении колеса без проскальзывания отпечатка шины скорость точки  $A$  равна нулю. С другой стороны, с учетом геометрии и кинематики колеса

$$v_A = v - \omega r + \lambda + \varepsilon |\omega| \lambda$$

Отсюда следует уравнение связи при чистом качении колеса

$$v - \omega r + \lambda + \varepsilon |\omega| \lambda = 0 \quad (4.30)$$

где  $\varepsilon$  — коэффициент, учитывающий сжатие набегающих волокон. При проскальзывании отпечатка шины

$$v_{\lambda} = -K_{\text{ПП}}|\omega|\lambda, \quad (4.31)$$

где  $K_{\text{ПП}}$  — эмпирический коэффициент, зависящий от отношения окружной силы к сцепному весу  $\psi G$ , приходящемуся на колесо (здесь  $\psi$  — коэффициент сцепления); зависимость  $K_{\text{ПП}}$  от  $\sigma = R/(\psi G)$  представлена на рис. 4.4, б.

Следовательно, при буксовании колеса уравнение связи имеет вид

$$v - \omega r + \lambda + \varepsilon|\omega|\lambda = -K_{\text{ПП}}|\omega|\lambda, \quad (4.32)$$

Окружная сила практически линейно зависит от:

$$R = C_{\lambda}\lambda \quad (4.33)$$

где  $C_{\lambda}$  — тангенциальная жесткость шины.

Тогда при чистом качении колеса

$$R + \varepsilon|\omega|R = C_{\lambda}(\omega r - v), \quad (4.34)$$

а при буксовании

$$R + (\varepsilon + K_{\text{ПП}})|\omega|R = C_{\lambda}(\omega r - v) \quad (4.35)$$

Обозначив

$$\frac{(\varepsilon + K_{\text{ПП}})R}{\psi G} = g\left(\frac{R}{\psi G}\right) \quad \delta(R) = \frac{\psi G}{C_{\lambda} \kappa} g\left(\frac{R}{\psi G}\right),$$

окончательно получим

$$R + C_{\lambda}r|\omega|\delta(R) = C_{\lambda}(\omega r - v) \quad (4.36)$$

При установившемся режиме  $R = 0$ , и тогда из (4.36) вытекает

$$\delta(R) = \frac{\omega r - v}{|\omega r|} \quad (4.37)$$

т.е. в установившемся режиме функция буксования  $\delta(R)$  равна относительной пробуксовке колеса.

Таким образом, математическая модель колесного движителя состоит из уравнений (4.26), (4.29) и (4.36).

**Дифференциал.** Дифференциал разделяет схему на участки, для которых узлы  $i$  и  $j$  полуосей являются либо начальными (при разветвлении потока мощности), либо конечными (при суммировании потоков). Угловые скорости полуосей связаны с угловой скоростью входного вала зависимостью

$$\frac{\omega_{\kappa} i_p - \omega_i}{\omega_{\kappa} i_p \omega} = -i \quad (4.38)$$

откуда

$$\omega_i + i_{\kappa} \omega_{\kappa} = (1 + i_{\kappa}) i_p \omega_{\kappa} \quad (4.39)$$

где  $i_{\kappa}$  — передаточное отношение дифференциала;  $i_p$  — передаточное отношение редуктора между входным валом и водилом.

Для симметричного дифференциала  $i_{\kappa} = 1$ , и тогда



$$\frac{\omega_i + \omega_j}{2} = \omega_k i_r \quad (4.40)$$

Моменты в узлах  $i, j$  и  $k$  связаны соотношениями

$$M_i = \frac{1}{i_r(1+i_{i,j})} M_k \quad (4.41)$$

$$M_j = \frac{i_l}{i_r(1+i_{i,j})} M_k \quad (4.42)$$

Таким образом, зная момент  $M_k$ , можно определить моменты  $M_i$  и  $M_j$  в узлах полуосей.

Интегрируя уравнения динамики вида

$$J_i \dot{\omega}_i = M_i \quad (4.43)$$

$$J_j \dot{\omega}_j = M_j$$

получим  $\omega_i$  и  $\omega_j$ , откуда, пользуясь уравнением (4.39), найдем  $\omega_k$ .

Следовательно, необходимо знать величину  $M_k$ . Условимся, входной вал дифференциала всегда считать упругим, при этом узел  $k$  в результате структурного анализа (см. п. 4.3) не может быть отнесен к какому-либо участку. Это учитывается в алгоритме структурного анализа, в результате которого узлы  $i$  и  $j$  являются либо начальными (если есть элементы, у которых первые узлы совпадают с узлами  $i$  и  $j$  дифференциала), либо конечными (если есть элементы, у которых вторые узлы совпадают с узлами  $i$  и  $j$  дифференциала), а узел  $k$  не входит ни в один из участков и обязательно является узлом упругого вала. Это не ограничивает общности решения задачи, зато позволяет получить интересующие величины.

Приведенные на рис. 4.3 характеристики элементов аппроксимируются конечным набором точек  $(x_m, y_m)$ , где  $x$ —аргумент,  $y$ —функция, и задаются в табличной форме. Для получения текущего значения  $y(x)$  используется метод линейной интерполяции.

#### 4.6. Моделирование режимов блокировки фрикционных муфт и гидротрансформаторов

**Предварительные замечания.** При моделировании режима блокировки вращающихся масс фрикционных муфт и гидротрансформаторов можно осуществить стыковку участков, граничащих с этими элементами, в один участок и сделать пересчет приведенных моментов инерции, перейдя, таким образом, к системе уравнений более низкого порядка. Так, при разблокированных массах система уравнений, описывающих динамику муфты, имеет вид

$$J_1 \omega_1 = M_2 - M_{\text{д}} \quad (4.44)$$

$$J_2 \omega_2 = M_{\text{д}} + M_{\text{н}}$$

где  $J_1$  и  $J_2$ —приведенные моменты инерции первого и второго участков, примыкающих соответственно к ведущей и ведомой частям муфты;  $M_{\text{д}}$ —

движущий момент;  $M_M$  — момент, передаваемый муфтой;  $M_H$  — момент от нагрузки;  $\omega_1$  и  $\omega_2$  — угловые скорости ведущей и ведомой полумуфт.

При блокировке уравнения (4.44) имеют вид

$$\begin{aligned} (J_1 + J_2) \dot{\omega}_2 &= M_d - M_H, \\ \omega_2 &= \omega_1. \end{aligned} \quad (4.45)$$

При таком подходе возникает ряд трудностей, связанных с возможным и частым изменением структуры системы уравнений при частой смене состояний блокировки и разблокировки.

Предлагается метод формирования уравнений, позволяющий при моделировании динамики участков схемы независимо от состояния блокируемых масс сохранять структуру системы уравнений неизменной.

Покажем, что переход от уравнений (4.44) к уравнениям (4.45) не является необходимым, поскольку при корректном определении  $M_M$  можно моделировать оба режима вращения муфты, пользуясь системой уравнений (4.44), не нарушая тем самым структуру сформированной общей системы уравнений.

**Условия блокировки.** Пусть  $\omega_2 = \omega_1$  и  $\dot{\omega}_1 = \dot{\omega}_2$ , т.е. произошла блокировка полумуфт. Тогда из уравнений (4.44) следует

$$\frac{M_d - M_M}{J_1} = \frac{M_M - M_H}{J_2}, \quad (4.46)$$

$$M_M = \frac{J_1 M_d - J_2 M_H}{J_1 + J_2}. \quad (4.47)$$

Подставляя выражение (4.47) в уравнение (4.44), получаем

$$J_1 \dot{\omega}_1 = M - \frac{J_1 M_H - J_2 M_d}{J_1 + J_2}, \quad (4.48)$$

$$J_2 \dot{\omega}_2 = \frac{J_1 M_H + J_2 M_d}{J_1 + J_2} - M \quad (4.49)$$

$$\begin{aligned} (J_1 + J_2) \dot{\omega}_1 &= M - M \\ \dot{\omega}_2 &= \dot{\omega}_1 \end{aligned}$$

Таким образом, если  $\dot{\omega}_1 = \dot{\omega}_2$ , то имеет место выражение (4.47), и наоборот. Следовательно, условием применения уравнений (4.44) в режиме блокировки является выражение (4.47) и равенство скоростей ведущей и ведомой полумуфт:

$$\omega_1 = \omega_2$$

Рассмотрим равенство  $\dot{\omega}_1 = \dot{\omega}_2$  и выясним, какому условию на моменты  $M_M$ ,  $M_d$  и  $M_H$  оно эквивалентно.

Проинтегрируем уравнения (4.44) один раз по  $t$  и разрешим их относительно  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .

$$\begin{aligned} \omega_1 &= J_1^{-1} \int (M - M_M) d\tau + \omega \\ \omega_2 &= J_2^{-1} \int (M - M_H) d\tau + \omega \end{aligned} \quad (4.50)$$

где  $\omega_n = \omega_1 |_{t=0} \cdot \omega_m = \omega_1 |_{t=0}$

Из условия равенства скоростей  $\omega_1$  и  $\omega_2$  следует

$$J_1^{-1} \int_0^t (M_x - M_0) d\tau + \omega_0 = J_2^{-1} \int_0^t (M_r - M_0) d\tau + \omega_0 \quad (4.51)$$

откуда

$$\int_0^t M_0 d\tau = \int_0^t \frac{J_1 M_x + J_2 M_r}{J_1 + J_2} d\tau + \frac{\omega_0 - \omega_0}{J_1 + J_2} J_1 J_2 \quad (4.52)$$

С другой стороны, если имеет место выражение (4.52), то подстановка его в систему (4.48) дает  $\omega_1 = \omega_2$

Таким образом, условия  $\omega_1 = \omega_2$  и (4.52) эквивалентны. Введем обозначения:

$$S_1 = \int M_0 d\tau \quad S_2 = \int_0^t \frac{J_1 M_x + J_2 M_r}{J_1 + J_2} d\tau$$

$$S_1 = \frac{\omega_0 - \omega_0}{J_1 + J_2} J_1 J_2 \quad M^* = \frac{J_1 M_x + J_2 M_r}{J_1 + J_2}$$

Пусть предельный момент, развиваемый муфтой,  $\overline{M}_M = f[z(t), u]$  где  $z(t)$  — сигнал управления:  $u$  — характеристика (для фрикционной муфты, например, сигналом управления является давление  $p(t)$  в механизме прижатия дисков фрикционной пары, а характеристикой — зависимость коэффициента трения от разности угловых скоростей дисков).

На рис. 4.5 показаны зависимости моментов и угловых скоростей от времени  $t$ . В момент времени  $t=t_2$  площади под кривыми моментов равны, т. е.  $S_1 = S_2 + S_3$ . Это одновременно означает выравнивание угловых скоростей  $\omega_1 = \omega_2$  (точка А). В этот момент времени

$$|\overline{M}_M| = |f[z(t), u]| \geq |M^*| \quad (4.53)$$

поэтому произойдет скачок  $M_M, \overline{M}_M$  до  $M^*$  и дальнейшее движение полумуфт будет блокированным на промежутке  $t_2 \leq t \leq t_3$ .

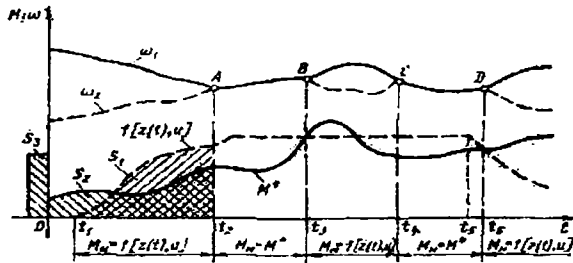


Рис. 4.5. Геометрическая интерпретация режима блокировки муфты

При  $t \geq t_3$  из-за увеличения  $M^*$  наступает момент, при котором

$$|f[z(t), u]| < |M^*| \quad (4.54)$$

и  $M_M$  с точностью до знака становится равным  $f[z(t), u]$ :

$M_M = |f[z(t), u]| \geq \text{sign } M^*$  т.е. начинается пробуксовка ( $\omega_1 > \omega_2$ ) муфты (точка B).

При  $t=t_4$   $M^*$  уменьшается до значения, при котором вновь имеет место равенство  $S_1=S_2+S_3$ , т.е.  $\omega_1 = \omega_2$  (точка C). Поскольку в этот момент времени опять выполняется условие (4.53), происходит скачок  $M_M$  до значения  $M^*$  и на промежутке  $t_4 \leq t \leq t_6$  муфта снова блокируется. При  $t=t_5$  начинается принудительное размыкание муфты, предельный момент  $f[z(t), u]$  снижается и при  $t \geq t_6$  вновь становится по модулю меньшим  $M^*$ . В результате при  $t=t_6$  (точка D) снова начинается пробуксовка муфты.

Условия блокировки (4.53), (4.54) были учтены при записи математических моделей фрикционной муфты [см. уравнения (4.14)] и гидротрансформатора [см. уравнения (4.18), (4.19), (4.21), (4.22)].

Для гидротрансформатора с обгонной муфтой всегда  $\omega_1 \geq \omega_2$ , и блокировка наступает при  $\omega_1 = \omega_2$ , поэтому условия (4.18), (4.19) блокировки насосного и турбинного колес гидротрансформатора имеют некоторые формальные отличия от условий (4.14) блокировки фрикционной муфты.

Рассмотрим алгоритм определения реализуемых при блокировке значений момента муфты  $M^*$  в общем случае, т.е. при блокировке произвольного числа жестко связанных между собой муфт.

Общий случай формирования уравнений блокировки участков схемы, алгоритм их формирования и решения. Предварительно рассмотрим принцип формирования уравнений блокировки на ряде примеров.

На рис. 4.6 представлены фрагменты схем привода, содержащих жестко связанные друг с другом блокируемые элементы:

1) параллельно-последовательное соединение трех фрикционных муфт (рис. 4.6, а);

2) параллельное соединение гидротрансформатора и фрикционной муфты (рис. 4.6, б).

Рассмотрим сначала схему, показанную на рис. 4.6, а. Уравнения динамики четырех участков I—IV схемы имеют вид

$$\begin{aligned} J_1 \dot{\omega}_1 &= M_1 i_1 + M_2 i_2, \\ J_2 \dot{\omega}_3 &= M_2 i_2 + M_3 i_3 + M_4 i_4, \\ J_3 \dot{\omega}_8 &= M_3 i_3 + M_4 i_4, \\ J_4 \dot{\omega}_4 &= M_4 i_4 + M_5 i_5, \end{aligned} \quad (4.55)$$

где  $J_1, \dots, J_{IV}$ —приведенные моменты инерции участков I, ..., IV;  $M_1, M_4, M_9$ —внешние (известные) моменты;  $M_2, M_3, M_5, M_6, M_7, M_8$ —искомые моменты, реализуемые муфтами; передаточные отношения в узлах 1 ... 8:  $i_1=i_3=i_4=i_8=1$ ;

$$\begin{aligned} i_2 &= \omega_2 / \omega_1, i_6 = \omega_6 / \omega_1, i_5 = \omega_5 / \omega_1, \\ i_7 &= \omega_7 / \omega_3, i_8 = \omega_8 / \omega_3. \end{aligned} \quad (4.56)$$

Пусть в некоторый момент времени  $\omega_1 = \omega_1, \omega_2 = \omega_2, \omega_3 = \omega_3$ . Условимся, что искомые моменты будем определять в узлах  $j$  муфт, т. е.  $M_3, M_6$  и  $M_8$ .

Предположим, что все три муфты заблокированы; тогда

$$\left. \begin{array}{l} \omega_1 = \omega_2 \\ \omega_2 = \omega_3 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \omega_3 = \omega_4 \\ \omega_5 = \omega_6 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \omega_7 = \omega_8 \\ \omega_7 = \omega_8 \end{array} \right\} \quad (4.57)$$

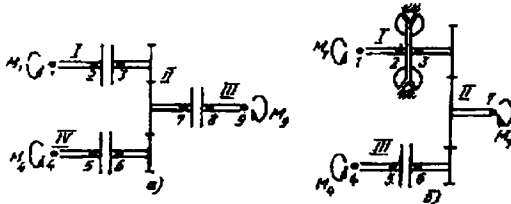


Рис. 4.6. К выводу уравнений блокировки:

*a* — параллельно-последовательное соединение трех фрикционных муфт; *b* — параллельное соединение гидротрансформатора и фрикционной муфты.

С учетом выражений (4.56) из уравнений (4.55) и равенств (4.57) получим следующую систему уравнений относительно неизвестных  $M_3, M_6$  и  $M_8$ :

$$\begin{aligned} & \left( \frac{i_1^2}{J} + \frac{i_2^2}{J} \right) M + \frac{i_2 i_3}{J} M + \frac{i_7 i_8}{J} M - \frac{i_7 i_8}{J} M \\ & \frac{i_6 i_7}{J} M - \left( \frac{i_6^2}{J} + \frac{i_7^2}{J} \right) M + \frac{i_6 i_7}{J} M - \frac{i_6 i_7}{J} M \\ & \frac{i_7 i_8}{J} M - \frac{i_7 i_8}{J} M + \left( \frac{i_7^2}{J} + \frac{i_8^2}{J} \right) M - \frac{i_7 i_8}{J} M \end{aligned} \quad (4.58)$$

Следует заметить, что хотя передаточные числа  $i_1, i_2, i_3, i_8$  равны единице, они записаны в системе уравнений (4.58) для общности алгоритма.

Решая систему уравнений (4.58), получим искомые моменты  $M_3, M_6$  и  $M_8$ . Затем каждый из них подставим вместо  $M^*$  в условия блокировки фрикциона (4.14) и выясним, блокируется ли каждая из муфт. Если для какой-либо фрикционной муфты условия блокировки не выполнены, то производится повторное формирование уравнений блокировки и их решение, причем момент той муфты, для которой условия блокировки не выполнены, переходит в число внешних (известных) моментов, т. е. в правую часть уравнений, порядок которых будет, очевидно, меньшим. Процесс повторяется до тех пор, пока либо все компоненты решения системы (4.58) не удовлетворят условиям блокировки, либо все из рассматриваемых муфт окажутся разблокированными.

Рассмотрим схему, показанную на рис. 4.6, *b*. Уравнения динамики трех участков *I, II* и *III* имеют вид

$$\begin{aligned} J_I \omega_1 &= M_{i_1} + M_{i_2} \\ J_{II} \omega_6 &= M_{i_3} + M_{i_6} + M_{i_7} \\ J_{III} \omega_4 &= M_{i_7} + M_{i_8} \end{aligned} \quad (4.59)$$

где  $M_1, M_5, M_7$ —внешние (известные моменты);  $M_2 = -(M_3 + \Delta M)$ ,  $M_5 = -M_6$  — искомые моменты, реализуемые муфтами;  $\Delta M$  — момент потерь на лопатках реактора гидротрансформатора в режиме блокировки [см. уравнение (4.20)]; передаточные отношения в узлах 1... 7

$$i_1 = i_4 = i_8 = 1;$$

$$\begin{aligned} i_2 &= \omega_2' / \omega_1, \quad i_3 = \omega_3' / \omega_6, \quad i_5 = \omega_5' / \omega_3, \\ i_7 &= \omega_7' / \omega_6, \end{aligned} \quad (4.60)$$

Пусть  $\omega_2 = \omega_1$  и  $\omega_5 = \omega_6$ . Как и раньше, будем определять искомые моменты в узлах  $j$ , т. е.  $M_3$  и  $M_6$ . Исходя из предположения, что заблокированы обе муфты, т. е.

$$\omega_2 = \omega_1, \quad \omega_5 = \omega_6 \quad (4.61)$$

$$\omega_2 = \omega_3, \quad \omega_5 = \omega_6$$

и учитывая выражения (4.60), из уравнений (4.57) и (4.59) получим аналогично предыдущему примеру следующие уравнения блокировки:

$$\begin{aligned} \left( \frac{i_2^2}{J} + \frac{i_3^2}{J} \right) M_3 + \frac{i_3 i_6}{J} M_6 &= \frac{i_2 i_1}{J} M_1 - \frac{i_7 i_5}{J} M_7 - \frac{i_2^2}{J} \Delta M \\ \frac{i_5 i_3}{J} M_3 + \left( \frac{i_6}{J} + \frac{i_5^2}{J} \right) M_6 &= - \frac{i_7 i_6}{J} M_7 + \frac{i_5 i_4}{J} M_4. \end{aligned} \quad (4.62)$$

Решая уравнения (4.62) относительно  $M_3$  и  $M_6$  и подставляя  $M_3$  в условия блокировки гидротрансформатора (4.18), (4.19) вместо  $M^*$ , а  $M_6$  — в условия блокировки фрикциона, (4.14) вместо  $M^*$ , определим, блокируются ли эти муфты. Если условия блокировки выполнены, то найденные значения  $M_3$  и  $M_6$  подставляют в соответствующие уравнения динамики участков; если для какой-то муфты эти условия не выполнены, то данная муфта исключается из рассмотрения режима блокировки, ее момент принимает другое значение, определяемое из (4.18), (4.19) или (4.14), и переходит в число внешних моментов. Процесс повторяется до тех пор, пока либо не найдется система муфт, у которых моменты, полученные решением уравнений блокировки, удовлетворяют условиям блокировки, либо таких муфт не окажется вовсе.

Рассмотренные примеры позволяют перейти к формализации алгоритма составления уравнений блокировки в общем виде.

Отметим следующие обстоятельства, вытекающие из примеров. Пусть рассматривается некоторая муфта, у которой  $\omega_i = \omega_j$ , и пусть моменты инерции участков, примыкающих к данной муфте в узлах  $i$  и  $j$ , равны соответственно  $J_1$  и  $J_2$ , а передаточные отношения в этих же узлах равны соответственно  $I_1$  и  $I_2$ ; тогда коэффициент при неизвестном моменте данной муфты  $M_i$  в уравнении, полученном приравнением  $\dot{\omega}_i$  и  $\dot{\omega}_j$ , будет равен

$$I_1^2 / J_1 + I_2^2 / J_2 \quad (4.63)$$

Таким образом, получаем, что все диагональные элементы матрицы коэффициентов уравнений блокировки имеют форму (4.63).

В это же уравнение могут войти и неизвестные моменты других муфт, жестко связанных с первой. Это значит, что один из узлов другой муфты (пусть это будет узел  $n$ ) входит в участок схемы, содержащий либо узел  $i$ , либо узел  $j$ . Тогда коэффициент при неизвестном моменте этой муфты будет равен

$$\pm I_n I_i / J \quad (4.64)$$

где  $I_n$  — передаточное отношение в узле  $n$ ;  $J$  — момент инерции участка, содержащего узел  $n$ ;  $I_i$  — передаточное отношение, равное

$$I_i = \begin{cases} I_i, & \text{если } J = J_1, \\ I_j, & J = J_2, \end{cases} \quad (4.65)$$

знак «плюс» берется в том случае, если узлы  $j$  и  $n$  входят в один участок и узел  $n$  начальный или узлы  $i$  и  $n$  входят в один участок и узел  $n$  конечный (т.е. эти муфты соединены параллельно); знак «минус» — в противном случае (последовательное соединение муфт).

Если момент в узле  $n$  известен (Момент в некотором узле  $n$  считается известным в двух случаях: либо узел  $n$  не является узлом муфты, либо муфта, содержащая узел  $n$ , не блокируется.), то его значение, умноженное на коэффициент, равный значению выражения (4.64), переносится в правую часть уравнения блокировки.

Формально составление уравнений блокировки в общем случае (при произвольном числе блокируемых элементов, жестко связанных друг с другом) сводится к следующему алгоритму.

Сначала выявляются все муфты, которые могут быть заблокированы, т.е. муфты, у которых  $\omega_i = \omega_j$ , и представляется дополнительная информация (табл. 4.2).

Дополнительная информация для составления уравнений блокировки муфт

Таблица 4.2.

Номера муфт, которые могут быть заблокированы (в порядке выявления)	Номера узлов входа ( $i$ ) и выхода ( $j$ ) муфты		Номера граничных участков, примыкающих к данной муфте в узлах	
	$i$	$j$	$i$	$j$
1	$i_1$	$j_1$	$l_{11}$	$l_{11}$
2	$i_2$	$j_2$	$l_{12}$	$l_{12}$
3	$i_3$	$j_3$	$l_{13}$	$l_{13}$
N	$i_N$	$j_N$	$l_{1N}$	$l_{1N}$

Рассматривается муфта с номером  $m$  ( $m=1, \dots, N$ ). Диагональные элементы матрицы коэффициентов уравнений блокировки вычисляются по формуле

$$a_{mm} = \frac{I_{im}^2}{J_{lim}} + \frac{I_{jm}^2}{J_{ljm}} \quad (4.66)$$

где  $I_{im}, J_{jm}$  — передаточные отношения в узлах  $i_m$  и  $j_m$   $m$ -й муфты;  $J_{lim}, J_{ljm}$  — моменты инерции участков  $l_{im}$  и  $l_{jm}$ , примыкающих к  $m$ -й муфте в узлах  $i_m$  и  $j_m$ .

Если  $m$ -я муфта жестко связана в схеме с  $k$ -й муфтой, то недиагональный элемент матрицы коэффициентов равен

$$a_{mk} = \begin{cases} \frac{I_{im} I_{ik}}{J_{lim}}, & \text{если } l_{im} = l_{ik} \\ \frac{I_{jm} I_{jk}}{J_{ljm}}, & \text{если } l_{jm} = l_{jk} \\ -\frac{I_{jm} I_{ik}}{J_{ljm}}, & \text{если } l_{jm} = l_{ik} \\ \frac{I_{im} I_{jk}}{J_{lim}}, & \text{если } l_{im} = l_{jk} \end{cases} \quad (4.67)$$

Правые части уравнений блокировки для  $m$ -й муфты вычисляются в виде

$$b_m = \sum_{n \in l_m} \frac{I_n I_n}{J_{l_n}} M_n - \sum_{n \in l_m} \frac{I_n I_n}{J_{l_n}} M_n \quad (4.68)$$

где  $n$  — внешние узлы, не входящие в узлы входа ( $i$ ) и выхода ( $j$ ) муфт, которые могут быть заблокированы (см. табл.4.2).

После обхода всех  $N$  муфт сформирована система  $N$  линейных уравнений блокировки с  $N$  неизвестными моментами.

Если каждый из найденных в результате решения моментов удовлетворяет условию блокировки данной муфты, то на этом процесс составления уравнений блокировки и нахождения моментов муфт заканчивается. Если момент какой-нибудь муфты не удовлетворяет условиям блокировки, то эта муфта исключается из числа блокируемых, и процесс составления и решения уравнений блокировки повторяется. При этом момент не сблокированной муфты равен  $\overline{M}_m \cdot \text{sign} M^*$ , где  $\overline{M}_m$  — предельный момент, определяемый для данной муфты по ее характеристике;  $M^*$  — момент этой муфты, найденный из уравнений блокировки.

По приведенной модели рассмотрен процесс разгона грузового автомобиля мощностью двигателя 300 КВт

На рис.4.7 приведены зависимости изменения ускорения, скорости и пути грузового автомобиля в зависимости от времени.

На рис.4.8 приведена динамическая характеристика автомобиля. При расчетах были приняты следующие значения параметров автомобиля:  $m_a = 51000$  кг,  $\eta_T = 0,85$ ;  $r_k = 0,76$  м,  $f_k = 0,02$ ;  $\alpha = 0$ ;  $k_w = 0,06$  кгс·с/м<sup>2</sup>;  $\psi_{max} = 0,18$ ;  $\varphi = 0,025$ ;  $M_T \eta = 1800$  Н·М;  $M_{T0} = 1100$  Н·М;  $V_{max} = 50$  км/час;  $\delta = 0$ .



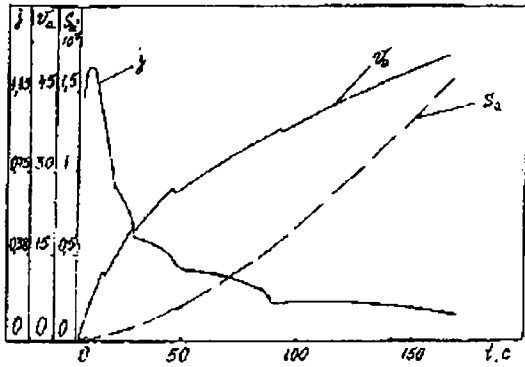


Рис.4.7. Зависимости изменения ускорения, скорости и пути автомобиля.

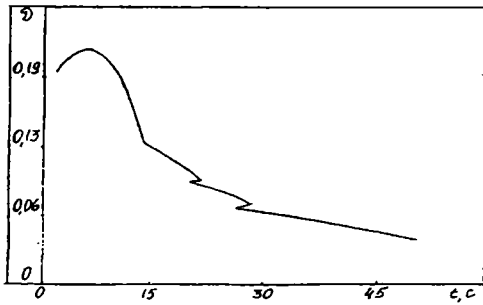


Рис.4.8. Динамические характеристики автомобиля

## **ГЛАВА 5**

### **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА (АСТПП)**

В целом производственный процесс есть совокупность действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления и ремонта продукции.

Технологический процесс - часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению состояния предмета труда.

Технологический процесс начинается с получения заготовки. Заготовки для производства деталей машин, механизмов и т. д. Получают литьём, прокатом, штамповкой, ковкой и прочие. Полученные заготовки направляют на механическую обработку, в процессе которой получают законченную деталь. Завершающим процессом в машиностроительном производстве является сборка изделия.

Законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте, называется технологической операцией.

Рабочее место - элементарная единица структуры предприятия, где размещаются исполнители работы, обслуживаемое или технологическое оборудование, часть конвейера, оснастка и предметы труда (поступающие на ограниченное время).

Технологический переход - законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке.

Базирование - придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

База - поверхность или сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования.

Технологическая база - используется для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта.

Измерительная база - используется для определения положения заготовки или изделия относительно средств измерения.

Технологическая оснастка - различные зажимные устройства, необходимые для закрепления детали в нужном положении; приспособления для осуществления технологических операций.

#### **5.1 Технологическая подготовка производства.**

Подготовка любого производства состоит из научного, организационного, конструкторского и технологического этапов.

Технологическая подготовка включает комплекс работ, обеспечивающих наиболее эффективное применение новых, высокопроизводительных технологических процессов (ТП) с использованием передовых достижений науки и техники на базе максимальной механизации и автоматизации.

Под технологической подготовкой производства (ТПП) в общем случае понимается комплекс работ по обеспечению технологичности конструкции запускаемого в производство изделия, проектированию технологических процессов и средств технологического обеспечения, расчёту технически обоснованных материальных и трудовых нормативов, необходимого количества технологического оборудования и производственных площадей, внедрению технологических процессов и управлению или в производствах, обеспечивающих возможность выпуска нового изделия в заданных объёмах.

Целью технологической подготовки является достижение в процессе изготовления продукции оптимального отношения между затратами и получаемыми результатами.

Одним из важнейших элементов ТПП является отработка на технологичность конструкций деталей, узлов, машин и механизмов.

Технологичной является такая конструкция, которая не только полностью удовлетворяет эксплуатационным требованиям, но и обеспечивает применение высокопроизводительных методов изготовления изделий, рациональное использование оборудования и материалов, преемственность и повторяемость деталей и сборочных единиц.

В ходе технического прогресса требования к технологической подготовке производства в значительной мере изменилась. В условиях первых небольших ремесленных предприятий процесс планирования был не нужен. С разделением труда и развитием средств механизации возникла необходимость в отдельном этапе производства - подготовке производства. В начале этот процесс осуществлялся квалифицированными специалистами. Далее была разработана система документирования подготовки производства. Следующий этап развития - применение технических средств обработки данных. Последующим важным шагом в автоматизации ТПП явилась разработка автоматизированных систем программирования для реализации управления станков с ЧПУ

Наиболее передовым достижением в данной области являются системы автоматизированной ТПП, реализующие комплексный подход к данной проблеме.

Процесс ТПП состоит из эвристических и формализованных методов.

Эвристические методы базируются на различных идеях, интуитивном мышлении, способности к изобретательству. Эти методы реализуются высококвалифицированными инженерами.

Формализованные методы, которые основываются на физико-математических закономерностях, широко используются при автоматизации ТПП.

#### Нормативные документы ЕС ТПП

Во многих отраслях промышленности накоплен опыт системного подхода к процессу подготовки производства. Эти предпосылки позволили поставить задачу создания ЕС ТПП, регламентирующей состав ТПП на предприятии, организацию и управление процессом ТПП.

ЕС ТПП предусматривает применение типовых технологических процессов, стандартной технологической оснастки, агрегатного переналаживаемого оборудования, средств автоматизации инженерно-технических работ. Она взаимодействует с системами разработки и поставки продукции на производство, предусматривает широкую унификацию машин приборов, обеспечение единства измерений, классификацию и кодирование технико-экономической информации (ЕСКК), документации (ЕСКД, ЕСТД). В стандартах ЕС ТПП особое внимание уделено автоматизации ТПП.

ЕС ТПП регламентируется следующими ГОСТами:

- 14001-73 - общие положения ТПП;
- 14004-83 - термины и определения ТПП;
- 14201-83 - общие правила обеспечения технологичности;
- 14205-83 - технологичность, термины и определения;
- 14206-83 - технологический контроль конструкторской документации;
- 14301-83 - общие правила разработки технологических процессов;
- 14303-73 - правила разработки и применения типовых технологических процессов;
- 14312-74 - основные формы организации технологического процесса;
- 14323-84 } - роботизация технологических процессов;
- 14324-84 }
- 14401-73 - правила организации работ по автоматизации инженерно-технических задач;
- 14402-83 }
- 14407-75 }
- 14408-83 }
- 14409-75 }
- 14411-77 }
- 14412-79 } - автоматизированные системы ТПП.
- 14413-80 }
- 14414-79 }
- 14415-81 }
- 14416-83 }
- 14418-84 }
- 14419-84 }

#### Разработка технологических процессов

Различают три вида ТП: единичный, типовой, групповой. Каждый ТП разрабатывается при подготовке производства изделий, конструкции которых отработаны на технологичность.

Групповой технологический процесс предназначен для совместного изготовления группы изделий различной конфигурации в конкретных условиях производства на специализированных рабочих местах. Групповой технологический процесс разрабатывается с целью экономически целесообразного

применения методов и средств крупносерийного и массового производства в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производства.

Типовой технологический процесс характеризуется единством содержания и последовательности большинства технологических операций для группы изделий, обладающих общими конструктивными признаками. Типизация технологических процессов основана на разделении деталей и изделий на отдельные группы, для которых возможна разработка общих технологических процессов или операций.

ТП разрабатывается для изготовления нового изделия или совершенствования выпускаемого. Основой для нового ТП обычно служит имеющийся типовой или групповой ТП. Если таковые отсутствуют, то за основу берут действующие единичные ТП изготовления аналогичных изделий. ТП должен соответствовать требованиям техники безопасности и промышленной санитарии по системе стандартов безопасности труда, инструкций и других нормативных документов.

Исходную информацию для разработки ТП подразделяют на базовую, руководящую и справочную.

Базовая информация включает данные, содержащиеся в конструкторской документации на изделие, и программу его выпуска.

Руководящая информация содержит:

- а) требования отраслевых стандартов к ТП и методам управления ими;
- б) требования стандартов на оборудование и оснастку;
- в) документации на действующие единичные, типовые и групповые ТП;
- г) классификаторы технико-экономической информации;
- д) производственные инструкции;
- е) материалы по выбору технологических нормативов (режимов обработки, норм расхода материалов и др.);
- ж) документации по технике безопасности и промышленной санитарии.

Справочная информация:

- а) технологическая документация опытного производства;
- б) описания прогрессивных методов изготовления;
- в) каталоги, паспорта, справочники, альбомы прогрессивных средств технологического оснащения.

#### Основные этапы разработки ТП механообработки.

Анализ исходных данных. По имеющимся сведениям о программе выпуска и конструкторской документации на изделия изучаются назначение и конструкция изделия, требования к его изготовлению и эксплуатации.

1. Последовательный выбор действующего типового, группового или аналога единичного процесса. Формируют технологический код изделия по технологическому классификатору. Обработываемое изделие относится к соответствующей классификационной группе на основе кода и к действующему типовому или единичному процессу.
2. Выбор заготовки. По классификатору заготовок, методике расчёта и технико-экономической оценки выбора заготовок, стандартам и техни-

ческим условиям на заготовку и основной материал выбирают исходную заготовку и методы её изготовления, даётся технико-экономическое обоснование выбора заготовки.

3. Выбор технологических баз. Производится оценка точности и надёжности базирования. (Используют классификаторы способов базирования и существующую методику выбора технологических баз).
4. Составление технологического маршрута обработки (по документации типового, группового или единичного ТП); определяют последовательность технологических операций и состав технологического оснащения.
5. Разработка составов технологических операций и расчёт режимов обработки. На основании документации (типовых, групповых или единичных технологических операций) и классификатора технологических операций составляют последовательность переходов в каждой операции.
6. Выбор основного оборудования. Здесь используются спецификации оборудования, данные о параметрах обработки. В соответствии с заданными критериями, определяется оборудование, на котором должен быть выполнен конкретный технологический переход. При выборе станка производится дополнительная проверка технических и экономических условий использования.

В качестве технических критериев могут использоваться:

1. параметры рабочей зоны, которые определяют максимально возможную массу детали (или размеры);
2. требуемое качество обработки.
1. Выбор вспомогательных средств. Используются каталоги с данными по инструменту, приспособлениям, средствам контроля. Инструменты, приспособления, зажимные устройства характеризуются как вспомогательное оборудование, так как они определяются основным оборудованием в соответствии с параметрами обрабатываемой позиции. В технологическом маршруте должны постоянно присутствовать данные о необходимых вспомогательных средствах для реализации каждого технологического перехода.
2. Составление программ для станков с ЧПУ
3. Нормирование ТП. Устанавливаются исходные данные расчёта норм времени и расхода материалов; производится расчёт и нормирование труда на выполнение процесса, расчёт норм расхода материалов; определяется разряд работ и профессии исполнителей операций (используют нормативы времени и расхода материалов, классификаторы разрядов работ и профессий).
4. Обеспечение требований техники безопасности и производственной санитарии. Используются стандарты системы безопасности труда, инструкции.
5. Выбор оптимального ТП из нескольких вариантов по методике расчёта экономической эффективности. При разработке ТП ручными методами

количество вариантов не велико. Использование автоматизированных методов позволяет получить лучшие решения.

## 6. Оформление технической документации.

### Основы проектирования технологических процессов сборки.

Исходные данные для проектирования технологических процессов

сборки:

- сборочные чертежи изделия;
- спецификация входящих в узлы деталей;
- размер производственного задания и срок его выполнения;
- условия выполнения сборочных работ.

Степень углубленности проектирования технологического процесса зависит от масштаба выпуска изделий: в единичном и мелкосерийном производствах разрабатывают упрощенный вариант без детализации содержания операций. При массовом производстве изделий технологический процесс разрабатывают детально с проектированием операционной технологии.

В общем случае проектирование технологического процесса сборки включает:

- расчёт такта сборки и выбор организационных форм сборочного процесса: такт сборки - частное от деления расчётного фонда (за смену, месяц и т. п.) на программу выпуска изделий за тот же период; организационная форма - не поточная (стационарная) при единичном производстве; поточная - при серийном и массовом; составление технологических схем сборки узлов и изделия в целом, в которых указывается последовательность сборки изделия и его узлов; проектирование технологических операций сборки: уточняют содержание технологических переходов; определяют схему закрепления базового элемента (детали, узла); выбирают технологическое оборудование, приспособления, рабочий и измерительный инструмент; устанавливают режимы работы, норму времени и разряд работы; определение состава контрольных операций и испытаний; обоснование эффективности сборочного процесса: оценку разработанных вариантов технологических процессов производят, используя абсолютные и относительные показатели. Абсолютные себестоимость отдельных операций и процесса сборки в целом и трудоёмкость сборки узлов и изделия. Относительные - коэффициент загрузки каждого сборочного места, коэффициент загрузки сборочной линии, коэффициент трудоёмкости сборочного процесса (отношение трудоёмкости сборки к трудоёмкости изготовления деталей, входящих в сборочный элемент); оформление технологической документации; проектирование специальной технологической оснастки, в том числе подъёмно-транспортных средств; разработку технологической планировки участков сборочного цеха.

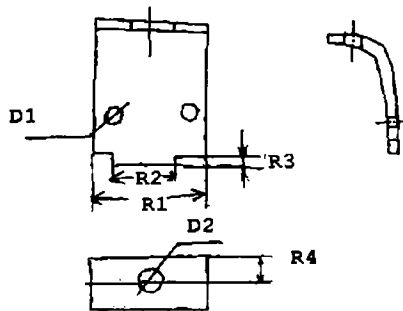
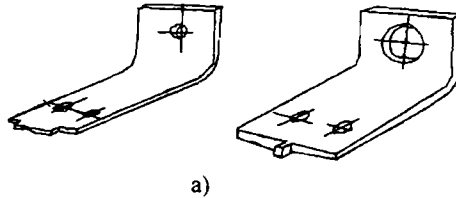
## Методы реализации ТПП

### 1. Управление ТПП.

Метод управления ТПП заключается в организации хранения информации по технологическим маршрутам в соответствии с требованием заказа. Этот метод применяется в качестве повторного планирования. Его область применения является ограниченной, так как повторяемость обрабатываемых деталей, как правило, невелика.

### 2. Вариантное планирование.

Исходной предпосылкой данного метода является разбиение инженерами-технологами деталей на классы. В каждый класс входят детали, изготавливающиеся по аналогичной технологии. В каждом классе выделяются детали-представители, которые являются обобщённым представителем, включающим все специфические особенности каждой детали (рис.5.1). Для такой детали-представителя разрабатывается стандартный технологический маршрут. Для каждой конкретной детали данного класса выбирается вариант стандартного маршрута, являющегося его подмножеством. Вариантное планирование предусматривает возможность уточнения стандартного маршрута путём изменения параметров процесса в определённых границах. Увеличение числа обрабатываемых элементов не допускается.



б)

Рис.5.1

а) - детали представители, б) - стандартный вариант.

$R1-R4$ ,  $D1, D2$  - переменные размеры, задав которые получим из стандартного варианта технологические маршруты согласно заданию. Вариантный метод наиболее употребим на предприятиях с сильно ограниченной но-



менклатурой деталей. Ограничения на номенклатуру значительно снижают степень гибкости системы ТПП.

### 3. Адаптивное планирование.

Первым этапом данного метода является построение некоторого множества технологических маршрутов инженерами-технологами. На этапе технологического проектирования осуществляется поиск наиболее близкого технологического маршрута из имеющихся с помощью определённого классификатора. Далее выбранный технологический маршрут адаптируется к конкретным требованиям заказчика путём добавления, удаления, изменения отдельных шагов проектирования.

Например, требуется построить технологический маршрут для изготовления детали, приведенной на рис.5.2:



Рис.5.2

По классификатору определили, что наибольшим близким из имеющихся, является технологический маршрут для изготовления детали, приведенной на рис.5.3:

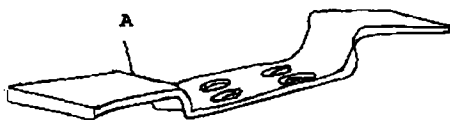


Рис.5.3

Для построения технологического маршрута для заданной детали из имеющегося технологического маршрута удаляются операции изгиба пластины в сечении А. Адаптивное планирование в противоположность методам управления и вариантного планирования, обеспечивает порождение дополнительных технологических данных.

### 4. Метод нового планирования.

Позволяет вести разработку технологических маршрутов для подобных и новых деталей в соответствии с общими и специфическими данными и правилами технологического проектирования. Основой этого служат описания деталей и требования, предъявляемые к её обработке. Анализ этих требований позволяет выявить возможные пути решения технологических задач и в соответствии с определёнными критериями выбрать метод решения. Таким образом, этот метод является и генерирующим. В связи с этим он наиболее ценен и наиболее сложен для автоматизации. Следует отметить, что границы методов весьма условны. Возможно сочетание отдельных элементов различных методов. Выбор метода для конкретной задачи зависит от условий про-

изводства, способов изготовления, назначения изделий, а также от субъективных факторов.

Формы и правила оформления маршрутных карт (МК).

ГОСТ 3,1118-82

Формы МК, установленные настоящим стандартом, являются идентифицированными, и их следует применять независимо от типа и характера производства и степени детализации описания технологических процессов. Для изложения технологических процессов в МК используют способ заполнения, при котором информацию внося построчно несколькими типами строк. Каждому типу строки соответствует свой служебный символ. В качестве обозначения служебных символов приняты буквы русского алфавита, проставляемые перед номером соответствующей строки, например, М01, А12 и т.д.

А	Номер цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция; номер операции, код и наименование операции, обозначение документов, применяемых при выполнении операции.
Б	Код, наименование оборудования и информация по трудозатратам.
К	Информация по комплектации изделия (сборочной единицы) составными частями с указанием наименования деталей, сборочных единиц, их обозначений, обозначения подразделений, откуда поступают комплектующие составные части, коды единицы величины, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода.
М	Информация о применяемом основном материале и исходной заготовке, информация о применяемых вспомогательных и комплектующих материалах с указанием наименования и кода материала, обозначения подразделений, откуда поступают материалы, кода единицы величины, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода.
О	Содержание операции (перехода).
Т	Информация о применяемой при выполнении операции технологической оснастке.

При заполнении информации на строках, имеющих служебный символ О, следует руководствоваться ГОСТ ЕСТД седьмой классификационной группы, устанавливающих правила записи операций и переходов. Запись информации следует выполнять в технологической последовательности по всей длине строки с возможностью, при необходимости, переноса информации на последующие строки. При заполнении информации на строках, имеющих служебный символ Т, следует руководствоваться требованиями соответствующих классификаторов. Информацию по применяемой на операции технологической оснастке записывают в следующей последовательности:

- приспособления:

- вспомогательный инструмент:
- режущий инструмент:
- слесарно-монтажный инструмент:
- специальный инструмент:
- средства измерения.

Запись следует выполнять по всей длине строки с возможностью, при необходимости, переноса информации на последующие строки. Разделение информации по каждому средству технологической оснастки следует выполнять через знак ",."

Заполнение граф.

Но- мер графы	Наименование (условное обозначение) графы	Служебный символ	Содержание информации
1	-	-	Обозначение служебного символа и порядковый номер строки. Например, М02, Б04.
2	-	М01	Наименование, сортament, размер и марка материала, обозначение стандарта.
3	Код	М02	Код материала по классификатору.
4	ЕВ	М02, К,М	Код единицы величины (массы, длины, площади и т. п.) детали, заготовки, материала по классификатору СОЕВС. Допускается указывать единицы измерения величины.
5	МД	М02	Масса детали по конструкторскому документу.
6	ЕН	М02, Б,К, М	Единица нормирования, на которую установлена норма расхода материала или норма времени, например, 1, 10, 100.
7	Норма расхода	М02, К,М	Норма расхода материала.
8	КИМ	М02	Коэффициент использования материала.
9	Код заготовки	М02, М03	Код заготовки по классификатору. Допускается указывать вид заготовки (отливки, прокат,ковка и т.п.)
10	Профиль и размеры	М02, М03	Профиль и размеры исходной заготовки. Информацию по размерам следует указывать исходя из имеющихся габаритов. Допускать профиль не указывать.
11	КД	М02, М03	Количество деталей, изготавливаемых из одной заготовки.
12	МЗ	М02, М03	Масса заготовки.
13	-	-	Графа для особых указаний.
14	Цех	А	Номер (код) цеха, в котором выполняется опра-

			ция.
15	Участок	А	Номер (код) участка, конвейера, поточной линии.
16	РМ	А	Номер (код) рабочего места.
17	Операция	А	Номер операции (процесса) в технологической последовательности изготовления или ремонта изделия (включая контроль и перемещения).
18	Код, наименование операции	А	Код операции по технологическому классификатору, наименование операции. Допускается код операции не указывать.
19	Обозначение документа	А	Обозначение документов, инструкций по охране труда, применяемых при выполнении данной операции. Состав документов следует указывать через знак ";" с возможностью, при необходимости, переноса информации на последующие строки.
20	Код, наименование оборудования	Б	Код оборудования по классификатору, краткое наименование оборудования, его инвентарный номер. Информация указывается через знак ";". Допускается взамен краткого наименования указывать модель. Допускается не указывать инвентарный номер.
21	СМ	Б	Степень механизации (код степени механизации).
22	Проф.	Б	Код профессии по классификатору ОКПДТР.
23	Р	Б	Разряд работы, необходимый для выполнения операции.
24	УТ	Б	Код условий труда по классификатору ОКПДТР и код вида нормы.
25	КР	Б	Количество исполнителей, занятых при выполнении операции.
26	КОИД	Б	Количество одновременно изготавливаемых (обрабатываемых, ремонтируемых) деталей (сборочных единиц) при выполнении одной операции.
27	ОП	Б	Объем производственной партии в штуках.
28	К шт.	Б	Коэффициент штучного времени при многостаночном обслуживании.
29	Т пз.	Б	Норма подготовительно-заключительного времени на операцию.
30	Т шт.	Б	Норма штучного времени на операцию.
31	Наименование детали, сборочной единицы или материала.	К,М	Наименование деталей, сборочных единиц, материалов, применяемых при выполнении операции. (Допускается не заполнять).
32	Обозначение, код	К,М	Обозначение деталей, сборочных единиц по конструкторскому документу или материалов по классификатору.

33	ОПП	К,М	Обозначение подразделения (склада и т.п.), откуда поступают комплектующие детали, материалы.
34	КИ	К,М	Количество деталей, сборочных единиц, применяемых при сборке изделия.

## 5.2 Автоматизация ТПП.

Процесс ТПП, как один из этапов проектирования, может быть автоматизирован. При этом различные задачи ТПП поддаются автоматизации в различной мере. Такие задачи, как расчёт себестоимости техпроцесса, временные затраты могут решаться в автоматическом режиме. Задачи выбора основного оборудования, оснастки и средств контроля могут быть решены, как правило, в диалоговом режиме. Построение технологических маршрутов может быть осуществлено в диалоговом режиме, но часто, особенно при разработке новых технологий, только в ручном. Кроме автоматизации традиционных задач ТПП, использование вычислительной техники позволяет решать новые задачи, значительно повышающие качество ТПП. Это моделирование технологического процесса, разработанного на этапе ТПП, путём соответствующих расчётов и визуальными средствами машинной графики.

Важнейшим преимуществом АСТПП по сравнению с ручной ТПП является возможность оптимизации технологического маршрута, выбора оборудования и т. д. для обработки конкретной детали.

Рассмотрим постановку оптимизационных задач при ТПП.

Выбор материала - минимум стоимости при выполнении заданных требований.

Выбор заготовки - минимум потерь материала.

Определение последовательности технологических переходов - минимальное время изготовления партии деталей.

Выбор оборудования:

а) минимальная стоимость при удовлетворении требований техпроцесса;

б) минимальные приведённые затраты на выполнение технологического контроля;

в) минимальный период окупаемости оборудования.

Оптимизационные задачи также могут быть поставлены при программировании станков с ЧПУ; выборе метода обработки; выборе методов и средств контроля; определении требований техники безопасности и обеспечения устойчивости экологической среды и др.

Кроме отдельных оптимизационных задач, рассмотренных выше, в АСТПП как правило, решается и обобщённая оптимизационная задача - получение ТП, имеющего минимальные затраты на производство единицы продукции. При решении обобщённой задачи учитываются все отдельные критерии путём их суммирования, обобщения, выбора главного критерия и т.д.

В любых методах автоматизации ТПП различают функции по вводу и хранению информации и функции по поиску, изменению и выдаче информации. Эти функции взаимосвязаны и непрерывно взаимодействуют в процессе работы.

#### Автоматизация метода управления ТПП.

Характерным для данного метода - наиболее простого и поэтому первого, для которого были разработаны АСТПП, является хранение информации в соответствии с определённой системой классификации и кодирования и выдача этой информации в удобной для пользователя форме. Основой этого служит наличие множества технологических карт на обрабатываемые детали и определение требований по выполнению заказа (рис. 5.4).

Код карты отражает различные анкеты классификации: вид заготовки, методы обработки и т.д. Кроме того, система классификации предназначена для организации доступа информации, цель которой состоит в минимизации затрат на поиск. По виду поиска метод управления использует метод поиска по имени объекта.

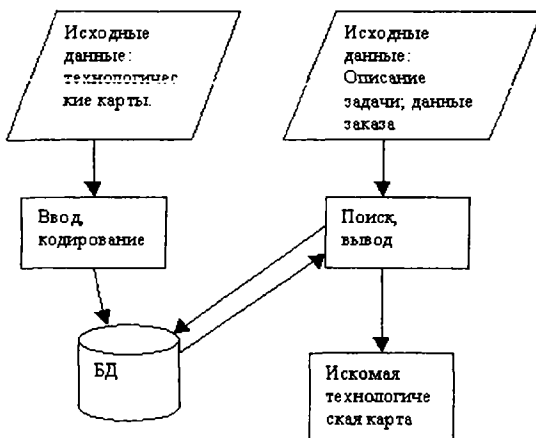


Рис. 5.4. Принципы автоматизированного управления ТПП.

#### Автоматизация метода вариантного планирования.

При использовании метода вариантного планирования определённый класс деталей представлен стандартной технологической картой, которая отражает полный технологический процесс для всех вариантов класса деталей. Функциями этого метода ТПП являются ввод и хранение стандартных технологических карт, их поиск, расчёт переменных параметров процесса, выдача карт (рис.5.5).

На этапе поиска в БД стандартной технологической карты, так же, как и в методе управления, используется метод поиска по имени объекта.

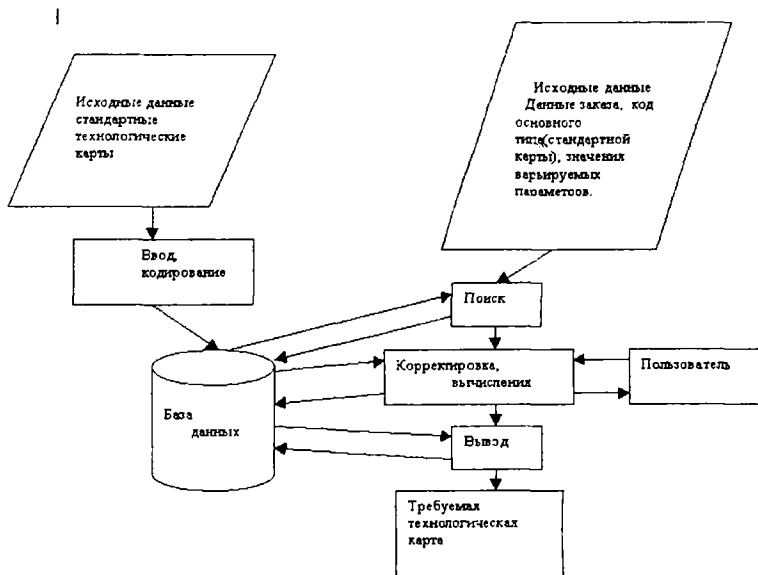


Рис. 5.5. Схема автоматизации метода вариантного планирования

#### Автоматизация метода адаптивного планирования ТПП.

Основные функции метода: ввод и хранение технологических карт, поиск карты-аналога, модификация процесса обработки, проведение дополнительных расчётов (рис.5.6).

Поиск аналога может осуществляться методом поиска по имени объекта; ассоциативным поиском - по известным свойствам объекта (геометрические размеры, форма и т.д.) или смешанным поиском - по имени и по известным свойствам.

#### Автоматизация метода нового планирования ТПП.

Автоматизация этого метода наиболее трудоёмка, т.к. при его использовании осуществляется проектирование и документирование ТП на основе введённых данных (рис.5.7).

Рассмотрим отдельные задачи метода нового планирования.

Классификация и кодирование деталей и технологий их обработки.

Важной составной частью АССТПП, реализующей методы управления, вариантного и адаптивного планирования, является информационная база о деталях и технологиях их обработки.

Рассмотрим подходы к системам их классификации и кодирования.

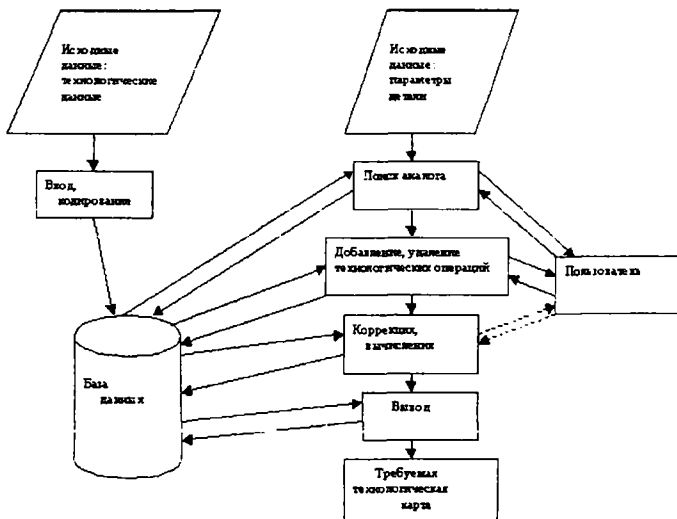


Рис.5.6. Схема автоматизации метода адаптивного планирования ТПП.

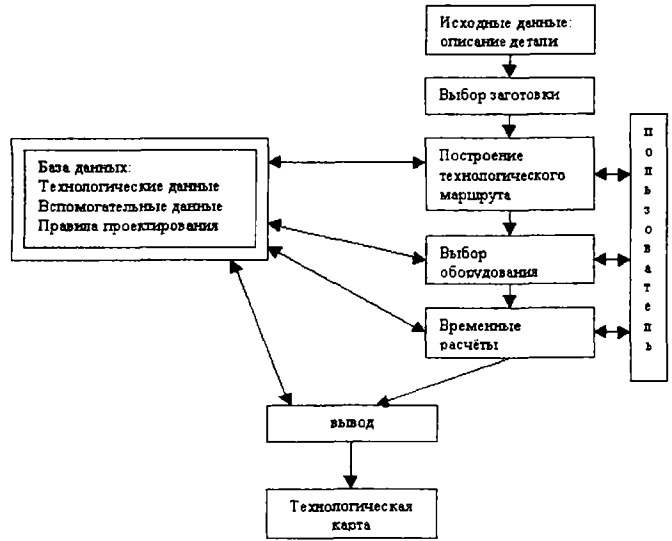


Рис. 5.7. Схема автоматизации метода нового планирования ТПП



### Классификация деталей.

Детали могут классифицироваться различными методами в зависимости от цели классификации.

Признак	Классы
Основная форма детали	Поверхность вращения
Главная поверхность	Цилиндрическая, коническая, криволинейная, смешанная
Поверхность наложения	Цилиндрическая: резьба метрическая, резьба трапециидальная, фаска, отверстие
Материал	Резьба метрическая: сталь, нержавеющая сталь, латунь
Вид заготовки	Сталь: прутки, труба
Размеры	Прутки: 0,1 - 3 мм; 3 - 6 мм

На базе проведённой классификации осуществляется кодирование информации о детали.

### Кодирование деталей.

Кодирование может быть осуществлено двумя способами.

Первый способ - кодово-текстовое описание детали. Полученный код (как правило, примерно 1 страница печатного текста) содержит полную информацию как о детали в целом, так и обо всех её конструктивных элементах (поверхностях, покрытиях, термической обработке и др.).

Второй способ - конструкторско-технологический код, который содержит обобщённую информацию о детали без излишней детализации. Код состоит из отдельных фрагментов, описывающих тот или иной признак. Каждый фрагмент имеет фиксированное количество разрядов. Заранее оговаривается, как кодируется признак - цифровым или символьным кодом. Конкретный код каждого признака устанавливается, как правило, по-разному в каждой конкретной АСТПП. Значение класса детали обозначают в соответствии с технологическим классификатором деталей машиностроения и приборостроения: тела вращения - код 71; корпусные детали - код 72 и т.д.

Следующий фрагмент - обрабатываемая поверхность - может быть закодирован, например, следующим образом. Сначала кодируется основная форма: Эскиз (рис.5.8): код соответственно 001,002, 006, 010, 011, 203

Элементы основной формы определяют форму детали, её структуру и габаритные размеры.

Следующий этап - кодирование элементов наложения, т.е. различных поверхностей, образованных в результате последующей обработки поверхностей основной формы или поверхностей наложения (к таким относятся фаски, грани, резьбы, элементы зубчатых зацеплений, отверстия и т.д.). Например, кодирование резьбы:

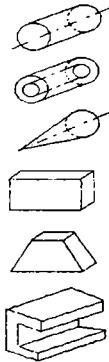


Рис 5 8 Детали с обрабатываемой поверхностью.

внутренняя	наружная	
метрическая	010	110
трапецеидальная	020	120

Пример кодирования вида заготовки:

Литьё в разовые формы 100

Прокат круглый 211

Прокат квадратный 212

Прокат шестигранный 213

Прокат трубный 216

Штамповка 310;

Пример построения кода детали (рис.5.9):

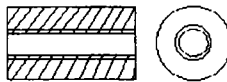


Рис.5.9. Труба с внутренней резьбой

Труба с внутренней резьбой; 71 002 010 216

тело труба метрическая заготовка: прокат

вращения резьба внутренняя трубный.

#### Кодирование технологических процессов.

Кроме кодирования деталей в АСПП важное место занимает кодирование технологических операций и переходов.

Один из вариантов кодирования: значения кодов переходов возрастают в соответствии с традиционной в машиностроении последовательностью их применения при обработке деталей.

Пример кодирования.

Наименование операции	Код операции	Наименование перехода	Код перехода
Отрезная	001	Отрезать заготовку	001
Слесарная	002	Заправить концы прутка	002
Правильная	003	Править пруток	003
Торце фрезерная	005	Фрезеровать торец №1 фрезеровать торцы №1 и №2	005 006
Токарная черновая	010	Точить торец чисто; наметить центр отверстия; сверлить отверстие; расточить отверстие начерно	010 011 012 018
Токарная (обработка эксцентричных поверхностей)	011		

#### Выбор вида заготовки и методов её изготовления.

Виды заготовок: отливки; прокат; поковки; штамповки; сварные заготовки. В качестве критериев оптимизации выбора заготовок используют:

- себестоимость изготовления заготовки  $C_{з}$ , min;
- себестоимость механической обработки заготовки для получения детали  $C_{м}$ , min;
- стоимость отходов металла  $C_{о}$ , min.

Алгоритм выбора оптимального метода получения заготовки состоит из следующих шагов:

1. выбор возможных видов заготовки по материалу детали (сталь, чугун, сплавы и т.д.);
2. выбор возможных методов изготовления заготовок исходя из серийности детали (единичная, серийная, крупносерийная, массовая); конструктивной формы детали (цилиндрическая, дисковая, пространственная, корпусная и т.д.); массы и размеров детали;

3. Определение технических характеристик для выбранных видов заготовок (точность, коэффициент использования металла и др.);
4. Определение себестоимости изготовления заготовки;
5. Определение себестоимости механической обработки заготовки;
6. Определение стоимости отходов металла;
7. Выбор оптимального метода изготовления заготовки для конкретных условий производства.

#### Проектирование технологического маршрута.

Данная задача - главная и наиболее трудная. В методе нового планирования используют различные диалоговые подсистемы формирования технологического маршрута.

Исходная информация о детали:

- общие сведения;
- сведения о заготовке (поступают из подсистемы выбора заготовки);
- описание наружных и внутренних поверхностей;
- допустимые отклонения.

Вся исходная информация кодируется.

База данных подсистемы - наборы последовательностей технологических операций; значения параметров для расчёта режимов резания и времени обработки.

В диалоговом режиме осуществляется подбор технологических операций, расчёт и оптимизация режимов резания, расчёт затрат времени на изготовление детали, расчёт какого-либо критерия оптимальности (например, себестоимости изготовления детали), оптимизация технологического маршрута по выбранному критерию.

#### Выбор основного оборудования.

Оборудование для выполнения операций выбирается в зависимости от намеченного состава операций, габаритов и конфигураций детали, требуемой точности обработки, программы выпуска деталей. Состав операции (т.е. перечень поверхностей, обрабатываемых на операции) зависит от возможной конфигурации оборудования, и наоборот, оборудование выбирается в зависимости от состава операции, поэтому эти задачи решаются параллельно. База данных о станках содержит следующую информацию: код оборудования в соответствии с классификатором; мощность станка; максимальные размеры В\*Н сечения резцов, которые можно установить в резцедержателе (для токарного станка); максимальное количество инструментов, которые можно одновременно установить на станке; числа оборотов и др.

Выбор оборудования обычно оптимизируется по критерию стоимости.

Выбор инструмента.

Выбор режущего инструмента осуществляется для каждого технологического перехода.

Исходные данные:

- геометрия детали;
- сведения о заготовке;
- технологические характеристики применяемого оборудования.

Инструмент выбирается из справочной базы, охватывающей все его разновидности.

Последовательность выбора инструмента;

1. по коду технологического перехода определяется код группы инструмента;
2. по модели станка выбирается код подгруппы инструмента;
3. уточняются размеры и другие характеристики инструмента по размерам и форме удаляемого металла, чистоте обработки, материалу заготовки и т.д.
4. ищется нужный инструмент в базе данных (по классифицированным размерам и др. характеристикам).

### **5.3 Автоматизированное проектирование сборочных процессов.**

Сборочные работы являются многовариантными как по возможному составу и последовательности операций техпроцесса, так и по составу применяемой оснастки, оборудования, инструмента.

В качестве критериев оптимизации используются:

- трудоёмкость процесса сборки;
- технологическая себестоимость;
- цикл сборки (время);
- затраты на сборочную оснастку.

Последовательность проектирования:

1. выбор схемы базирования сборочной единицы;
2. выбор оптимальной последовательности установки элементов сборочной единицы;
3. выбор состава и последовательности выполнения операций соединения, доводочных работ;
4. выбор состава оснастки, инструмента, оборудования;
5. расчёт ТЭП;
6. выбор оптимального варианта технологического процесса сборки;
7. вывод документации.

### **5.4 Технологическая подготовка производства при обработке на станках с ЧПУ**

ТПП для ЧПУ состоит из трёх этапов.

1 этап - разработка маршрутной технологии. Совпадает с ТПП для обычного производства.

2 этап - геометрические расчёты и разработка управляющей программы. Геометрические расчёты - описание обрабатываемых поверхностей для

целей последующего программирования. Геометрические расчёты включают в себя снятие координат с чертежа и задание базовой и опорных точек.

Базовая - точка, куда выводится инструмент перед началом, и после завершения обработки.

Опорная точка в которой осуществляется изменение направления движения инструмента.

По степени сложности;

- расчёт перемещений по контуру:
  - прямолинейных плоских;
  - криволинейных плоских;
  - прямолинейных объёмных;
  - криволинейных объёмных.
- расчёт перемещений по эквидистанте:
  - прямолинейных плоских;
  - криволинейных плоских;
  - прямолинейных объёмных;
  - криволинейных объёмных.

#### Геометрические расчёты при составлении программ ЧПУ.

В программе управления ЧПУ последовательно задаётся номер инструмента, скорость вращения шпинделя, величина перемещения по осям X, Y, Z. Величина перемещения задаётся от базовой точки отсчёта (рис.5.10): на эту точку в начале работы выводится инструмент.

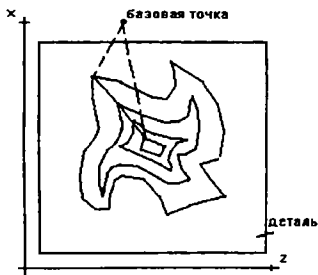


Рис.5.10. Траектория движения инструмента.

Геометрические расчёты необходимы для выявления траектории движения инструмента, подразделения её на элементарные участки, определения координат концов элементарных участков, называемых опорными точками, и вычисления приращения координат между всеми соседними опорными точками.

#### Расчёт перемещений по контуру.

Рассмотрим пример для токарного станка, у которого перемещение инструмента (резца) возможно только по осям X и Z (рис. 5.11).

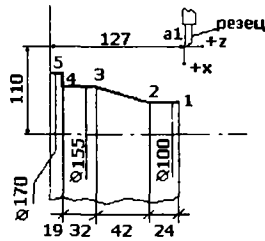


Рис 5.11. Перемещение резца токарного станка.

a1- базовая точка отсчёта; 1,2,3,4,5- опорные точки; траектории вершины резца.

Из чертежа геометрическая информация записывается в карту подготовки информации.

Карта подготовки информации.

Завод		Цех		Карта подготовки информации				Модель станка			
Операционный чертёж				Наименование детали		Оси координат		Цена импульса, мм			
								$\Delta Z=0,01; \Delta \Xi=0,01$			
№ точки	Координата Z			Координата X			Коррекция	Режимы резания			
	Расчёт до баз. пере-хода, мм	Приращения		Расчёт до оси шпинделя, мм	Приращения			Величина импульсов			
Мм		Импульсов	Мм		импульсов						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A1	127			110	60						
1	117	-10	-1000	50	0	5950	50				
2	93	-24	-2400	50	-	0					
3	51	-42	-4200	77,5	27,5	-2750					
4	19	-32	-3200	77,5	0	0					
5	19	0	0	85	-7,5	-750					
0	127	108	10800	110	-25	-2450	-50				

В графе 1 - номер базовой и опорной точки. Точка 0 - возвращение инструмента в базовую точку.

Графа 2 - расстояние до начала координат по Z (начало координат (0,0) - на оси шпинделя у его края).

Графа 3,4 - перемещение по Z в мм и в импульсах.

Графы 5-7 - аналог 2-4 для оси X.

Графа 9- коррекция - рассматривается далее.

### Применение размерной коррекции.

Для компенсации погрешностей размерной настройки инструмента и для поднастройки при износе резца предусмотрено применение корректоров. При разработке программы путь a1-1, выводящий резец на позицию для обработки (в нашем случае  $s=|a1-1|=60$  мм по координате +X), разделим на две части:

S1=59,5 мм - постоянная часть.

S2=0,5 мм - переменная.

Постоянную часть перемещения записывают в программу непосредственно (графа 7 таблицы), а вместо переменной части записывают номер (адрес) корректора (графа 8 таблицы).

### Расчёт перемещение по эквидистанте.

В общем случае при обработке конических или фасонных поверхностей высокой точности необходимо учитывать округление при вершине резца. В этом случае программируют траекторию центра скругляющей дуги – эквидистанту (рис.5.12).

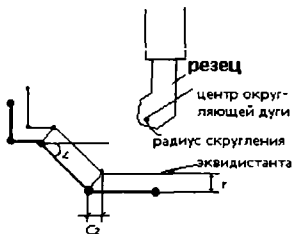


Рис.5.12. Траектория центра скругляющей дуги – эквидистанты.

Координаты опорных точек эквидистанты отличаются от координат соответствующих точек контура на величины  $C_z$  и  $r$  - задано;  $C_z$  – вычисляется по формуле

$$C_z = r * \operatorname{tg}(\alpha / 2).$$

### Линейная аппроксимация дуг.

Для станков с линейным интерполятором программируются только прямоугольные перемещения инструмента. При обработке фасонной поверхности криволинейный участок заменяют последовательность хорд и программируют перемещение по каждой хорде.

Пример: аппроксимация дуги окружности (рис.5.13).

Задаётся шаг аппроксимации  $\Delta \varphi$ : дуга делится на части, равные или меньше  $\Delta \varphi$ . Координаты получившихся опорных точек (относительно центра дуги):

$$X_i = R * \cos(\Delta \varphi * (i-1))$$

$$z_i = R * \sin(\Delta \varphi * (i-1)).$$



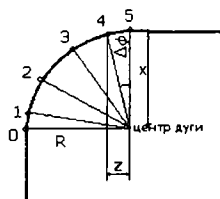


Рис.5.13. Аппроксимация дуги окружности.

Далее строится программа для перемещения по прямым между опорными точками обычным методом. В более сложных случаях обработки поверхностей на станках с нелинейным интерполятором используют более сложные методы аппроксимации точками с последующим соединением этих точек кривыми по одной из координат (метод Кунса) (см. рис.5.13).

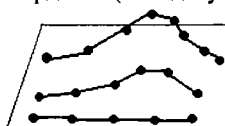


Рис.5.14. Интерполяционные кривые обработки поверхности.

Полученные кривые называются стрингерами.

Набор кривых (полосы стрингеров) позволяет запрограммировать движение инструмента (в данном случае фрезы). В автоматизированных системах ТП станков с ЧПУ применяются специальные методы геометрического моделирования. При этом создаётся библиотека геометрических определений (подпрограмм) таких элементов, как точки, прямые линии, окружности и т.д. Эти геометрические определения задаются и хранятся под произвольными именами, например: ОКР - окружность, LINE- линия и т.д. Программисту при этом необходимо ввести лишь параметры, служащие для конкретизации геометрического элемента, например: для окружности - координаты центра и радиус; для прямой - координаты точек начала и конца. Сложный профиль обработки программируется последовательным заданием выполнения элементов из библиотеки.

3 этап - подготовка станка к работе и отладка готовой программы непосредственно на станке с ЧПУ. В соответствии с сопроводительной информацией подбирается и налаживается режущий инструмент, технологическая оснастка. Производится наладка станка: заготовка устанавливается на стол в системе координат. Инструменты, предварительно настроенные на размер, закрепляются в соответствующих ячейках, зафиксированных в программе. Первый пуск программы осуществляется в присутствии технолога или программиста. Сначала станок работает по программе без заготовки, затем обрабатывается первая заготовка. Обработка идёт в режиме покадрового считывания. Если обработке подлежит сложная и дорогостоящая заготовка, обработка программы производится на модели (деревянной или пластмассовой).

### Автоматизация ТПП станков с ЧПУ.

Автоматизированные системы ТПП включают решение следующих задач, отсутствующих в ТПП обычных производств:

1. Автоматизация геометрических расчётов. Программно осуществляется расчёты, особенно объёмные для криволинейных поверхностей и расчётов перемещений по эквидистанте.
2. Автоматизация программирования. Для простых задач - например, для сверлильных станков с ЧПУ вводится информация о координатах, диаметрах и глубинах отверстий, после чего программа формируется автоматически. Для более сложных задач программа формируется в диалоге с технологом. Далее осуществляется синтаксический анализ правильности программы - компьютер ищет и указывает ошибки, технолог - исправляет. Следующий этап - кодирование программы в коды требуемого станка и вывод перфоленты (или запись на магнитную ленту или гибкий диск) - осуществляется автоматически.
3. графическое моделирование траектории движения инструмента для тестирования программ ЧПУ.

Данная задача ТПП станков с ЧПУ может быть решена только с использованием вычислительной техники. Построение траектории движения инструмента и вывод её на экран дисплея или графопостроителя позволяет провести тестирование программы ЧПУ на этапе её разработки и значительно снизить время на наладку станка с ЧПУ.

Пример: построение траектории движения фрезы при обработке внутренней поверхности.

При решении задач пространственной обработки, для контроля получаемых программ ЧПУ на графопостроителе (или графическом дисплее), например, для определения глубины сверления, движения фрезы и т.д., необходимо построить и вычислить значения сечений в двух или трёх проекциях. (Это требует много времени. Кроме того, при решении задачи одновременной обработки по нескольким направлениям часто бывает невозможно однозначно восстановить образ детали по чертежам её проекций, а значит, и невозможно проверить правильность программы ЧПУ). В этом случае используется изометрическое представление (рис 5.15). При этом моделируется возможность поворота деталей (имитация изменения точки наблюдателя) для возможности удостовериться в правильности полученной детали в случае её сложной формы (например, дважды искривлённые фигуры - лопатки турбин и т.д.).

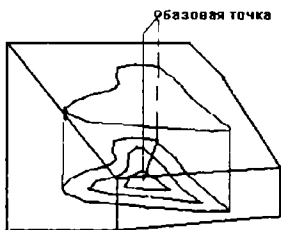


Рис.5.15. Изометрическое представление детали.

Пример построения траектории движения фрезы, приведен на рис.5.16.

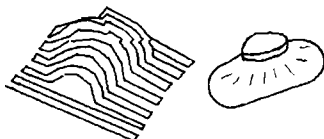


Рис. 5.16. Траектория движения фрезы.

Следующий этап - составление программ сопряжения поверхностей, обрабатываемых различным инструментом. Получение чертежей в этом случае также выполняется в изометрии и разным цветом (рис. 5.17).

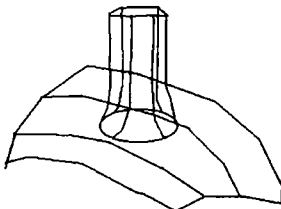


Рис.5.17. Чертеж детали в изометрии.

Для проверки правильности программ сверления и внутренней обработки, разрабатываются программы получения сечений (графический ввод контуров деталей или обрабатываемых поверхностей).

### 5.5 Технологическая подготовка гибких производственных систем (ГПС).

ГПС представляет собой комплекс технологического оборудования, промышленных роботов, транспортных систем, автоматических складов и системы управления, обеспечивающий производство различных изделий по

различным технологиям. Примеры: ГПС механической обработки на базе станков с ЧПУ; многопроцессорные гальвано линии; многономенклатурные химические производства (красители).

ТПП ГПС кроме традиционных задач включает планирование сменнo-суточных заданий гибким производственным модулем, в которых указывается, в какое время, на каком оборудовании, по каким технологиям будут изготавливаться детали, изделия, изготовление которых предусмотрено планo-м заданием.

Брак, сбой и поломки оборудования, несвоевременные поставки определяют изменяющуюся внешнюю по отношению к ГПС среду. Таким образом, ГПС функционирует в условиях воздействия случайных факторов. Это приводит к необходимости перераспределения изделий по производственным подразделениям для их изготовления в заданные сроки, что в свою очередь требует возврата в систему ТПП для корректировки техпроцессов и планов-графиков управления производственными системами. Время корректировки и эффективность прямой и обратной связей между системой ТПП и ГПС определяет скорость перестройки работы ГПС и потери, возникающие при этом.

С течением времени на предприятии изменяются технология, номенклатура выпускаемых изделий. Это требует пересмотра состава и структур производственных подразделений в ГПС. Это ещё одна задача ТПП. Динамичность производства, которая характерна для предприятий с единичным и серийным производством, приводит к резкому возрастанию объёма работ по ТПП. В период, когда осуществляется ТПП нового изделия, необходимо проектировать до 10 тысяч управляющих программ ЧПУ. Анализ показывает, что трудоёмкость проектных работ составляет на предприятиях единичного и серийного производства 50-90% всех затрат на изготовление изделия, т.е. производительность производства всё в большей мере становится зависимой не от производительности рабочих мест, а от производительности проектных работ, в том числе ТПП.

В общем случае ТПП ГПС включает следующие этапы:

- технологический анализ производства;
- группирование объектов производства;
- разработка технологического маршрута;
- разработка технологического процесса;
- выбор состава оборудования;
- выбор компоновочной схемы ГПС;
- проектирование и изготовление автоматизированной технологической оснастки;
- разработка управляющих программ для устройств управления, ЧПУ и т.д.;
- разработка календарных планов;
- внедрение.

Рассмотрим подробнее этапы:

1. технологический анализ производства. Анализируется оборудование ГПС, возможные технологические операции и переходы, системы команд устройств управления и ЧПУ, и т.д.
2. группирование объектов производства. Детали и изделия группируются по технологическим признакам для разработки групповых технологий. Данный этап аналогичен ТПП обычного производства.
3. Разработка технологического маршрута.
4. Разработка технологического процесса.
5. Выбор состава оборудования.
6. Выбор компоновочной схемы ГПС.

2, 4, 5 - аналогичны этапам ТПП обычного производства.

Компоновочная схема включает комплекс технических средств, включая, промышленные роботы, обеспечивающий проведение технологического процесса, их расположение, а также схему связей, которые определяют пути движения изделий и их составных частей в процессе производства.

Поскольку на гибкой линии одновременно может обрабатываться несколько изделий, то используются 3 класса концентрации операций: выполнение операций последовательно, параллельно и параллельно - последовательно.

В качестве критериев при решении задачи компоновки используют:

1. затраты на изготовление партии деталей Z;
2. производительность линии PR;
3. трудоёмкость изготовления деталей TR;
4. количество станков (оборудования), используемых для производства детали K.

Могут быть и другие критерии.

При этом:

- Z → min  
 PR → min  
 TR → min  
 K → min

Задача компоновки - типичная многокритериальная задача. Наиболее распространённый подход для её решения - метод главного критерия используют в большинстве случаев PR при ограничениях на Z, или Z при ограничениях на PR.

1. Проектирование и изготовление автоматизированной технологической оснастки - трудно формализуемая задача.
2. Разработка управляющих программ - для ЧПУ смотри выше; для устройств управления - использование языков высокого уровня и методов машинного моделирования.
3. Разработка календарных планов.

Задача оптимального планирования чрезвычайно трудно разрешима. Построение графика поступления детали на обработку и их обработка осуществляется, как правило, комбинаторно-эвристическими методами и требует больших ресурсов памяти и быстродействия ЭВМ. При этом оптимальное

решение удаётся получить далеко не всегда. Существенное усложнение в данную задачу вносит необходимость внеплановой обработки деталей. В этом случае необходимо оперативно составить новый график с учётом изменения; на это обычно времени нет; оборудование простаивает или работает не оптимально. В некоторых случаях используют принципиально другой подход к данной задаче - метод ситуационного управления. В этом случае график не составляется вовсе. Поступающая на обработку по любому возможному техпроцессу заготовка или направляется на гибкую линию, либо, если оборудование или транспорт заняты, ставится в очередь на входе. При перемещении обрабатываемой детали по гибкой линии системой управления непрерывно анализируется состояние всех её звеньев. При этом обслуживаются следующие виды заявок:

1. Заявки от оборудования, завершающего обработку очередной детали (или партии деталей).
2. Заявки на транспортное обслуживание. Очереди таких заявок возникают, когда интенсивность поступления заявок превышает интенсивность их обслуживания.

Выбор заявки из очереди может осуществляться различными методами:

1. метод фиксированного приоритета FIFO (First in\_ first out);
2. метод ситуационного приоритета - в этом случае первой из очереди берётся наиболее важная деталь (приоритеты определяются заранее), или наименее загруженное оборудование и т. д.

При использовании метода ситуационного управления существенно упрощаются программы управления и ускоряются расчёты.

### Вопросы для самопроверки

1. Основные понятия САПР.
2. Этапы процесса проектирования.
3. Подсистемы САПР.
4. Виды обеспечения САПР.
5. Структура (уровни) САПР.
6. Комплектования технических средств САПР.
7. Характеристика поколений ЭВМ.
8. Классификация вычислительных систем.
9. Архитектура аппаратных средств.
10. Архитектура персонального компьютера.
11. Основные аппаратные компоненты персонального компьютера.
12. Периферийные устройства персонального компьютера.
13. Классификация вычислительных сетей.
14. Устройства телеобработки, сопряжения и передачи данных.
15. Автоматизированные рабочие места проектировщика.
16. Режимы работы АРМ.
17. Технические средства АРМ.
18. Перспективы развития АРМ.
19. Программное обеспечение САПР.
20. Общее программное обеспечение.
21. Развитие общего программного обеспечения.
22. Специальное программное обеспечение.
23. Состав программного обеспечения.
24. Функциональное назначение ПО САПР.
25. Принципы проектирования ПО САПР.
26. Общие требования к ПО САПР.
27. Этапы проектирования ПО САПР.
28. Принцип модульного программирования.
29. Алгоритмические языки программирования.
30. Пакеты прикладных программ.
31. Основные подходы, используемые для построения формальных моделей при автоматизированном моделировании.
32. Динамический анализ механических и гидромеханических приводов.
33. Основные элементы механических и гидромеханических приводов.
34. Структурный анализ схем механических и гидромеханических приводов.
35. Математическое описание основных элементов привода. Дизель. Редуктор. Фрикционная муфта. Гидромуфта.
36. Математическое описание основных элементов привода. Гидро-трансформатор.
37. Математическое описание основных элементов привода. Упругий вал. Дифференциал. Колесный движитель.

38. Моделирование режимов блокировки фрикционных муфт и гидро-трансформаторов.
39. Технологический процесс. Технологические процессы в машиностроении и в механической обработке.
40. Технологическая подготовка производства. Основные понятия.
41. Основные этапы разработки ТП механообработки.
42. Исходные данные для проектирования технологических процессов сборки и состав проектирование технологического процесса сборки.
43. Методы реализации ТПП. Управление ТПП и вариантное планирование.
44. Методы реализации ТПП. Метод нового планирования и адаптивное планирование.
45. Автоматизация ТПП. Выбор заготовки и оборудования.
46. Автоматизация методов ТПП. Автоматизация метода управления ТПП.
47. Автоматизация методов ТПП. Автоматизация метода вариантнного планирования.
48. Автоматизация методов ТПП. Автоматизация метода адаптивного планирования.
49. Автоматизация методов ТПП. Автоматизация метода нового планирования.
50. Классификация деталей.
51. Кодирование деталей.
52. Кодирование технологических процессов.
53. Проектирование технологического маршрута. Выбор основного оборудования и инструмента.
54. Автоматизированное проектирование сборочных процессов. Критерии оптимизации и последовательность проектирования.
55. Технологическая подготовка производства при обработке на станках с ЧПУ
56. Геометрические расчёты при составлении программ ЧПУ. Расчет перемещений по контуру.
57. Применение размерной коррекции. Расчёт перемещение по эквидистанте.
58. Линейная аппроксимация дуг.
59. Автоматизация ТПП станков с ЧПУ. Примеры задач.
60. Технологическая подготовка гибких производственных систем (ГПС). Этапы. Критерии при решении задач компоновки. Выбор заявки из очереди.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время системы автоматизированного проектирования уже не являются чисто техническим средством. Они оказывают большое экономическое и социальное воздействие на развитие машиностроения. Благодаря им появилась возможность провести исследования в области механики, информатики и др.

Повышение точности изготовления узлов и деталей машин, спроектированных с использованием САПР, привело к уменьшению общего времени освоения новой продукции, что позволяет более гибко реагировать на запросы рынка и конъюнктуру. Этому способствуют и станки, с числовым программным управлением широко используемые в автомобилестроении республики.

Обработка в САПР в основном делается автоматически, тем не менее, существует возможность неудачного решения, полученного алгоритмическим путем.

В этом случае необходимо вмешательство оператора, что требует уделять больше внимания подготовке квалифицированного персонала для обслуживания САПР.

САПР вполне доступны таким категориям пользователей, как конструкторы, проектировщики, научные сотрудники, лаборанты, операторы ЭВМ.

Практические разработки, выполняемые методами САПР можно разбить на две категории. В разработках первой категории обрабатываемые объекты представляются традиционным образом с помощью отрезков прямых и дуг окружностей, комбинациями простейших геометрических тел. Несмотря на простоту исходных положений, применение таких методов становится весьма сложным для случаев сшивки между поверхностями. В разработках второй категории решение основывается на параметрическом представлении кривых и поверхностей, что приводит к неполным решениям, обладающим невысокой точностью.

В использовании САПР сохранились два различных подхода. При первом сохраняются традиционные средства изготовления опытного образца. Если конструируемый объект имеет техническое назначение, сначала изготавливаются его чертежи, а затем специалисты высокой квалификации изготавливают его с помощью шаблонов, выполняя плавные переходы между плоскими поверхностями.

После этого проводят измерение координат большого числа точек, расположенных на поверхности объекта, а затем, специалисты по САПР переводят эту информацию в цифровую форму, доступную ЭВМ.

Иногда, вначале над объектом трудятся дизайнеры, изготавливая макет из воска, дерева или глины, затем модельщики изготавливают объект из твердых материалов и только после этого он может быть представлен в виде цифровых данных.

При втором подходе конструкторы и дизайнеры учатся использовать средства САПР в процессе разработки. Таким образом, замысел реализуется самими авторами, и информация остается в такой форме, в какой она возникла в процессе разработки.

При этом исключается процесс перевода в цифровую форму, который иногда приводит к появлению ошибок.

В настоящее время в машиностроении первый подход применяется более часто. Его особенность заключается в том, что конструктору не требуется менять привычный стереотип действий, сложившийся на протяжении долгого времени, и приобретать новые знания, которые, по его мнению, лежат в стороне от его основной деятельности.

В то же время непосредственное использование САПР при работе позволяет ускорить процесс конструирования и проектирования, избежать затрат на перевод данных в цифровую форму и связанных с этим ошибок. Эти преимущества указывают на предпочтительность второго подхода.

К началу XXI века в машиностроении произошло ряд позитивных перемен и новаций, как в конструкциях, так и в технологиях и создание САПР является хорошим примером этому. Важно, однако, понимать, что этот процесс перемен, происходит непрерывно и постоянно. Поэтому, мы вправе ожидать в ближайшие годы новых успехов в разработки САПР и широкого освоения его методов и методик специалистами, работающими в различных видах машиностроительной отрасли.

**Наиболее часто встречающиеся в САПР  
величины и соотношения**

$\pi = 3,14159$ $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ $e = 2,71828 \sqrt{e} = 1,64872 \sqrt[3]{e} = 1,39561$ $\ln e = 1,0$ $\lg e = 0,43429$ $\ln 10 = 2,30259$ $\ln n = \ln 10 \lg n = 2,3 \lg n$ $\lg n = \lg e \ln n = 0,434 \ln n$	$\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 0,5$ $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707$ $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,866$ $\operatorname{tg} 30^\circ = \operatorname{ctg} 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3} = 0,577$ $\operatorname{tg} 45^\circ = \operatorname{ctg} 45^\circ = 1$ $\operatorname{tg} 60^\circ = \operatorname{ctg} 30^\circ = \sqrt{3} = 1,732$
--	---

$1 \text{ кВт/ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ $1 \text{ Пуаз} = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с} = 0,0102 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{м}^2$ $1 \text{ стокс} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ $1 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2 = 98100 \text{ Па} = 98,1 \text{ кПа} = 0,1 \text{ МПа}$ $1 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{м} \approx 9,81 \text{ кПа} = 0,1 \text{ МПа}$ $1 \text{ Вт} = 0,102 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{м}\cdot\text{с}$	$1 \text{ градус} = 0,0175 \text{ рад}$ $1 \text{ минута} = 2,91 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$ $1 \text{ секунда} = 4,85 \cdot 10^{-6} \text{ рад}$ $1 \text{ кг}\cdot\text{с}^2/\text{м} = 9,81 \text{ кг}$ $1 \text{ кг} = 0,102 \text{ кг}\cdot\text{с}^2/\text{м}$ $1 \text{ кг}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4 = 9,81 \text{ кг}/\text{м}^3$ $1 \text{ кг}/\text{м}^2 = 0,102 \text{ кг}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$
---	--

**PHYSICAL CONSTANTS**

Quantity	Symbol, equation	Value	Unsert. (ppm)
Speed of light	$c$	$299\,792\,458 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$	(exact)*
Planck constant	$h$	$6.626\,075\,5 (40) \times 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$	0.60
Planck constant, reduced	$\hbar = h/2\pi$	$1.054\,572\,66(63) \times 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$	0.60
Electron charge magnitude		$= 6.582\,122\,0(20) \times 10^{-22} \text{ MeV}\cdot\text{с}$ $1.602\,177\,33(49) \times 10^{-19} \text{ C} = 4.803$	0.30
Conversion constant	$hc$	$197.327\,053(59) \text{ MeV}\cdot\text{fm}$	0.30
Conversion constant	$(hc)^2$	$0.389\,379\,66(23) \text{ GeV}^2 \cdot \text{mbarn}$	0.59
Electron mass	$m_e$	$0.510\,999\,06(15) \text{ MeV}/c^2 = 9.109$ $389\,7(54) \times 10^{-31} \text{ kg}$	0.30, 0.59
Proton mass	$m_p$	$938.272\,31(28) \text{ MeV}/c^2 = 1.672\,623$ $1(10) \times 10^{-27} \text{ kg}$ $= 1.007\,276\,470(12) \text{ u} = 1836.152$ $701(37) m_e$	0.30, 0.59 0.012, 0.020
Deuteron mass	$m_d$	$1875.613\,39(57) \text{ MeV}/c^2$	0.30
Unified atomic mass unit (u)	$(\text{mass } C^{12} \text{ atom})/12 = (1 \text{ g})/N_A$	$931.494\,32(28) \text{ MeV}/c^2 = 1.660\,540$ $2(10) \times 10^{-27} \text{ kg}$	0.30, 0.59
Permittivity of free space	$\left. \begin{matrix} \epsilon_0 \\ \mu_0 \end{matrix} \right\} \epsilon_0 \mu_0 = 1/c^2$	$8.854\,187\,817 \dots \times 10^{-12} \text{ F}\cdot\text{м}^{-1}$	(exact)
Permeability of free space		$4\pi \times 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{A}^{-2} = 12.566\,370\,614$ $\times 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{A}^{-2}$	(exact)
Fine structure constant	$\alpha = e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c$	$1/137.035\,989\,5(61)^{\dagger}$	0.045

Classical electron radius	$= e^2/4\pi\epsilon_0 m_e c^2$	$2.817\ 940\ 940\ 92(38) \times 10^{-15}\ \text{m}$	0.13
Electron Compton wavelength	$= h/m_e c = r_e \alpha^{-1}$	$3.861\ 593\ 23(35) \times 10^{-13}\ \text{m}$	0.089
Bohr radius ( $m_{\text{nucleus}} = \infty$ )	$\alpha_e = 4\pi\epsilon_0 \hbar^2 / m_e e^2 = r_e \alpha^2$	$0.529\ 177\ 249(24) \times 10^{-10}\ \text{m}$	0.045
Wavelength of eV/c particle	$\hbar c / e$	$1.239\ 842\ 44(37) \times 10^{-6}\ \text{m}$	0.30
Rydberg energy	$\hbar c R_\infty = m_e e^4 / 2(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2 = m_e \alpha^2 / 2$	$13.605\ 698\ 1(40)\ \text{eV}$	0.30
Thomson cross section	$\sigma_T = 8\pi r_e^2 / 3$	$0.665\ 246\ 16(18)\ \text{barn}$	0.27
Bohr magnetron	$\mu_B = eh/2m_e$	$5.788\ 382\ 63(52) \times 10^{-11}\ \text{MeV T}^{-1}$	0.089
Nuclear magnetron	$\mu_N = eh/2m_p$	$3.152\ 451\ 66(28) \times 10^{-14}\ \text{MeV T}^{-1}$	0.089
Electron cyclotron freq./field	$\omega_{ce} / B = e / m_e$	$1.758\ 819\ 62(53) \times 10^{11}\ \text{rad s}^{-1}\ \text{T}^{-1}$	0.30
Proton cyclotron freq./field	$\omega_{cp} / B = e / m_p$	$9.578\ 830\ 9(29) \times 10^7\ \text{rad s}^{-1}\ \text{T}^{-1}$	0.30
Gravitational constant	$G_N$	$6.672\ 59(85) \times 10^{-11}\ \text{m}^3\ \text{kg}^{-1}\ \text{s}^{-2}$	128
Standard grav. Accel., sea level	$g$	$= 6.707\ 11(86) \times 10^{-39}\ \hbar c\ (\text{GeV}/c)^{-2}$ $9.806\ 65\ \text{m s}^{-2}$	128 (exact)
Avogadro number	$N_A$	$6.022\ 136\ 7(36) \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$	0.59
Boltzmann constant	$k$	$1.380\ 658(12) \times 10^{-23}\ \text{J K}^{-1}$ $= 8.617\ 385(73) \times 10^{-5}\ \text{eV K}^{-1}$	8.5 8.4
Wien displacement law constant	$b = \lambda_{\text{max}} T$	$2.897\ 756(24) \times 10^{-3}\ \text{m K}$	8.4
Molar volume, ideal gas at STP	$N_A k(273.15\ \text{K}) / (1\ \text{atmosphere})$	$22.414\ 10(19) \times 10^{-3}\ \text{m}^3\ \text{mol}^{-1}$	8.4
Stefan-Boltzmann constant	$\sigma = \pi^2 k^4 / 60 \hbar^3 c^2$	$5.670\ 51(19) \times 10^{-8}\ \text{W m}^{-2}\ \text{K}^{-4}$	34
Fermi coupling constant	$G_F / (\hbar c)^2$	$1.166\ 39(2) \times 10^{-5}\ \text{GeV}/c^2$	17
Weak mixing angle	$\sin^2 \theta_W (\overline{MS})$	$0.2325 \pm 0.0008$	3441
W <sup>±</sup> boson mass		$80.22 \pm 0.26\ \text{GeV}/c^2$	3241
Z <sup>0</sup> boson mass		$91.173 \pm 0.020\ \text{GeV}/c^2$	219
Strong coupling constant		$0.1134 \pm 0.0035$	$3.1 \times 10^4$
$\pi = 3.141\ 592\ 653\ 589\ 793$ $e = 2.718\ 281\ 828\ 459\ 045$ $\gamma = 0.577\ 215\ 664\ 901\ 532\ 861$			
1 in $\equiv 0.0254\ \text{m}$	1 barn $\equiv 10^{-28}\ \text{m}^2$	1 eV $= 1.602\ 177\ 33(49) \times 10^{-19}\ \text{J}$	1 gauss (G) $\equiv 10^{-4}$ tesla (T)
1 Å $\equiv 10^{-10}\ \text{m}$	1 dyne $\equiv 10^{-5}$ Newton (N)	1 eV/c <sup>2</sup> $= 1.782\ 70(54) \times 10^{-36}\ \text{kg}$	0° C $\equiv 273.15\ \text{K}$
1 fm $\equiv 10^{-15}\ \text{m}$	1 erg $\equiv 10^{-7}$ joule (J)	$2.997\ 924\ 58 \times 10^9\ \text{esu} = 1\ \text{coulomb}$	1 atmosphere $\equiv 760$ torr $\equiv 1.013\ 25 \times 10^5\ \text{N/m}^2$

### British Thermal Units – Btu

Btu	= 778 ft lbf = 252 cal = 0.252 = 0.252 Cal = 1055 J = 10.41 L atm = 6585 electron volt = $1.055 \cdot 10^{10}$ erg
HP hr	= 2545 Btu
kW hr <sup>2</sup>	= 3412 Btu = 1.341 HP hr
Btu/ft	= $1,13563 \text{ J/m}^2$
kg-cal	= 3,968 Btu
Btu/hr	= 2,930711 watt.
Btu per pound	= <del>2326</del> kJ/kg;
Btu per cubic foot	= 3726 kJ/m <sup>3</sup>
Btu x 1,055 x 10	= Ergs
Btu x 778,3	= Foot pounds.
Btu x 252	= Gram - calories
Btu x 3,931 x 10 <sup>4</sup>	= Horse power - hours.
Btu x 1,054.8	= kuls
Btu x 0,252	= Kilogram - calories
Btu x 107,5	= Kilogram - meters
Btu x 2,928 x 10 <sup>4</sup>	= Kilowatt - hours.
Btu/hour x 0,070	= Foot - pounds/second.
Btu/hour x 0,070	= Gram - calorie/second.
Btu/hour x 3,929 x 10 <sup>-4</sup>	= Horse power - hours.
Btu/hour x 0,2931	= Watts
Btu/minute x 17,57	= watts
Btu/hour foot oF x 1,4882	= Kilocalorie/meter hour deg c
Btu/hour foot <sup>2</sup> x 2,7125	= Kilocalorie/meter hour.
Btu/pound x 0,5556	= Kilocalorie/kilogram
Btu/pound pF x 1	= Kilocalorie/kilogram deg c
Btu/minute x 0,02356	= Horse power.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированное проектирование. Геометрические и графические задачи. (В.С.Полозков, О.А.Буденков, С.И.Ротков и др.). М. Машиностроение, 1983.
2. Автоматизированное проектирование машиностроительного гидропривода. И.И.Бажин и др. Под общей редакцией С.А. Ершова. -М. Машиностроение, 1988.
3. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении. / Под ред. Н. М. Капустина. - М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1985.
4. Орешко Н.А. Программное и лингвистическое обеспечение САПР.
5. Кинг Д. Создание эффективного программного обеспечения.
6. Зиглер К. Методы проектирования программных систем. / Пер. с англ. - М.: Мир, 1985.
7. Головкин Б.А. Вычислительные системы с большим числом процессоров. - М.: Радио и Связь, 1995-320с.: ил.
8. Гук М. Аппаратные средства IBM PC. Энциклопедия - СПб: Издательство "Питер", 2000. - 816 с.: ил.
9. Коган А.Г Организация ЭВМ и систем.
10. Математика и САПР. Перевод с франц. Жермир- Ларкур П. Жорж П.Л., Пистр Ф., Беъзе П.- М.: Мир, 1989.
11. Нешумова Е.Г Электронно-вычислительные машины и системы Любого издания
12. Норенков И.П. Разработка САПР. Учебник для Вузов. М. Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. - 1994. -207с.
13. Построение современных систем автоматизированного проектирования/К. Д. Жук, А. А. Родионов, А. А. Тимченко и др. - Киев: Наук.думка, 1983.
14. САПР изделий и технологических процессов в машиностроении. / Р. А. Аллик, В. И. Бородянский, А. Г Бурин и др.; Под общ. ред. Р. А. Аллика. -Л.: Машиностроение, 1986.
15. Система автоматизированного проектирования: Учеб.пособие для вузов. В 9 кн. -М.: Высш. шк., 1986.
16. Чепурной В. Устройства хранения информации. -СПб.: ВНУ. Санкт-Петербург, 1998-208с.: ил.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Введение.....	5
Глава 1. Общие сведения о САПР.....	6
1.1. Основные понятия.....	8
1.2. Этапы, процедуры и операции проектирования.....	8
1.3. Структура, виды обеспечения и уровни САПР.....	11
1.4. Комплексование технических средств САПР.....	13
Глава 2. ЭВМ, вычислительные сети и АРМы.....	15
2.1. Классификация вычислительных систем.....	18
2.2. Архитектура аппаратных средств.....	20
2.3. Архитектура персонального компьютера.....	22
2.4. Основные аппаратные компоненты ПК.....	24
2.5. Периферийные устройства и устройства внешней памяти ПК.....	27
2.6. Вычислительные сети.....	33
2.7. Автоматизированные рабочие места проектировщика.....	36
Глава 3. Программное обеспечение САПР.....	39
3.1. Состав и функциональное назначение ПО САПР.....	43
3.2. Этапы проектирования ПО САПР.....	45
3.3. Принцип модульного программирования.....	47
Глава 4. Автоматизированное моделирование систем приводов машин...	52
4.1. Динамический анализ механических и гидромеханических приводов произвольной структуры.....	53
4.2. Основные элементы механического и гидромеханического приводов.....	54
4.3. Структурный анализ схем механических и гидромеханических передач.....	54
4.4. Приведение моментов инерции и передаточных отношений.....	58
4.5. Математическое описание основных элементов привода и их характеристик.....	59
4.6. Моделирование режимов блокировки фрикционных муфт и гидротрансформаторов.....	65
Глава 5. Автоматизированные системы технологической подготовки Производства.....	74
5.1. Технологическая подготовка производства.....	75
5.2. Автоматизация ТПП.....	85
5.3. Автоматизированное проектирование сборочных процессов.....	93
5.4. Технологическая подготовка производства при обработке на станках с ЧПУ.....	94
5.5. Технологическая подготовка гибких производственных систем.....	99
Вопросы для самопроверки.....	103
Заключение.....	105
Приложения.....	107
Список литературы.....	110

Абдулазиз Адилхакович Шермухамедов

Олег Владимирович Лебедев

САПР в машиностроении

Утверждено к печати Ученым советом Института  
механики и сейсмостойкости сооружений

Подписано в печать 05.01.04. Формат 60х90 1/16. Усл.-печ.л.7,0. Тираж  
400 экз. Заказ 135.

Отпечатано в типографии Института Кибернетики НТЦ «СИТ» АН  
РУз.

Издательство «Фан» АН РУз, 700047, Ташкент, Я.Гулямова,70.