



**Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Рубцовский индустриальный институт (филиал)  
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова»**

**Н.С. Алексеев**

## **ОСНОВЫ САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Учебное пособие для самостоятельной работы студентов  
бакалавриата, обучающихся по направлению 15.03.05  
«Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств» всех форм обучения

*Рекомендовано Рубцовским индустриальным институтом (филиалом)  
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им.  
И.И. Ползунова» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся  
по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств» всех форм обучения*

Рубцовск 2023

УДК 658.52.011.56

Алексеев Н.С. Основы САПР технологических процессов: Учебное пособие для самостоятельной работы студентов бакалавриата, обучающихся по направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» всех форм обучения / Рубцовский индустриальный институт. - Рубцовск: РИО. 2023. - 199 с.

Учебное пособие предназначено для изучения раздела (или самостоятельной дисциплины) «Основы САПР технологических процессов». Материалы по вопросам этого раздела рассредоточены по разным литературным источникам. В предлагаемом учебном пособии эти материалы обобщены и систематизированы. Рассмотрены элементы дискретной математики, имеющие очень важное значение для формализации технологических решений. Освещены вопросы, связанные с техническим, программным, лингвистическим и информационным обеспечением САПР технологических процессов.

Рассмотрено и одобрено на заседании НМС  
Рубцовского индустриального института.  
Протокол № 1 от 02.02.2023

Рецензент: д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения»

АлтГТУ

С.Л. Леонов

©Рубцовский индустриальный институт, 2023

## ВВЕДЕНИЕ

Значительный рост вычислительной мощности компьютеров и широкое распространение программного обеспечения проектирования и производства привели к тому, что инженеры могут использовать системы автоматизированного проектирования (САПР) для решения повседневных задач, а не только для подготовки наглядных иллюстраций. Международная конкуренция, увеличение числа опытных специалистов и повышенные требования к качеству продукции заставляют владельцев предприятий автоматизировать проектирование и производство. Как следствие этого, преподаватели высшей школы чувствуют потребность изменить программу своих курсов, относящихся к проектированию, чтобы научить студентов пользоваться САПР и дать им представления об основных принципах, лежащих в основе этих систем.

Для эффективной работы с существующим программным обеспечением пользователь должен иметь представление не только о среде, в которой он работает, но и о принципах, лежащих в её основе. Фундаментальное знание помогает студенту быстро изучить любую конкретную систему с конкретной средой и использовать её максимально эффективно. Более того, руководства пользователя, поставляемые с САПР, обычно уделяют основное внимание пользовательскому интерфейсу и синтаксису; предполагается, что пользователь имеет определённую теоретическую подготовку. Без этой подготовки студенты встретят серьёзные затруднения с терминологией системной документации, а ещё большие трудности у них вызовет анализ сообщений об ошибках.

Изучение дисциплины САПР технологических процессов (САПР ТП) должно начинаться с изучения раздела (или самостоятельной дисциплины) «Основы САПР технологических процессов».

Цель изучения этой дисциплины заключается в приобретении студентами теоретических знаний в области построения систем автоматизированного проектирования и изучении подходов к формализации технологических знаний, не вдаваясь в конкретные детали, связанные с работой в конкретных пакетах. Опыт взаимодействия с конкретной системой студенты должны получать во время лабораторных работ.

Проектирование в современных условиях должно быть автоматизированным, что требует соблюдения определенных принципов построения САПР, учитывая возможности современных аппаратных средств.

Пользователь должен представлять, что созданию программного обеспечения САПР должна предшествовать самая сложная задача - формализация знаний в предметной области (в САПР ТП - это технология машиностроения) с использованием соответствующего математического аппарата.

При рассмотрении математического обеспечения САПР особое внимание уделено подходам к формализации технологических знаний. Объясняя фундаментальные концепции, иллюстрируя их адекватным количеством чертежей и примеров, автор, однако, не вдавался в избыточные подробности. Количество математических терминов и доказательств было сведено к минимуму.

В предлагаемом учебном пособии будут рассмотрены как принципы построения САПР, так и вопросы, связанные с видами обеспечения САПР.

Рассматриваются аппаратные и программные компоненты, из которых состоят современные САПР. Рассказывается о роли САПР в жизненном цикле продукта.

Успех или неуспех конкретных САПР часто зависит от совершенства лингвистического (языкового) обеспечения и эффективности информационного обеспечения САПР, о чем также должен иметь представление пользователь.

# ГЛАВА 1

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 1.1 Проектирование. Автоматизированное проектирование. САПР

Традиционные («ручные») методы проектирования не обеспечивают необходимой эффективности инженерного труда, что обусловлено рядом проблем.

*Во-первых*, наметилось противоречие между темпами роста производительности труда ИТР, с одной стороны, и уровнем производительности труда непосредственно в сфере производства изделий машиностроения - с другой. Так, за последние 100 лет производительность труда рабочих возросла в 15 раз, а инженерно-технического труда только в 2 раза [1].

*Во-вторых*, при непрерывном росте сложности техники наблюдается тенденция сокращения периода выпуска (времени нахождения в производстве) изделий по неизменным чертежам. Так, за последние 20 лет период нахождения изделий в производстве сократился более чем в 3 раза, а средняя продолжительность цикла технологической подготовки производства увеличилась примерно в 2 раза. При существующих сроках от начала разработки до запуска изделий в производство (для современного самолета этот срок составляет 10 лет) изделие может морально устареть к моменту своего запуска в производство. А сроки эти растут с ростом сложности техники. Важную роль в сокращении сроков освоения новых изделий должно играть резкое повышение производительности труда ИТР [1].

*В-третьих*, инженерный труд во всем мире считают тяжелым трудом. Поэтому резкое повышение производительности труда ИТР невозможно без коренного изменения методов проектирования изделий и технологических процессов.

Внедрение автоматизированного проектирования в настоящее время - это основной способ повышения производительности труда инженерно-технических работников, занятых проектированием.

Реализация автоматизированного проектирования происходит в рамках систем автоматизированного проектирования - **САПР**. Именно автоматизированное проектирование является одной из наиболее важных областей применения современной вычислительной техники. Следует при этом помнить, что автоматизированное проектирование - это новый кибернетический подход к задачам проектирования с широким использованием методов дискретной математики. Автоматизация проектирования является необходимым условием при планировании, разработке и реализации гибких производственных систем (ГПС). Все изложенное является причиной того, что резко возрастает потребность в инженерах-пользователях САПР. Подготовка таких инженеров ведется в рамках специальностей, связанных с применением различных САПР (в частности, САПР ТП). Что же понимается под проектированием и автоматизированным проектированием?

Инженерная деятельность связана, прежде всего, с проектированием технических объектов. Технический объект - это не только машина, прибор, устройство, но и технологический процесс изготовления изделия, управляющая программа для станка с ЧПУ и т.д.

**Производство изделий** - это их изготовление по имеющемуся описанию. Под описанием понимается описание самого изделия или описание технологического процесса изготовления изделия.

**Проектирование** - это процесс получения такого описания. Следует подчеркнуть, что при проектировании мы получаем описание еще не существующего объекта.

Начинается проектирование при наличии первичного (исходного) описания, в котором в общем виде сформулированы назначение будущего объекта и требования к его свойствам. Первичное описание обычно представляется в форме технического задания (ТЗ) на проектирование объекта. В результате проектирования первичное описание путем выполнения ряда проектных операций и процедур преобразуется в окончательное описание - проектную документацию.

**Проектная документация** - это полный комплект документов, содержащий сведения, достаточные для изготовления объекта в заданных условиях.

Проектирование, в ходе которого все или часть преобразований первичного описания получают путем взаимодействия человека и ЭВМ при рациональном распределении функций между ними, называют **автоматизированным проектированием**.

**САПР** - это организационно-техническая система, входящая в структуру проектной организации и осуществляющая проектирование при помощи комплекса средств автоматизированного проектирования (КСАП).

Существует ряд признаков, по которым классифицируются САПР. Одним из них является уровень автоматизации. Наиболее распространенные в настоящее время диалоговые САПР ТП имеют, как правило, низкий уровень автоматизации. В них автоматизированы наиболее рутинные работы, такие как поиск информации, расчеты по известным формулам, оформление документации. Взаимодействие подразделений проектной организации и КСАП регламентируется организационным обеспечением.

Основой САПР является комплекс средств автоматизированного проектирования, которые можно сгруппировать по видам обеспечения автоматизированного проектирования, необходимого для решения задач проектирования. Составными функциональными частями САПР являются математическое, техническое, программное, лингвистическое, информационное, методическое и организационное обеспечения [1].

Основные цели автоматизации проектирования: повышение качества изделий, снижение материальных затрат, сокращение сроков проектирования, ликвидация тенденции к росту числа инженерно-технических работников, занятых проектированием, повышение производительности их труда. Однако не всегда переход к автоматизированному проектированию обеспечивает достижение всех перечисленных целей одновременно. Иногда, например, не наблюдается по-

вышение качества изделий, в других случаях нет непосредственного снижения материальных затрат. Экономический эффект имеется в этих случаях за счет ускорения научно-технического прогресса в данной и смежных областях техники. Правда, надо сказать, что этот эффект сейчас трудно оценить количественно.

Следует отметить новые задачи, которые появились перед проектантами и которые нельзя решить без САПР. Выход отечественного машиностроения на внешние рынки диктует необходимость предоставления всей документации в электронном виде, это позволяет сделать САПР [1].

## 1.2 Общие сведения о CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM-системах

Современные предприятия не смогут выжить во всемирной конкуренции, если не будут выпускать новые продукты лучшего качества, более низкой стоимости и за меньшее время. Поэтому они стремятся использовать огромные возможности памяти компьютеров, их высокое быстродействие и возможности удобного графического интерфейса для автоматизации задач проектирования и производства изделий. Таким образом сокращается время и стоимость разработки и выпуска продукта.

Для этой цели используются технологии автоматизированного проектирования (*computer aided design — CAD*), автоматизированного производства (*computer aided manufacturing — CAM*) и автоматизированной разработки или конструирования (*computer-aided engineering — CAE*). По-русски все эти системы вместе называются системами автоматизированного проектирования – САПР [2].

**CAD – системы** (*Компьютерная поддержка проектирования*) предназначены для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации.

Современные CAD – системы содержат модули:

- оформления чертежей и текстовой конструкторской документации (спецификации, ведомости и др.);
- для моделирования 2-х и 3-х мерной объемной конструкции или детали.

**CAM – системы** (*Компьютерная поддержка изготовления*). Это системы подготовки программ для станков с ЧПУ.

**CAE–системы** (*Компьютерная поддержка инженерных расчетов*). Это системы для решения всевозможных расчетных задач (расчеты на прочность, расчеты зубчатых передач, расчет процессов литья и штамповки и т.д.). В CAE-системах используется 3-х мерная модель изделия, созданная в CAD-системе.

**CAPP-системы** – (*Computer Aided Process Planning – Компьютерная поддержка процесса планирования*). Это автоматизированные системы технологической подготовки производства, а именно проектирования ТП.

**PDM – системы** (*Product Data Management-Система управления данными об изделии*) – это организационно-технические системы, обеспечивающие управление всей информацией об изделии. С помощью PDM-систем отслеживается большой массив данных и инженерно-техническая информация на

этапах проектирования, производства, эксплуатации, сопровождения и утилизации технических изделий. PDM-системы работают как с текстовыми документами, так и с геометрическими моделями, необходимыми для функционирования автоматических линий и станков с ЧПУ.

Первые системы начали появляться в 70-е годы XX столетия и были направлены на проектирование сложных промышленных изделий. Позже, в 80-е годы, появились и начали быстро распространяться системы массового применения.

Современные системы обеспечивают единую поддержку всего цикла разработки: эскизное проектирование, технологическую подготовку производства, испытания и сопровождение.

**CAD/CAM/CAE/CAPP**–системы сокращают сроки проектирования и внедрения новых изделий, повышают качество и надежность выпускаемой продукции.

Для выпуска любого изделия требуется конструкторско-технологическая подготовка производства. Слаженная работа конструкторов и технологов дает наилучшие результаты по сокращению сроков подготовки производства. Для автоматизации такой совместной работы нужна система, позволяющая в едином информационном пространстве решать разнообразные задачи.

Программные продукты, обеспечивающие единое конструкторско-технологическое пространство на базе структурных и геометрических моделей, называют **интегрированными CAD/CAM** системами [2].

Интегрированные системы могут состоять из одного модуля с разграничением функций конструкторов и технологов или быть разделенными на различные предметные модули. Но в любом случае результат работы хранится в общей модели. Данные системы содержат единое графическое представление данных и взаимосвязь конструкторской и технологической информации. Это гарантирует автоматическое или полуавтоматическое внесение изменений в технологию в результате изменения геометрии изделия.

### 1.3 Жизненный цикл продукта

Чтобы понять значение систем CAD/CAM/CAE, рассмотрим различные задачи и операции, которые приходится решать и выполнять в процессе разработки и производства продукта. Все эти задачи, взятые вместе, называются **жизненным циклом продукта**. Пример жизненного цикла продукта, описанного в работе [3] приведен на рисунке 1.1.

Прямоугольники из сплошных линий представляют два главных процесса, составляющих жизненный цикл продукта: процесс разработки и процесс производства. Процесс разработки начинается с запросов потребителей, которые обслуживаются отделом маркетинга, и заканчивается полным описанием продукта в форме чертежа. Процесс производства начинается с технических требований и заканчивается поставкой готовых изделий.



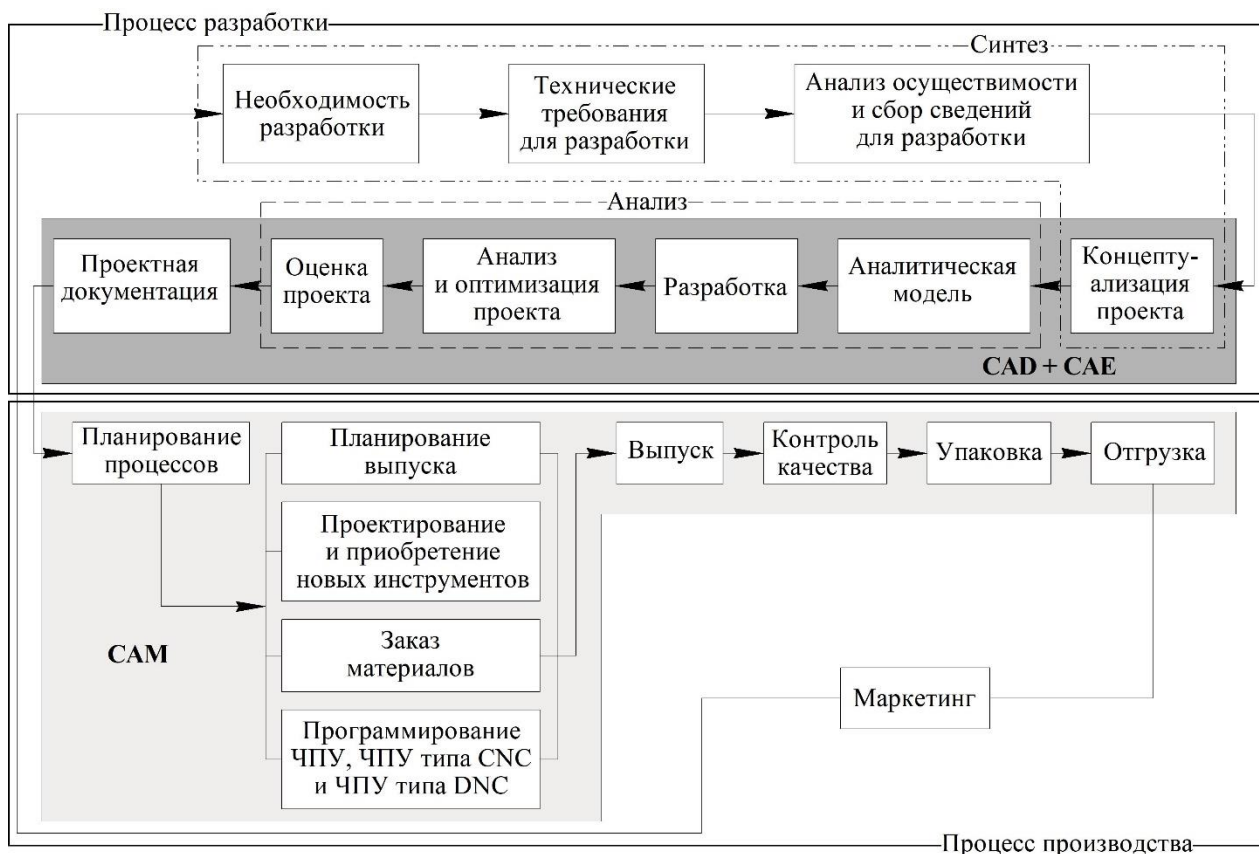


Рисунок 1.1 – Жизненный цикл продукта

Операции процесса разработки делятся на аналитические и синтетические. Из рисунка 1.1 видно, что к подпроцессу синтеза относятся такие операции разработки как определение необходимости разработки, формулирование технических требований, анализ осуществимости и сбор важной информации, а также концептуализация разработки. Результатом синтеза является концептуальный проект предполагаемого продукта в форме чертежа. В этой части цикла делаются основные финансовые вложения, необходимые для реализации идеи продукта, а также определяется его функциональность. Большая часть информации, обрабатываемой в рамках подпроцесса синтеза, является качественной, а следовательно, неудобной для компьютерной обработки [3].

Готовый концептуальный проект анализируется и оптимизируется - это уже подпроцесс анализа. Прежде всего вырабатывается аналитическая модель, поскольку анализируется именно модель, а не сам проект. Аналитическая модель получается, если из проекта удалить маловажные детали, редуцировать размерности и учесть имеющуюся симметрию. Редукция размерностей, например, подразумевает замену тонкого листа из какого-либо материала на эквивалентную плоскость с атрибутом толщины.

Симметричность геометрии тела и нагрузки, приложенной к нему, позволяет рассматривать в модели лишь часть этого тела. Типичные примеры анализа: анализ напряжений, позволяющий проверить прочность конструкции, а также кинематический анализ, показывающий, что проектируемое устройство будет совершать ожидаемые движения. Качество результатов, которые могут

быть получены в результате анализа, непосредственно связано с качеством выбранной аналитической модели, которым оно ограничивается [3].

После завершения проектирования и выбора оптимальных параметров начинается этап оценки проекта. Для этой цели могут изготавливаться прототипы. В конструировании прототипов все большую популярность приобретает новая технология, названная *быстрым прототипированием*. Эта технология позволяет конструировать прототип снизу вверх, то есть непосредственно из проекта, поскольку фактически требует только лишь данных о поперечном сечении конструкции. Если оценка проекта на основании прототипа показывает, что проект не удовлетворяет требованиям, описанный выше процесс разработки повторяется снова [3].

Если же оценка проекта удовлетворительная, начинается подготовка проектной документации. К ней относятся чертежи, отчеты и списки материалов. Чертежи обычно копируются, а копии передаются на производство.

Как видно из рисунка 1.1, процесс производства начинается с планирования на основании полученных ранее чертежей, а заканчивается готовым продуктом. Технологическая подготовка производства (ТПП) – это операция, устанавливающая список технологических процессов по изготовлению продукта и задающая параметры. Одновременно выбирается оборудование, на котором будут производиться технологические операции по получению детали нужной формы из заготовки.

В результате ТПП составляется план выпуска, списки материалов и программы для оборудования. На этом же этапе отрабатываются прочие специфические требования, в частности рассматриваются конструкции приспособлений. ТПП занимает в процессе производства примерно такое же место, как подпроцесс синтеза в процессе проектирования, требуя значительного человеческого опыта. Поэтому данный этап сложно компьютеризировать.

После завершения технологической подготовки начинается выпуск готового продукта и контроль его качества. Детали, успешно прошедшие контроль качества, упаковываются, маркируются и отгружаются заказчиком.

Итак, мы рассмотрели типичный жизненный цикл продукта. Посмотрим теперь, каким образом на этапах этого цикла могут быть применены технологии CAD, CAM и CAE.

#### **1.4 Применение технологий CAD, CAM и CAE на этапах жизненного цикла продукта**

Как уже говорилось, компьютеры не могут широко использоваться в подпроцессе синтеза, поскольку они не обладают способностью хорошо обрабатывать качественную информацию. Однако даже на этом этапе разработчик может, например, при помощи коммерческих баз данных успешно собирать важную для анализа осуществимости информацию, а также пользоваться данными из каталогов.

Непросто представить себе использование компьютера и в процессе концептуализации проекта, потому что компьютер пока еще не стал мощным сред-

ством для интеллектуального творчества. На этом этапе компьютер может сделать свой вклад, обеспечивая эффективность создания различных концептуальных проектов. Полезными могут оказаться средства параметрического и геометрического моделирования, а также макропрограммы в *системах автоматизированной разработки чертежей*. Все это типичные примеры систем САД. *Система геометрического моделирования* – это трехмерный эквивалент системы автоматизированной разработки чертежей, то есть программный пакет, работающий с трехмерными, а не с плоскими объектами.

По-настоящему ценность компьютеров проявляется в аналитической фазе проектирования. В последние годы разработано очень много программных пакетов для анализа напряжений, кинематического анализа и др. Эти программные пакеты относятся к средствам автоматизированного конструирования (САЕ).

Главная проблема, связанная с их использованием, заключается в необходимости формирования аналитической модели. Проблемы не существовало бы вовсе, если бы аналитическая модель автоматически выводилась из концептуального проекта. Однако, как уже отмечалось, аналитическая модель не идентична концептуальному проекту – она выводится из него путем исключения несущественных деталей и редукции размерностей. Необходимый уровень абстракции зависит от типа анализа и желаемой точности решения. Следовательно, автоматизировать процесс абстрагирования достаточно сложно, поэтому аналитическую модель часто создают отдельно [3].

Обычно абстрактная модель проекта создается в системе разработки рабочих чертежей или в системе геометрического моделирования, а иногда с помощью встроенных средств аналитического пакета. Аналитические пакеты обычно требуют, чтобы исследуемая структура была представлена в виде объединения связанных сеток, разделяющих объект на отдельные участки, удобные для компьютерной обработки. Если аналитический пакет может генерировать сетку автоматически, человеку остается задать только границы абстрактного объекта. В противном случае сетка также создается пользователем либо в интерактивном режиме, либо автоматически, но в другой программе. Процесс создания сетки называется *моделированием методом конечных элементов*. Моделирование этим методом включает в себя также задание граничных условий и внешних нагрузок.

Подпроцесс анализа может выполняться в цикле оптимизации проекта по каким-либо параметрам. Разработано множество алгоритмов поиска оптимальных решений, а на их основе построены коммерчески доступные программы. Процедура оптимизации может считаться компонентом системы автоматизированного проектирования, но более естественно рассматривать эту процедуру отдельно [3].

Фаза оценки проекта также выигрывает от использования компьютера. Если для оценки проекта нужен прототип, то его можно быстро сконструировать по заданному проекту при помощи программных пакетов, генерирующих код для машины быстрого *прототипирования*. Такие пакеты считаются программами для автоматизированной подготовки производства (САМ).

Разумеется, форма прототипа должна быть определена заранее в наборе входных данных. Данные, определяющие форму, получаются в результате геометрического моделирования. Быстрое прототипирование – удобный способ конструирования прототипа, однако еще удобнее пользоваться виртуальным прототипом, который часто называется «цифровой копией» и позволяет получить столь же полезные сведения.

Когда аналитические средства для работы с цифровыми копиями станут достаточно мощными, чтобы давать столь же точные результаты, что и эквивалентные эксперименты на реальных прототипах, цифровые копии начнут вытеснение обычных прототипов. Эта тенденция будет усиливаться по мере совершенствования технологий виртуальной реальности, позволяющих нам ощущать цифровую копию так же, как реальный прототип. Построение цифровой копии называется *виртуальным прототипированием*. Виртуальный прототип может быть создан и в специализированной программе геометрического моделирования [3].

Последняя фаза процесса разработки – подготовка проектной документации. На этом этапе чрезвычайно полезным оказывается использование систем подготовки рабочих чертежей. Способность подобных систем работать с файлами позволяет систематизировать хранение и обеспечить удобство поиска документов.

Компьютерные технологии используются и на стадии производства. Процесс производства включает в себя планирование выпуска, проектирование и приобретение новых инструментов, заказ материалов, программирование машин с ЧПУ, контроль качества и упаковку. Компьютерные системы, используемые в этих операциях, могут быть классифицированы как системы автоматизированного производства. Например, программа автоматизированной технологической подготовки (*computer aided process planning – CAPP*) используется на этапе подготовки производства и относится к системам автоматизированного производства (САМ).

Как отмечалось выше, подготовка производства с трудом поддается автоматизации, поэтому полностью автоматических систем технологической подготовки в настоящий момент не существует. Однако существует множество хороших программных пакетов, генерирующих код для станков с числовым программным управлением. Станки этого класса позволяют получить деталь нужной формы по данным, хранящимся в компьютере. Они аналогичны машинам для быстрого прототипирования [3].

К системам автоматизированного производства относят также программные пакеты, управляющие движением роботов при сборке компонентов и перемещении их между операциями, а также пакеты, позволяющие программировать координатно-измерительную машину, используемую для проверки продукта.

Итак, вы получили представление о том, каким образом компьютерные технологии используются в операциях, составляющих жизненный цикл продукта, и какие задачи решаются при помощи систем автоматизированного про-

ектирования. Технологии CAD, CAM и CAE будут определены в следующем разделе.

## 1.5 Технологии CAD, CAM и CAE

**Автоматизированное проектирование (computer aided design – CAD)** представляет собой технологию, состоящую в использовании компьютерных систем для облегчения создания, изменения, анализа и оптимизации проектов [2]. Таким образом, любая программа, работающая с компьютерной графикой, так же как и любое приложение, используемое в инженерных расчетах, относится к системам автоматизированного проектирования.

Другими словами, множество средств CAD простирается от геометрических программ для работы с формами до специализированных приложений для анализа и оптимизации [3]. Между этими крайностями уместятся программы для анализа допусков, моделирования методом конечных элементов и визуализации результатов анализа. Основная функция CAD – определение геометрии конструкции (детали, механизма), поскольку геометрия определяет все последующие этапы жизненного цикла продукта.

Для этой цели обычно используются системы разработки рабочих чертежей и геометрического моделирования. Вот почему эти системы обычно и считаются системами автоматизированного проектирования. Более того, геометрия, определенная в этих системах, может использоваться в качестве основы для дальнейших операций в системах CAE и CAM.

Это одно из наиболее значительных преимуществ CAD, позволяющее экономить время и сокращать количество ошибок, связанных с необходимостью определять геометрию конструкции с нуля каждый раз, когда она требуется в расчетах. Можно, следовательно, утверждать, что системы автоматизированной разработки рабочих чертежей и системы геометрического моделирования являются наиболее важными компонентами автоматизированного проектирования.

**Автоматизированное производство (computer-aided manufacturing – CAM)** – это технология, состоящая в использовании компьютерных систем для планирования, управления и контроля операций производства через прямой или косвенный интерфейс с производственными ресурсами предприятия. Одним из наиболее зрелых подходов к автоматизации производства является числовое программное управление (ЧПУ).

ЧПУ заключается в использовании запрограммированных команд для управления станком, который может точить, шлифовать, сверлить, фрезеровать и иными способами превращать заготовки в готовые детали. В наше время компьютеры способны генерировать большие программы для станков с ЧПУ на основании геометрических параметров изделий из базы данных CAD и дополнительных сведений, предоставляемых оператором. Исследования в этой области концентрируются на сокращении необходимости вмешательства оператора.

Еще одна важная функция систем автоматизированного производства – программирование роботов, которые могут работать на гибких автоматизиро-

ванных участках, выбирая и устанавливая инструменты и обрабатываемые детали на станках с ЧПУ. Роботы могут также заниматься сваркой, сборкой и переносом оборудования и деталей по цеху [3].

Планирование процессов также постепенно автоматизируется. План процессов (технологический маршрут) может определять последовательность операций по изготовлению продукта от начала и до конца на всем необходимом оборудовании. Хотя полностью автоматизированное планирование процессов, как уже отмечалось, практически невозможно, план обработки конкретной детали вполне может быть сформирован автоматически, если уже имеются планы обработки аналогичных деталей. Для этого была разработана технология группировки, позволяющая объединять схожие детали в семейства. Детали считаются подобными, если они имеют общие конструктивные особенности (лыски, пазы, резьба, отверстия т. д.). Для автоматического обнаружения схожести деталей необходимо, чтобы база данных САД содержала сведения о таких особенностях. Эта задача осуществляется при помощи объектно-ориентированного моделирования или распознавания элементов [3].

Вдобавок, компьютер может использоваться для того, чтобы выявлять необходимость заказа исходных материалов и покупных деталей, а также определять их количество исходя из объемов производства. Называется такая деятельность планированием технических требований к материалу. Компьютер может также использоваться для контроля состояния станков в цехе и отправки им соответствующих заданий.

*Автоматизированное конструирование (computer-aided engineering – CAE)* – это технология, состоящая в использовании компьютерных систем для анализа геометрии САД, моделирования и изучения поведения продукта для усовершенствования и оптимизации его конструкции. Средства CAE могут осуществлять множество различных вариантов анализа. Программы для кинематических расчетов, например, способны определять траектории движения и скорости звеньев в механизмах. Программы динамического анализа могут использоваться для определения нагрузок и смещений в сложных составных устройствах типа автомобилей.

Из всех методов компьютерного анализа наиболее широко в конструировании используется *метод конечных элементов*. С его помощью рассчитываются напряжения, деформации, теплообмен и другие задачи с непрерывными средами, решать которые каким-либо иным методом оказывается просто непрактично. В методе конечных элементов аналитическая модель структуры представляет собой соединение элементов, благодаря чему она разбивается на отдельные части, которые уже могут обрабатываться компьютером [3].

Как отмечалось ранее, для использования метода конечных элементов нужна абстрактная модель, а не сама конструкция. Абстрактная модель отличается от конструкции тем, что она формируется путем исключения несущественных деталей и редуцирования размерностей. Например, трехмерный объект небольшой толщины может быть представлен в виде двумерной оболочки [3]. Модель создается либо в интерактивном режиме, либо автоматически. Готовая абстрактная модель разбивается на конечные элементы, образующие ана-

литическую модель. Программные средства, позволяющие конструировать абстрактную модель и разбивать ее на конечные элементы, называются *препроцессорами*. Проанализировав каждый элемент, компьютер собирает результаты воедино и представляет их в визуальном формате. Например, области с высоким напряжением могут быть выделены красным цветом. Программные средства, обеспечивающие визуализацию, называются *постпроцессорами*.

Существует множество программных средств для оптимизации конструкций. Хотя средства оптимизации могут быть отнесены к классу САЕ, обычно их рассматривают отдельно. Ведутся исследования возможности автоматического определения формы конструкции путем объединения оптимизации и анализа [3]. В этих подходах исходная форма конструкции предполагается простой, как, например, у прямоугольного двумерного объекта, состоящего из небольших элементов различной плотности. Затем выполняется процедура оптимизации, позволяющая определить конкретные значения плотности, позволяющие достичь определенной цели с учетом ограничений на напряжения. Целью часто является минимизация веса. После определения оптимальных значений плотности рассчитывается оптимальная форма объекта. Она получается отбрасыванием элементов с низкими значениями плотности.

Замечательное достоинство методов анализа и оптимизации конструкций заключается в том, что они позволяют конструктору увидеть поведение конечного продукта и выявить возможные ошибки до создания и тестирования реальных прототипов, избежав определенных затрат. Поскольку стоимость конструирования на последних стадиях разработки и производства продукта экспоненциально возрастает, ранняя оптимизация и усовершенствование окупаются значительным снижением сроков и стоимости разработки.

Таким образом, технологии CAD, CAM и CAE заключаются в автоматизации и повышении эффективности конкретных стадий жизненного цикла продукта. Развиваясь независимо, эти системы еще не до конца реализовали потенциал интеграции проектирования и производства. Для решения этой проблемы была предложена новая технология, получившая название *компьютеризированного интегрированного производства (computer-integrated manufacturing – CIM)*. *CIM* пытается соединить «островки автоматизации» вместе и превратить их в бесперебойно и эффективно работающую систему. *CIM* подразумевает использование компьютерной базы данных для более эффективного управления всем предприятием, в частности бухгалтерией, планированием, доставкой и другими задачами, а не только проектированием и производством, которые охватывались системами CAD, CAM и CAE. *CIM* часто называют философией бизнеса, а не компьютерной системой.

## 1.6 CALS– технологии

**CALS-технологии** (*Continuous Acquisition and Lifecycle Support* - непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделий), или **ИПИ** (информационная поддержка процессов жизненного цикла изделий) - подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоёмкой

продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники и информационных технологий на всех стадиях жизненного цикла изделия (рисунок 1.2).

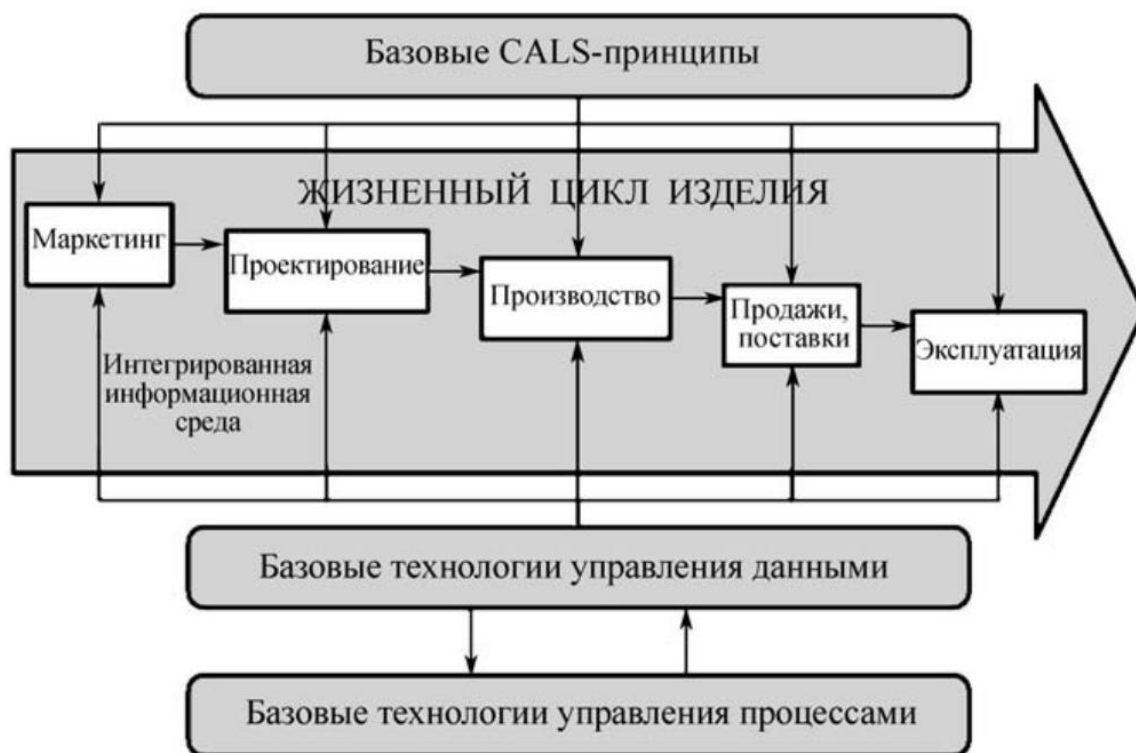


Рисунок 1.2 – Схема работы CALS-технологий

За счет непрерывной информационной поддержки обеспечиваются единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков продукции, поставщиков/производителей продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала. Информационная поддержка реализуется в соответствии с требованиями системы международных стандартов, регламентирующих правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными [4,5].

Применение CALS-технологий позволяет существенно сократить объёмы проектных работ, так как описания многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в унифицированных форматах данных сетевых серверов, доступных любому пользователю технологий CALS.

Существенно облегчается решение проблем ремонтпригодности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации, специализации проектных организаций и т. п. Предполагается, что успех на рынке сложной технической продукции будет немислим вне технологий CALS.

Развитие CALS-технологий должно привести к появлению так называемых виртуальных производств, в которых процесс создания спецификаций с информацией для программно-управляемого технологического оборудования,



достаточной для изготовления изделия, может быть распределён во времени и пространстве между многими организационно-автономными проектными студиями. Среди достижений CALS-технологий - лёгкость распространения переносимых проектных решений, возможность многократного воспроизведения частей проекта в новых разработках и др.

Построение открытых распределённых автоматизированных систем для проектирования и управления в промышленности составляет основу современных CALS-технологий. Главная проблема их построения - обеспечение единого описания и интерпретации данных, независимо от места и времени их получения в общей системе, имеющей масштабы вплоть до глобальных [4,5].

Структура проектной, технологической и эксплуатационной документации, языки её представления должны быть стандартизированными. Тогда становится реальной успешная работа над общим проектом разных коллективов, разделённых во времени и пространстве и использующих разные CAD/CAM/CAE-системы. Одна и та же конструкторская документация может быть использована многократно в разных проектах, а одна и та же технологическая документация - адаптирована к разным производственным условиям, что позволяет существенно сократить и удешевить общий цикл проектирования и производства. Кроме того, упрощается эксплуатация систем.

Для обеспечения информационной интеграции CALS использует стандарты *IGES* и *STEP* в качестве форматов данных. В CALS входят также стандарты электронного обмена данными, электронной технической документации и руководства для усовершенствования процессов [4,5].

Работа по созданию национальных CALS-стандартов в России проводится под эгидой Росстандарта: с этой целью создан Технический комитет ТК459 «*Информационная поддержка жизненного цикла изделий*», силами которого разработан ряд стандартов серии ГОСТ Р ИСО 10303, являющихся аутентичными переводами соответствующих международных стандартов (STEP).

## 1.7 Принципы построения САПР

Опыт создания и эксплуатации САПР позволил сформулировать следующие основные принципы их построения [1].

Во-первых, *принцип диалогового взаимодействия человека и ЭВМ*. На сегодня практически все системы проектирования с помощью ЭВМ являются системами автоматизированного проектирования. Важную роль в них играет человек - инженер-проектировщик, который принимает решения в узловых точках процесса проектирования. На долю человека в САПР отводится решение задач, формализация которых не достигнута, и задач, которые человек на основе своих эвристических способностей решает более эффективно, чем современная ЭВМ на основе своих вычислительных возможностей.

Во-вторых, *принцип системного единства*. САПР разбивается на отдельные части - подсистемы. Связи между подсистемами должны обеспечивать целостность системы. Разделение на подсистемы должно учитывать ие-

рархию уровней проектирования, так как в САПР обычно реализуется многоуровневый подход к проектированию.

В-третьих, **принцип совместимости**. Это означает совместимость по языкам, информационным и техническим характеристиками между системами, средствами обеспечения и компонентами САПР. Очень важна информационная согласованность, связанная с использованием одних и тех же массивов данных для различных программ.

В-четвертых, **принцип открытости и развития**. САПР - открытая и развивающаяся система. Это обеспечивает пополнение, совершенствование и обновление подсистем и компонентов САПР. Так как разработка САПР занимает продолжительное время, экономически выгодно вводить в эксплуатацию отдельные подсистемы по мере их готовности. Это должно обеспечиваться относительной автономностью подсистем САПР. Кроме того, этот принцип обеспечивает взаимодействие и расширение взаимосвязи с автоматизированными системами различного уровня и функционального назначения.

В-пятых, **принцип стандартизации и унификации**. В САПР необходимо максимально использовать унифицированные и типовые модули. Необходимым условием унификации является поиск общих элементов в моделировании, анализе и синтезе разнообразных технических объектов. Например, для системы технологического проектирования в области механообработки может быть создано инвариантное ядро для разных задач проектирования (выбор оборудования, оснастки, нормирования).

В-шестых, наконец, один из самых главных принципов - **принцип комплексной автоматизации всех стадий проектирования и производства**.

## 1.8 Структурная схема и виды обеспечения САПР

Рассмотрим состав и структуру САПР. Составными структурными частями САПР, жестко связанными с организационной структурой проектной организации, являются подсистемы [1].

**Подсистема САПР** - выделенная по некоторым признакам часть САПР, в которой при помощи специализированных комплексов средств обеспечивается получение законченных проектных решений и соответствующих документов. С точки зрения системного подхода подсистемы создаются как самостоятельные системы и обладают всеми свойствами систем.

По назначению подсистемы разделяют на проектирующие и обслуживающие.

Проектирующие подсистемы реализуют определенный этап (стадию) проектирования. Например, проектирующая подсистема проектирования технологических процессов. Она, в свою очередь, может быть разделена на более мелкие подсистемы. Деление на подсистемы обычно связано с расчленением представления об объектах проектирования на уровни по вертикали и по горизонтали. Такое деление порождает проектирующие подсистемы, которые ориентированы на выполнение определенных проектных процедур. Например, технологический процесс, как объект проектирования, можно разделить по вертика-

ли на маршрутный технологический процесс, операционный технологический процесс, управляющие программы для станков с ЧПУ. В свою очередь, операционный технологический процесс по горизонтали расчленяется на отдельные операции (токарную, фрезерную, сверлильную и т.д.). Соответственно в САПР ТП входят подсистемы проектирования маршрутного, операционного технологических процессов - по вертикали и подсистемы проектирования отдельных операций (токарной, фрезерной, сверлильной и т.д.) - по горизонтали.

Обслуживающие подсистемы имеют общесистемное применение. Они обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, а также оформление, передачу и выдачу полученных в них результатов. Типичными представителями обслуживающих подсистем являются подсистемы документирования, подсистемы графического ввода/вывода, система управления базой данных (СУБД). Особое место среди обслуживающих подсистем занимает мониторинговая система (монитор САПР). Ее назначение - организация управления процессом проектирования при выполнении проектных процедур и при взаимодействии подсистем САПР (как проектирующих, так и обслуживающих).

Структурными частями комплексов средств являются компоненты следующих видов обеспечения: технического, математического, программного, лингвистического, информационного и методического. Остановимся на некоторых положениях, связанных с компонентами видов обеспечения САПР.

К компонентам технического обеспечения относятся устройства вычислительной и организационной техники, средства передачи данных и другие устройства и их сочетания, обеспечивающие функционирование программно-технических комплексов (ПТК) и КСАП. Широко распространена в САПР двухуровневая структура технического обеспечения, включающая центральный вычислительный комплекс и автоматизированные рабочие места (терминальные станции).

К компонентам математического обеспечения относятся математические методы, математические модели и алгоритмы решения задач в процессе проектирования.

Компоненты программного обеспечения, объединенные в программно-методические комплексы (ПМК), должны иметь иерархическую организацию. На верхнем уровне размещается монитор управления компонентами низких уровней, то есть программными модулями. Монитор также обеспечивает общение пользователя с ПМК и программных модулей с соответствующими базами данных (БД).

К компонентам лингвистического обеспечения относятся языки проектирования (ЯП), информационно-поисковые языки (ИПЯ) и вспомогательные языки, используемые в обслуживающих подсистемах и для связи с ними проектирующих подсистем.

К компонентам информационного обеспечения относятся, прежде всего, базы данных в распределенной и централизованной форме. Совокупность БД САПР должна удовлетворять принципу информационного единства, то есть ис-

пользовать термины, символы, классификаторы, условные обозначения, способы представления данных, принятые в САПР конкретных видов.

К компонентам методического обеспечения относят: утвержденную документацию инструктивно-методического характера; правила эксплуатации КСАП, ПТК и ПМК; нормативы, стандарты и другие руководящие материалы, регламентирующие процесс проектирования.

Следует отметить, что в литературе встречается более широкое толкование понятия методическое обеспечение, когда под методическим обеспечением понимают совокупность математического, лингвистического обеспечения и компонентов, перечисленных в методическом обеспечении. Компоненты организационного обеспечения устанавливают организационную структуру системы; задачи и функции службы САПР и связанных с ней подразделений проектной организации; права и ответственность должностных лиц; порядок подготовки и переподготовки пользователей САПР.

## **1.9 АСТПП и САПР ТП**

АСТПП - это автоматизированная система технологической подготовки производства, основу организации которой составляет системное применение средств автоматизации инженерно-технических работ [1].

Применение системного подхода означает, в частности, что, с одной стороны, АСТПП является составной частью системы более высокого уровня (например, АСУ), а с другой стороны, сама должна состоять из подсистем (систем более низкого уровня).

К числу таких подсистем относятся, например, подсистемы специального назначения, которые связаны с вопросами изготовления изделий. Это подсистемы: технологичности конструкции изделия; проектирования технологических процессов; проектирования средств технологического оснащения и др. Под средствами технологического оснащения в данном случае подразумевают:

- специальное оборудование;
- специальные приспособления, штампы и т.п.;
- специальные инструменты.

Подсистемы проектирования технологических процессов и конструирования средств технологического оснащения реализуются на основе САПР технологического назначения:

- САПР технологических процессов (ТП);
- САПР оборудования;
- САПР приспособлений, САПР штампов и т.д.;
- САПР инструментов.

По методу выполнения технологических процессов («технологическому переделу») САПР ТП, в свою очередь, подразделяется на САПР ТПковки и штамповки; САПР ТПлитья; САПР ТПмеханообработки (МО) и т.д. В дальнейшем основное внимание будет уделено САПР ТПмеханообработки резанием. Поэтому далее под понятием САПР ТП будем иметь в виду именно САПР ТПмеханообработки резанием.

Следует отметить, что САПР ТП как подсистема АСТПП тесно связана с единой системой технологической подготовки производства - ЕСТПП. При построении САПР ТП используются основные принципы, заложенные в ЕСТПП. Это, прежде всего широкое применение унифицированных решений при разработке технологических процессов и средств технологического оснащения. Поскольку к проектированию технологического оснащения можно приступить только после решения задач проектирования технологических процессов изготовления деталей нового изделия, в АСТПП разрабатывались в первую очередь вопросы САПР ТП.

### **1.10 Методы автоматизированного проектирования технологических процессов**

Различают единичные и унифицированные ( типовые и групповые) технологические процессы. Единичный технологический процесс предназначен только для одного изделия, унифицированный - для группы однотипных или разнотипных изделий.

Автоматизированное проектирование технологических процессов производят на основе: повторного использования единичных технологических процессов; использования унифицированных ( типовых и групповых) технологических процессов; синтеза технологических процессов (индивидуальное проектирование) [1].

Первые два метода предполагают поиск в базе данных либо единичного технологического процесса, либо унифицированного технологического процесса. На основе кода детали происходит адресация к деталям-аналогам либо к комплексным деталям. Поэтому эти методы называются методами адресации.

При первом методе в базу данных вносятся все технологические процессы, когда-либо разработанные на предприятии. После того, как информационно-поисковая система найдет деталь-аналог, производится «редактирование» единичного технологического процесса детали-аналога. В итоге получают рабочий ТП для конкретной детали.

При втором методе в базе данных хранятся унифицированные технологические процессы и сведения о совокупностях деталей, к которым относится каждый из процессов. Совокупность деталей обычно характеризуется либо деталью-представителем, либо комплексной деталью. Поскольку первая процедура при втором методе проектирования - это процедура поиска, такие системы называют иногда информационно-поисковыми системами технологического проектирования. С помощью таких систем не могут быть получены новые, отсутствующие в базе данных решения.

Рабочий технологический процесс из унифицированного получают с помощью второй процедуры - анализа унифицированного решения. Выполнение второй процедуры позволяет оставить только те операции, которые необходимы для изготовления данной детали. В связи с использованием процедуры анализа второй метод иногда называют методом анализа.

Третий метод проектирования основан на синтезе технологических решений при проектировании единичных технологических процессов. При этом методе также используются унифицированные решения, но на более низком, элементарном уровне (иногда их называют локальные типовые решения). Например, планы обработки элементарных поверхностей и т.д. Метод синтеза иногда называют информационно-логическим методом проектирования. Синтез технологического маршрута обработки производится на основе анализа размерных связей элементов, синтеза схем базирования деталей, переходов с использованием аксиом технологической науки, формализованных с помощью аппарата математической логики. Такой метод синтеза иногда еще называют аксиоматическим методом проектирования технологических процессов.

Существуют и другие разновидности метода синтеза. Достоинством метода синтеза является его универсальность, позволяющая разрабатывать рабочие технологические процессы для деталей различных классов.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимается под проектированием и автоматизированным проектированием?
2. Дайте определение САПР.
3. Для чего предназначены САД/САМ/САЕ/САРР – системы?
4. Перечислите задачи и операции, которые приходится решать и выполнять в процессе жизненного цикла продукта.
5. В чём заключается технология быстрого прототипирования?
6. В чём заключается сущность моделирования методом конечных элементов?
7. В чём заключается технология виртуального прототипирования?
8. Что представляет собой технология автоматизированного проектирования – САД?
9. Что представляет собой технология автоматизированного производства – САМ?
10. Что представляет собой технология автоматизированного конструирования – САЕ?
11. Что такое САЛС-технологии? Их достоинства и преимущества.
12. Назовите основные принципы построения САПР.
13. Подсистема САПР. Дать определение. Какие подсистемы бывают по назначению?
14. Какие существуют виды обеспечения САПР?
15. Какие существуют САПР технологического назначения?
16. Какие бывают САПР по методу выполнения технологических процессов (технологическому переделу)?
17. Назовите методы автоматизированного проектирования и в чём заключается их сущность?

## ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР

### 2.1 Состав математического обеспечения САПР

*Математическое обеспечение* автоматизированного проектирования - это совокупность математических методов, математических моделей и алгоритмов проектирования, предназначенных для выполнения автоматизированного проектирования.

Математические методы, используемые при построении математических моделей и алгоритмов проектирования - это такие разделы дискретной математики, как теория множеств, теория графов, математическая логика, математическое программирование и другие.

*Математическая модель* технологического процесса - это совокупность математических объектов и отношений между ними, отражающая некоторые свойства изучаемого объекта, т.е. технологического процесса.

Математические объекты - это числа, множества, матрицы и т.д. Объектом моделирования может быть также деталь, для которой разрабатывается технологический процесс.

*Алгоритм проектирования* - это совокупность предписаний, необходимых для выполнения проектирования.

Автоматизированное проектирование технологических процессов, прежде всего, связано с широким использованием дискретной математики. Поэтому остановимся несколько подробнее на некоторых понятиях теории множеств, математической логики и теории графов.

### 2.2 Элементы теории множеств

#### 2.2.1 Основные понятия

*Множество* - это совокупность вполне различных объектов, рассматриваемых как единое целое.

Объекты - это не обязательно предметы. Например, может быть множество натуральных чисел  $N = \{1, 2, 3, \dots\}$ . В технологии машиностроения рассматривают такие множества, как множество станков  $T_1 = \{t_1^1, t_1^2, \dots\}$ , множество инструментов  $T_2 = \{t_1^2, t_2^2, \dots\}$  и т.д. Одновременно рассматривается и множество методов обработки (которые не являются предметами), например,  $M_4 = \{\text{точение, сверление, \dots}\}$ .

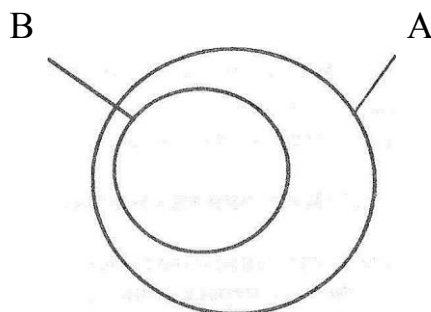
Множества обычно обозначаются прописными буквами латинского алфавита  $A, B, \dots Q, R, \dots$ . Объекты (элементы), входящие во множества, обозначаются строчными буквами латинского алфавита  $\{a_1, a_2, \dots\}$ ;  $\{b_1, b_2, \dots\}$  и т.п. Принадлежность элемента множеству обозначается знаком  $\in$ . Например,  $a_2 \in A$ . Отрицание принадлежности обозначается знаком  $\notin$ . Например,  $a_2 \notin B$ .

Технологическая наука имеет дело с конечными множествами, число объектов в которых конечно. Это число называется мощностью множества. Введено понятие пустого множества  $\emptyset$ , мощность которого равна 0. Бывает одноэлементное множество. Это множество, которое состоит из одного элемента.

Остановимся на понятиях подмножества и универсального множества.

Множество  $B$  называется подмножеством множества  $A$  тогда и только тогда, когда каждый элемент множества  $B$  принадлежит множеству  $A$ .

Обозначение  $B \subseteq A$ . Например,  $B = \{x, y, z\}$ ,  $A = \{a, b, c, x, y, z\}$ . Следовательно,  $B \subseteq A$ . Графически это обозначено на рисунке 2.1.

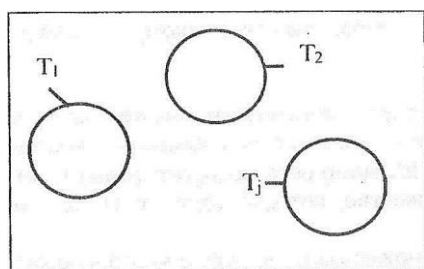


**Рисунок 2.1-** Множество и подмножество

Если  $B \subseteq A$  и  $B \neq A$ , то обычно записывают так:  $B \subset A$ .

Универсальное множество (универсум) — это столь обширное множество, что все рассматриваемые множества при решении какой-нибудь проблемы являются его подмножествами.

Графически его обозначают обычно прямоугольником. Например, при технологическом проектировании универсум - это множество всех технологических объектов, участвующих в реализации технологического процесса.



$$\begin{aligned}
 &T \\
 &T_1 \subset T \\
 &T_2 \subset T \\
 &\dots\dots \\
 &T_j \subset T \\
 &\dots\dots
 \end{aligned}$$

**Рисунок 2.2-** Универсальное множество  $T$

Можно указать два наиболее распространенных способа задания множеств: перечислением и указанием общих (характеристических) свойств элементов множества. При задании перечислением элементы множества заключаются в фигурные скобки. Например,

1.  $B = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5\}$  – множество  $B$  из пяти объектов;
2.  $E = \{x \mid x \text{ есть четное число } \leq 100\}$ . Вертикальная черта читается: «таких, что».

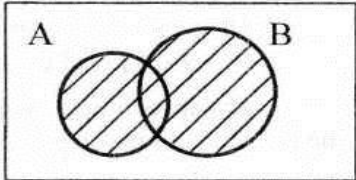
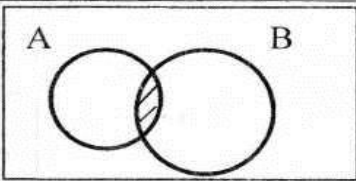
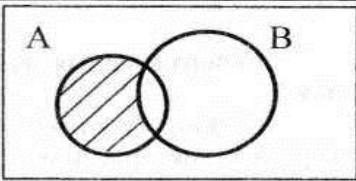
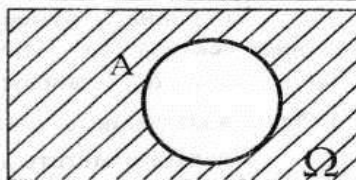


## 2.2.2 Операции над множествами

Рассмотрим наиболее употребительные операции над множествами. Их можно назвать пять: объединение, пересечение, разность, дополнение и декартово произведение множеств.

Первые четыре операции представим в виде таблицы 2.1.

**Таблица 2.1** – Операции над множествами

| Название и обозначение операции | Математическая запись операции                    | Графическое изображение  |
|---------------------------------|---|--|
| Объединение<br>$A \cup B$       | $= \{x \mid x \in A \text{ или } x \in B\}$       |    |
| Пересечение<br>$A \cap B$       | $= \{x \mid x \in A \text{ и } x \in B\}$         |    |
| Разность<br>$A \setminus B$     | $= \{x \mid x \in A \text{ и } x \notin B\}$      |   |
| Дополнение<br>$\bar{A}$         | $= \{x \mid x \in \Omega \text{ и } x \notin A\}$ |  |

Первые две операции можно распространить на любое число множеств.

Так, например, можно записать  $\bigcup_{i=1}^n A_i$  или  $\bigcap_{j=1}^n B_j$ .

Расшифруем для примера одну из математических записей.

Объединением двух множеств  $A$  и  $B$  называется множество элементов  $x$  таких, что  $x$  принадлежит множеству  $A$  или  $x$  принадлежит множеству  $B$ . Заштрихованное поле показывает, что объект  $x$  может быть в пределах этого поля. Аналогично расшифровываются остальные.

Особое значение отводится пятой операции - декартову (или прямому) произведению множеств.

Декартовым или прямым произведением двух произвольных множеств  $A$  и  $B$  является множество, обозначаемое  $A \times B$ , которое состоит из всевозможных упорядоченных пар  $(a, b)$ , в которых  $a$  и  $b$  независимо друг от друга приобретают все значения соответственно из множеств  $A$  и  $B$ .

Пример:  $A = \{a_1, a_2\}$ ;  $B = \{b_1, b_2, b_3\}$ .

$A \times B = \{(a_1, b_1), (a_1, b_2), (a_1, b_3), (a_2, b_1), (a_2, b_2), (a_2, b_3)\}$ .

Декартово произведение удобно представить в виде таблицы. В таблице 2.2 показан пример получения декартова произведения  $A \times B$ .

**Таблица 2.2** -Декартово произведение  $A$  и  $B$

| B     | A            |              |
|-------|--------------|--------------|
|       | $a_1$        | $a_2$        |
| $b_1$ | $(a_1, b_1)$ | $(a_2, b_1)$ |
| $b_2$ | $(a_1, b_2)$ | $(a_2, b_2)$ |
| $b_3$ | $(a_1, b_3)$ | $(a_2, b_3)$ |

Упорядоченная пара является частным случаем понятия вектор (кортеж).

**Вектор (кортеж)** - это упорядоченный набор элементов, в котором строго зафиксирован их порядок. Элементы, образующие вектор, называются координатами или компонентами вектора.

Координаты нумеруются слева направо. Число координат называется длиной вектора. Примером вектора длиной 2 (упорядоченной пары) являются координаты точек на плоскости  $S(x, y)$ . Примером вектора длиной 3 (тройки) являются координаты точки в пространстве  $V(x, y, z)$ .

Следует отметить отличие вектора (кортежа) от множества:

1. Объекты, входящие во множество, не повторяются. В кортеже объекты могут повторяться.
2. Объекты во множестве располагаются произвольно. Объекты в кортеже располагаются в строго определенном порядке.
3. Объекты, входящие во множество, заключаются в фигурные скобки. Объекты, входящие в кортеж, заключаются в круглые или угловые скобки.

Например, множество букв, образующих слово развертка, будет -  $\{a, в, з, е, к, р, т\}$ . Кортеж букв, который определяет понятие развертка:  $\langle p a z в e p t k a \rangle$ , в котором каждая компонента (буква) стоит строго на своем месте и отдельные буквы повторяются.

Очень важным для технологического проектирования является то, что отношения на множествах могут быть записаны с помощью декартова произведения множеств.

Рассмотрим, например, множество  $C$ , состоящее из трех станков: токарного ( $ТС$ ), сверлильного ( $СС$ ), фрезерного ( $ФС$ ).

$$C = \{ТС, СС, ФС\}$$

Другое множество  $\Pi$  будет состоять из двух приспособлений: тисов и люнета.

$$\Pi = \{\text{тисы, люнет}\}$$

Взяв декартово произведение этих множеств, можно определить все формально возможные сочетания этих предметов (таблица 2.3).

**Таблица 2.3–Декартово произведение  $C \times П$**

| П     | С           |             |             |
|-------|-------------|-------------|-------------|
|       | ТС          | СС          | ФС          |
| Тисы  | (ТС, Тисы)  | (СС, Тисы)  | (ФС, Тисы)  |
| Люнет | (ТС, Люнет) | (СС, Люнет) | (ФС, Люнет) |

Не все полученные кортежи реально отражают отношения совместности рассматриваемых технологических объектов в процессе обработки заготовок. Для выявления этих отношений необходим аппарат математической логики.

### 2.2.3 Математический аппарат соответствий и его использование для поиска решений

Соответствие  $\Gamma$  можно записать в виде тройки множеств  $\langle V, R, G \rangle$  [6]:

$$\Gamma = \langle V, R, G \rangle$$

где  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$  - множество входных элементов или область отправления соответствия;

$R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$  - множество возможных решений или область прибытия соответствия.

$G = \{ \langle v_i, r_j \rangle \}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$  - график соответствия.

График соответствия является подмножеством прямого произведения множеств  $V$  и  $R$ :  $G \subseteq V \times R$ .

С учетом специфики решаемых задач, можно считать, что соответствие определено на всех элементах множества  $V$ , то есть область отправления является областью определения соответствия. Кроме того, область прибытия является областью значений соответствия.

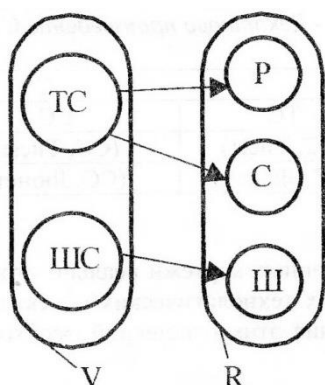
Рассмотрим конкретный пример соответствия. Положим, область отправления - это множество  $V$ , состоящее из двух станков: токарного (ТС) и шлифовального (ШС), то есть  $V = \{ТС, ШС\}$ . Область прибытия - это множество  $R$ , состоящее из трех инструментов: резца (Р), сверла (С), шлифовального круга (Ш), то есть  $R = \{Р, С, Ш\}$ .

График соответствия  $G$  состоит из следующих двоек (кортежей):

$$G = \{ \langle ТС, Р \rangle, \langle ТС, С \rangle, \langle ШС, Ш \rangle \}.$$

Когда соответствие определено для всех объектов из области отправления, такое соответствие называют отображением  $V$  в  $R$  и его можно записать так:  $G: V \rightarrow R$ .

Таким образом, соответствие  $\Gamma = \langle G, V, R \rangle$ , изображенное на рисунке 2.3, одновременно является отображением  $G: V \rightarrow R$ .



**Рисунок 2.3** – Соответствие  $\Gamma = \langle G, V, R \rangle$

В приведенном рисунке график соответствия  $G$  задан множеством дуг графа, которые определяют связи между элементами области отправления и элементами области прибытия. Соответствие  $\Gamma$  (рисунок 2.3) показывает, какие элементы области прибытия (инструменты) каким элементам области отправления (станкам) соответствуют. С помощью этого соответствия можно назначить для конкретного станка конкретный инструмент или группу инструментов.

График соответствия может быть выражен в виде таблицы соответствия (таблица 2.4). Область отправления будет в верхней части таблицы, область прибытия - в левой части таблицы. Тело таблицы будет составлять булева матрица соответствия. В клетке матрицы соответствия на пересечении каждой колонки и строки будет стоять цифра 1 (клетка заштрихована), если есть связь элемента области отправления и области прибытия (существует дуга, связывающая эти элементы) или нуль (клетка не заштрихована) в противном случае.

**Таблица 2.4** – Таблица соответствия для рисунка 2.3

| Область прибытия | Область отправления |    |
|------------------|---------------------|----|
|                  | ТС                  | ШС |
| Р                |                     |    |
| С                |                     |    |
| Ш                |                     |    |

В рассмотренном примере множество элементов области отправления было представлено конкретными объектами. Ставилась задача задать соответствие одних конкретных объектов (инструментов из области прибытия) другим конкретным объектам - станкам из области отправления. Такого рода задачи решаются при определении состава элементов, участвующих в формировании технологических решений. Например, после выбора режущих инструментов ставится задача выбора вспомогательных инструментов с использованием соответствий.

Следует отметить, что элементы областей отправления и прибытия - это не обязательно конкретные объекты. Элементами могут служить, например,

коды технологических операций. Тогда по кодам операций (область отправления) с помощью соответствий можно определить модель оборудования (область прибытия). Элементами области отправления могут быть и числовые отрезки значений какого-либо параметра. В этом случае построение графика соответствия будет иметь свои особенности, которые рассмотрим на примере выбора инструмента в зависимости от диаметра отверстия.

Входным элементом области отправления может быть множество чисел или числовой отрезок. Например, диапазон размеров длины детали, которые можно обработать на каком-то станке. Этот диапазон размеров можно разбить на отдельные отрезки. Тогда входным элементом будет множество размеров, которые будут входить в каждый отрезок.

Рассмотрим построение графика соответствия такого типа на примере выбора конструкции зенкера в зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия [7]. Материал режущей части зенкера - быстрорежущая сталь.

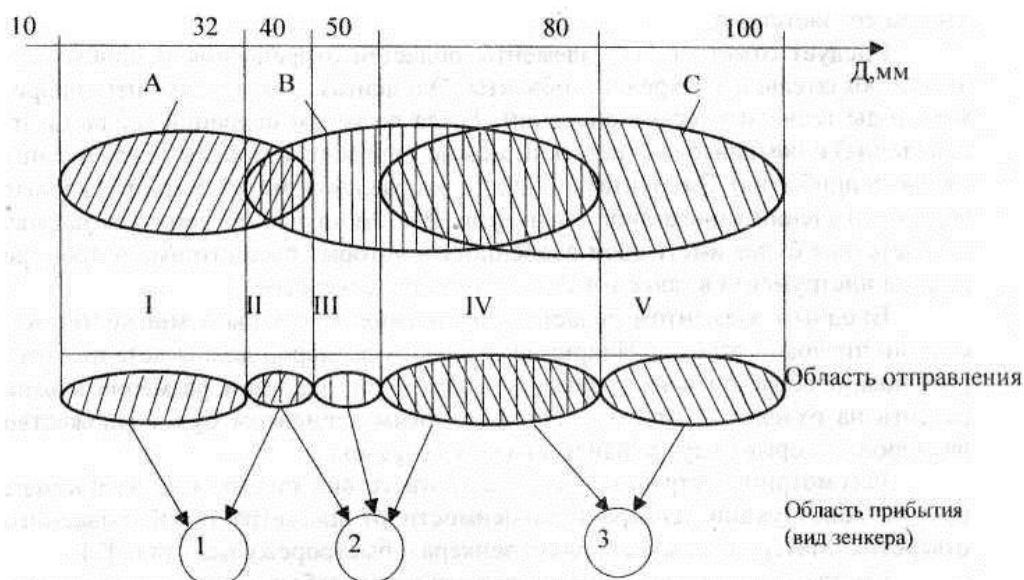
Составим исходную справочную таблицу (таблица 2.5) на основании одного из справочников. Левая колонка - это множество возможных решений (область прибытия).

Входным элементом области отправления является значение диаметра обрабатываемого отверстия (правая колонка). Как видно из исходной справочной таблицы, между диаметром и видом зенкера нет однозначного соответствия.

**Таблица 2.5 - Исходная справочная таблица**

| Вид зенкера                         | Диаметр Д, мм |
|-------------------------------------|---------------|
| 1. Цельный с коническим хвостовиком | 10-40         |
| 2. Цельный насадной                 | 32-80         |
| 3. Насадной со вставными ножами     | 50-100        |

Некоторые диапазоны диаметров, например 32-40 или 50-80, допускают применение двух решений, т.е. в области прибытия (множества возможных решений) указанным отрезкам соответствует по два возможных решения. Следовательно, элементами области отправления должны быть множества размеров, которые попадают в некоторый отрезок. На рисунке 2.4 показано разбиение общего диапазона размеров на такие отрезки и построение графика соответствия.



**Рисунок 2.4** -Соответствие вида зенкера (таблица 2.5) диапазону диаметров обрабатываемого отверстия

Исходными множествами для определения границ отрезков являются множества размеров  $A$ ,  $B$ ,  $C$  (рисунок 2.4), заданные справочной таблицей (таблица 2.5). Множество размеров, входящее в каждый отрезок, определяется с помощью операций разности ( $\setminus$ ) или пересечения ( $\cap$ ) множеств. Так, множество размеров, входящих в отрезок I, определяется как разность множеств  $A$  и  $B$  ( $A \setminus B$ ). Множество размеров, входящих в отрезок II, определяется как пересечение множеств  $A$  и  $B$  ( $A \cap B$ ) и т.д.

Сформируем таблицу соответствия по рисунку 2.4. Область отправления в этой таблице будет состоять из одного условия применимости - диаметра, который должен «попадать в отрезок» значений (отношение  $\leq \geq$ ) диаметров. Для других примеров могут быть другие отношения, например, «меньше» ( $<$ ); «меньше или равно» ( $\leq$ ) и т.п. Это условие и заданное отношение будет записано в верхней строке области отправления. В нижней строке области отправления будут записаны диапазоны диаметров, соответствующие отрезкам I, II, III, IV, V (рисунок 2.4). Область прибытия - это множество возможных решений (левая колонка таблицы 2.6).

**Таблица 2.6 – Таблица соответствия для рисунка 2.4**

| Множество возможных решений (виды зенкеров) | Условие применимости             |       |       |       |        |
|---|----------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|   | Диаметр $D$ , мм ( $\leq \geq$ ) |       |       |       |        |
|   | Значение условия применимости    |       |       |       |        |
|   | 10-31                            | 32-40 | 41-49 | 50-80 | 81-100 |
| 1. Цельный с коническим хвостовиком         |                                  |       |       |       |        |
| 2. Цельный насадной                         |                                  |       |       |       |        |
| 3. Насадной со вставными ножами             |                                  |       |       |       |        |

Тело таблицы - булева матрица соответствия - формируется согласно рисунку 2.4. Заштрихованные клетки равнозначны единицам, пустые - нулям.

Выше был рассмотрен частный случай формирования таблиц соответствий, когда выбор решения зависит от одного условия применимости (от одного аргумента). На практике обычно выбор решения зависит от нескольких аргументов. Например, при выборе вида зенкера, как минимум, необходимо учесть еще длину режущей части инструмента, от которой будет зависеть длина обрабатываемой поверхности. В общем виде таблица соответствий будет выглядеть следующим образом (таблица 2.7).

**Таблица 2.7 – Состав таблицы соответствия**

|                      |                           |
|----------------------|---------------------------|
| Возможные решения    | Таблица аргументов (ТА)   |
| Таблица решений (ТР) | Матрица соответствия (МС) |

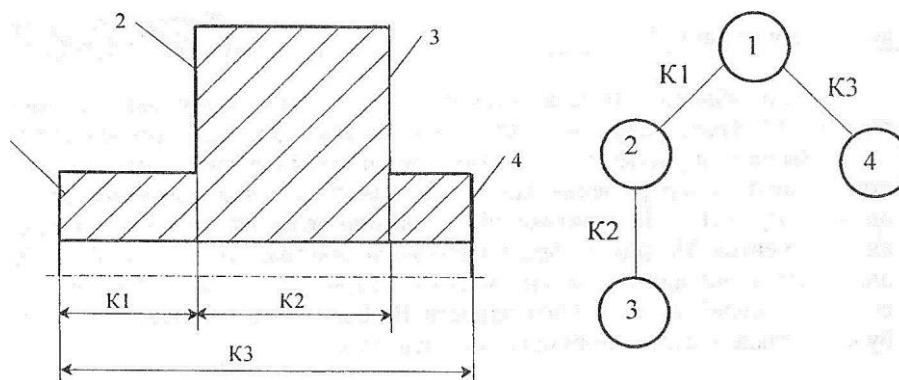
## 2.3 Элементы теории графов

### 2.3.1 Основные понятия

Теория графов широко применяется в задачах технологии машиностроения. Графы очень удобны для изучения отношений между элементами в сложных структурах. С теорией графов связано использование матричного исчисления.

**Граф** - это непустое множество объектов произвольной природы (вершин) и множество связей (ребер или дуг), которые соединяют все или некоторые пары заданных объектов.

В размерном анализе широко используются графы размерных связей. Покажем это на простейшем примере (рисунок 2.5), где номерами обозначены торцовые поверхности детали, между которыми проставлены линейные размеры. В данном случае вершинами графа являются торцовые поверхности, а связками (ребрами) графа являются линейные размеры.



**Рисунок 2.5 - Граф размерных связей**

Если граф содержит только связи с направлением, т.е. дуги, то такой граф называется ориентированным (орграфом). С помощью орграфа обозначается, например, последовательность операций в технологическом маршруте.

Если граф содержит и ребра и дуги, то такой граф называется смешанным.

Вершины графа обозначаются малыми латинскими буквами без индексов (a, b, c...) или с индексами ( $a_1, a_2, a_3, a_4...$ ). Вершины могут быть обозначены и цифрами (1, 2, 3, 4...).

Ребра графа обозначаются часто латинскими буквами с индексами, например  $u_i$ . Дуги обозначаются либо упорядоченными парами ( $x_i, x_j$ ), в которых  $x_i$  - начальная вершина дуги,  $x_j$  - конечная; либо:  $u_{ij}$ .

### 2.3.2 Способы задания графов

Можно указать четыре основных способа задания графов.

1. **Графический.** Вершины обозначаются окружностями, связи - линиями. На рисунке 2.5 показан пример неориентированного графа, а на рисунке 2.6 - ориентированного графа.

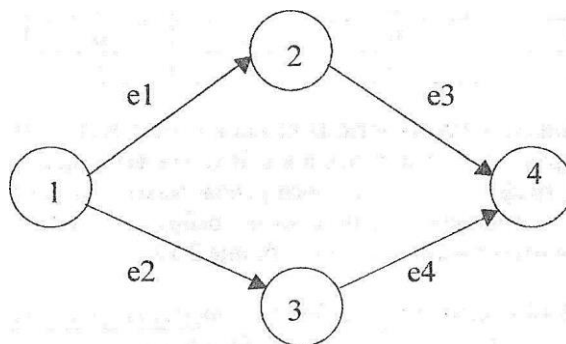


Рисунок 2.6 – Ориентированный граф

2. **Матрица смежности.** Это квадратная матрица, в теле которой наличие связи (ребра) между вершинами обозначается единицей, а отсутствие ребра обозначается нулем. Для неориентированного графа, показанного на рисунке 2.5, матрица смежности приведена в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Матрица смежности для неориентированного графа

| Вершины | Вершины |   |   |   |
|---------|---------|---|---|---|
|         | 1       | 2 | 3 | 4 |
| 1       | 0       | 1 | 0 | 1 |
| 2       | 1       | 0 | 1 | 0 |
| 3       | 0       | 1 | 0 | 0 |
| 4       | 1       | 0 | 0 | 0 |

Как видно из таблицы 2.8, матрица смежности для неориентированного графа симметрична относительно диагонали.

При задании ориентированного графа для фиксации вершин, соответствующих началу дуги, используется левая колонка матрицы смежности. Для



фиксации вершин, соответствующих концу дуги, используются строки в шапке матрицы смежности. Если в ориентированном графе нет петель, то диагональ матрицы заполняется нулями. Наличие дуги обозначается единицей в теле матрицы на пересечении строки с номером вершины, соответствующей началу дуги, и колонки, с номером вершины, соответствующей концу дуги.

На рисунке 2.6 приведен пример ориентированного графа, а в таблице 2.9 - матрица смежности для этого графа.

**Таблица 2.9** - Матрица смежности для ориентированного графа

| Вершины | Вершины |   |   |   |
|---------|---------|---|---|---|
|         | 1       | 2 | 3 | 4 |
| 1       | 0       | 1 | 1 | 0 |
| 2       | 0       | 0 | 0 | 1 |
| 3       | 0       | 0 | 0 | 1 |
| 4       | 0       | 0 | 0 | 0 |

**3. Матрица инцидентности.** В левой колонке этой матрицы указываются все связки графа (ребра и дуги), а в шапке все вершины графа. Для неориентированного графа в строке каждого ребра указываются единицами вершины инцидентные (принадлежащие) этому ребру. Для графа на рисунке 2.5 матрица инцидентности приведена в таблице 2.10.

**Таблица 2.10** - Матрица инцидентности для неориентированного графа

| Ребра | Вершины |   |   |   |
|-------|---------|---|---|---|
|       | 1       | 2 | 3 | 4 |
| K1    | 1       | 1 | 0 | 0 |
| K2    | 0       | 1 | 1 | 0 |
| K3    | 1       | 0 | 0 | 1 |

Для ориентированного графа в строке каждой дуги минус единицей обозначается вершина, соответствующая началу дуги, и единицей - вершина, соответствующая концу дуги. Матрица инцидентности для ориентированного графа (рисунок 2.6) приведена в таблице 2.11.

**Таблица 2.11** - Матрица инцидентности для ориентированного графа

| Дуга | Вершины |    |    |   |
|------|---------|----|----|---|
|      | 1       | 2  | 3  | 4 |
| e1   | -1      | 1  | 0  | 0 |
| e2   | -1      | 0  | 1  | 0 |
| e3   | 0       | -1 | 0  | 1 |
| e4   | 0       | 0  | -1 | 1 |

**4. Список связок.** Это самый экономный способ задания графов. В левой колонке записываются связки (ребра или дуги). В случае неориентированного графа в шапке указываются вершины, инцидентные (принадлежащие)

ребрам (таблица 2.12, рисунок 2.5). В случае ориентированного графа в шапке указываются колонки, соответствующие началу дуги и концу дуги (таблица 2.13, рисунок 2.6).

**Таблица 2.12**

| Ребра | Вершины |   |
|-------|---------|---|
| K1    | 1       | 2 |
| K2    | 2       | 3 |
| K3    | 1       | 4 |

**Таблица 2.13**

| Дуга | Начало дуги | Конец дуги |
|------|-------------|------------|
| e1   | 1           | 2          |
| e2   | 1           | 3          |
| e3   | 2           | 4          |
| e4   | 3           | 4          |

### 2.3.3 Маршрут, цепь, цикл на неориентированном графе. Граф-дерево

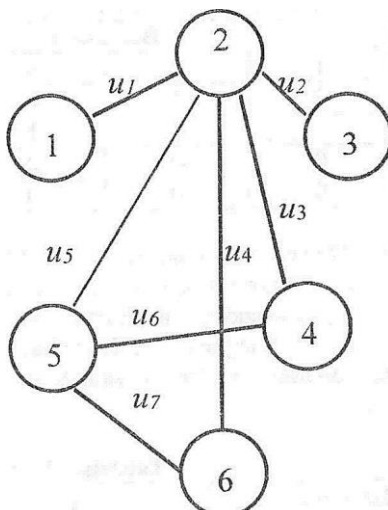
Рассмотрим ряд определений применительно к неориентированным графам [8].

**Маршрутом** на графе называется непрерывающаяся последовательность ребер, когда каждые два соседних ребра имеют общую вершину. Можно записать несколько вариантов маршрута с одинаковыми начальными и конечными точками на одном графе. Например, на графе (рисунок 2.7) между вершинами 1 и 5 могут быть маршруты

$$M_{1-5} = (1, 2, 5) = (u_1, u_5);$$

$$M'_{1-5} = (1, 2, 4, 5) = (u_1, u_3, u_6);$$

$$M''_{1-5} = (1, 2, 3, 2, 6, 5) = (u_1, u_2, u_2, u_4, u_7).$$



**Рисунок 2.7 - Неориентированный граф**

Как видно из последнего варианта маршрута  $M''_{1-5}$ , одно и то же ребро (в данном случае  $u_2$ ) может встречаться в маршруте несколько раз.

**Цепь** - это маршрут, в котором каждое ребро встречается не более одного раза.

Например, маршруты  $M_{1-5}$  и  $M'_{1-5}$  являются цепями, т.к. в них каждое ребро встречается только один раз. Маршрут  $M''_{1-5}$  не является цепью, т.е. ребро  $u_2$  в нем встречается дважды.

Маршрут называется **циклическим**, если начало и конец маршрута находится в одной и той же вершине. Например:

$$M_{1-1} = (1, 2, 4, 5, 2, 1) = (u_1, u_3, u_6, u_5, u_1).$$

**Циклом** называют циклический маршрут, который одновременно является цепью, т.е. в котором ребра не повторяются.

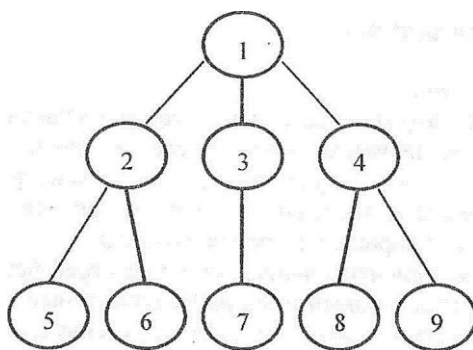
На этом же графе (рисунок 2.7) можно выделить, например, два цикла:

$$Ц_{2-2} = (2, 4, 5, 2) = (u_1, u_3, u_6, u_5, u_1), \text{ или}$$

$$Ц'_{2-2} = (2, 6, 5, 2) = (u_4, u_7, u_5).$$

Граф, в котором любые две его вершины можно соединить цепью, называют **связным графом**. Типичным примером связного графа является граф размерных связей детали (рисунок 2.5). Если в каком-либо координатном направлении существующая простановка размеров приводит к построению несвязного графа размерных связей, это свидетельствует об ошибках в простановке размеров.

**Граф-дерево** это связный граф, не содержащий ни одного цикла (рисунок 2.8).



**Рисунок 2.8** – Граф дерево

Для удобства решения задачи часто выделяется одна из вершин дерева (любая) и называется корнем. Корень определяется в соответствии со смыслом задач. В таком дереве можно естественным образом ориентировать ребра в направлении от корня. Если, например, за корень принять исходную заготовку, то каждая цепь от корня до висячей вершины даст вариант технологического процесса. Множество таких цепей даст множество вариантов технологических процессов. При этом вершины графа будут технологическими операциями.

### 2.3.4 Путь и контур на ориентированном графе. Граф-сеть

Рассмотрим некоторые понятия на ориентированном графе (рисунок 2.9), которые аналогичны вышеприведенным понятиям на неориентированном графе [6].

**Путь** графа - это непрерывная последовательность дуг  $(u_{i,j}; u_{j,k}; \dots)$  в которой конец каждой предыдущей дуги совпадает с началом последующей дуги.

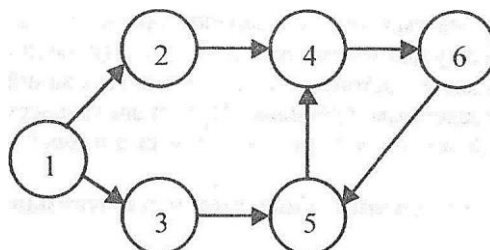


Рисунок 2.9 - Ориентированный граф с контуром

Для приведенного ориентированного графа путь из вершины 1 в вершину 4 будет, например, таким:

$$П_{1-4} = (u_{1,2}; u_{2,4});$$

$$П'_{1-4} = (u_{1,3}; u_{3,5}; u_{5,4}).$$

**Контур** графа - это конечный путь, у которого начальная вершина первой дуги совпадает с конечной вершиной последней дуги.

$$K_{5-5} = П_{5-5} = (u_{5,4}; u_{4,6}; u_{6,5}) - \text{контур.}$$

Теперь можно рассмотреть еще один вид графа - сеть, который широко используется в автоматизированном проектировании.

**Граф-сеть** - это ориентированный конечный граф без контуров.

Только что рассмотренный нами ориентированный граф нельзя назвать сетью, т.к. в нем есть один контур -  $K_{5-5}$ . Если изменить, например, направление дуги  $u_{6,5}$ , т.е. вершину 5 сделать начальной, а вершину 6 конечной дуги  $u_{5,6}$ , то получим граф-сеть (рисунок 2.10).

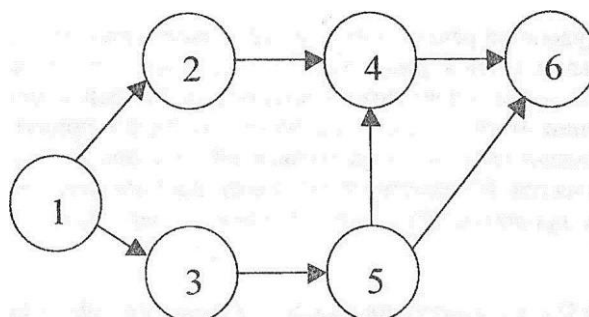


Рисунок 2.10- Граф-сеть

Граф-сеть используется, в частности, в сетевых моделях технологического проектирования.

## 2.4 Элементы математической логики

Аппарат математической логики применяется в тех случаях, когда взаимосвязь между факторами анализируется путем логических рассуждений. Любое рассуждение состоит из цепочки высказываний, вытекающих друг из друга по определенным правилам. Эти правила рассматриваются в разделе математической логики, который называется алгеброй высказываний.

### 2.4.1 Высказывания. Операции над высказываниями

Основным понятием математической логики является понятие простого высказывания.

**Высказывание** – это повествовательное предложение, утверждающее что-либо о чём-либо, о котором можно сказать истинно оно или ложно в данных условиях. Логическими значениями высказываний являются «истина» и «ложь».

В алгебре логики все высказывания рассматриваются только с точки зрения их логического значения. Каждое высказывание либо истинно, либо ложно, и ни одно высказывание не может быть одновременно истинным и ложным [9].

**Пример.** «Рубцовск - город Алтая». Значение высказывания – «истина».

«Число 4 больше 7». Значение высказывания – «ложно».

«Щука не рыба». Значение высказывания – «ложно».

«Число 8 делится на 2 и на 4». Значение высказывания – «истина».

«Если студент окончил институт, то он получает диплом». Значение высказывания – «истина».

Примеры высказываний, связанных с технологией обработки заготовок: «Тиски совместны с токарным станком». Значение высказывания – «ложно». «Тиски совместны со сверлильным станком». Значение высказывания – «истина». Таким образом, можно выявить истинные отношения совместимости.

Высказывание, представляющее собой одно утверждение, называется **простым, или элементарным**. Примерами простых высказываний являются первое и второе высказывание в приведённом примере.

Высказывания, которые получаются из простых с помощью логических связок «не», «и», «или», «если, то», «тогда и только тогда» называются **сложными, или составными** [9]. В приведённом примере третье высказывание получается из простого высказывания «Щука-рыба» путём добавления отрицания «не»; четвёртое высказывание образовано из простых высказываний «Число 8 делится на 2», «Число 8 делится на 4», соединённых союзом «и». Пятое высказывание получается из простых высказываний «Студент окончил институт» и «Студент получает диплом» путём добавления логической связки «если..., то...». Аналогично, сложные высказывания могут быть получены из простых высказываний путём добавления логических связок «или», «тогда и только тогда».

Простые высказывания обозначаются малыми буквами латинского алфавита; истинное значение высказываний обозначается цифрой 1, а ложное значение – цифрой 0. Например, если высказывание  $a$  истинно, то будет справедлива запись  $a = 1$ , если высказывание  $a$  ложно, то  $a = 0$  [9].

Таким образом, любое высказывание можно рассматривать как величину, принимающую одно из двух значений - «1» или «0». В алгебре высказываний нас не интересует содержание высказываний, нас интересует только оценка их истинности («1» или «0»).

Алгебра высказываний определяет операции над высказываниями и истинность или ложность высказываний. Все операции над высказываниями производятся без выяснения смысла высказываний.

Над высказываниями можно выполнять следующие логические операции: отрицание, конъюнкция, дизъюнкция, импликация и эквивалентность. Рассмотрим операции над высказываниями.

Операция **отрицания** высказывания  $x$  обозначается  $\bar{x}$  и читается «не  $x$ » или «неверно, что  $x$ ».

**Отрицание высказывания  $x$**  – это новое высказывание, которое является истинным, если высказывание  $x$  ложно, и ложным, если высказывание  $x$  истинно.

Логическое значение высказывания  $x$  можно описать с помощью следующей таблицы истинности [9]:

| $x$ | $\bar{x}$ |
|-----|-----------|
| 0   | 1         |
| 1   | 0         |

Пусть  $x$  – высказывание. Так как  $\bar{x}$  также является высказыванием, можно образовать отрицание высказывания  $\bar{x}$ , то есть высказывание  $\overline{\bar{x}}$ , которое называется двойным отрицанием высказывания  $x$ . Ясно, что логические значения  $\overline{\bar{x}}$  и  $x$  совпадают.

**Пример.** Пусть имеется высказывание  $x$  «Рубцовск город Алтая». Тогда высказывание «Неверно, что Рубцовск город Алтая» будет отрицанием, то есть  $\bar{x}$ , а высказывание «Неверно, что Рубцовск не город Алтая» - двойным отрицанием, то есть  $\overline{\bar{x}}$ .

Операция **конъюнкции** высказываний  $x$  и  $y$  обозначается символом  $\wedge$ , а выражение  $x \wedge y$  читается « $x$  и  $y$ ». Высказывания  $x$  и  $y$  называются членами конъюнкции.

Конъюнкция (логическое умножение) двух высказывания  $x$  и  $y$  – это новое высказывание, которое считается истинным, если оба высказывания,  $x$  и  $y$ , истинны, и ложным, если хотя бы одно из них ложно.

Логические значения операции конъюнкции описываются следующей таблицей истинности:

| $x$ | $y$ | $x \wedge y$ |
|-----|-----|--------------|
| 1   | 1   | 1            |
| 0   | 1   | 0            |
| 1   | 0   | 0            |
| 0   | 0   | 0            |

**Пример.** Если мы обозначим высказывание «6 делится на 2» как  $x$ , а «6 делится на 3» как  $y$ , то их конъюнкцией будет высказывание «6 делится на 2 и 6 делится на 3», которое записывается как  $x \wedge y$  и является истинным.

Операция **дизъюнкции** высказываний  $x$  и  $y$  обозначается символом  $\vee$ , а выражение  $x \vee y$  читается « $x$  или  $y$ ». Высказывания  $x$  и  $y$  называются членами дизъюнкции.

**Дизъюнкция** (логическое сложение) двух высказываний  $x$  и  $y$  – это новое высказывание, которое считается истинным, если хотя бы одно из высказываний  $x$  и  $y$  истинно, и ложным, если они оба ложны.

Логические значения операции дизъюнкции описываются следующей таблицей истинности:

| $x$ | $y$ | $x \vee y$ |
|-----|-----|------------|
| 1   | 1   | 1          |
| 1   | 0   | 1          |
| 0   | 1   | 1          |
| 0   | 0   | 0          |

**Пример.** Обозначим высказывание «В треугольнике DFE угол D острый» как  $x$ , а высказывание «В треугольнике DFE угол E острый» как  $y$ . Тогда дизъюнкция  $x \vee y$  этих высказываний «В треугольнике DFE угол D или угол E острый» истинна, так как обязательно истинно хотя бы одно из высказываний.

Операции конъюнкции и дизъюнкции могут быть распространены на  $n$  высказываний, т.е. справедливы записи:

$$a_1 \wedge a_2 \wedge \dots \wedge a_i \wedge \dots \wedge a_n = \bigwedge_{i=1}^n a_i;$$

$$b_1 \vee b_2 \vee \dots \vee b_j \vee \dots \vee b_n = \bigvee_{j=1}^n b_j.$$

Операция **импликации** высказываний  $x$  и  $y$  обозначается символом  $\Rightarrow$ , а выражение  $x \Rightarrow y$  читается как «если  $x$ , то  $y$ ». Высказывание  $x$  называют условием, или посылкой, высказывание  $y$  – следствием, или заключением, а высказывание  $x \Rightarrow y$  – следованием, или импликацией.

**Импликация** двух высказываний  $x$  и  $y$  – это новое высказывание, которое считается ложным, если  $x$  истинно, а  $y$  ложно, и истинным во всех остальных случаях.

Логические значения операции импликации описываются следующей таблицей истинности:

| $x$ | $y$ | $x \Rightarrow y$ |
|-----|-----|-------------------|
| 1   | 0   | 0                 |
| 0   | 1   | 1                 |
| 0   | 0   | 1                 |
| 1   | 1   | 1                 |

**Пример.** Обозначив высказывание «Число 12 делится на 6» как  $x$ , а высказывание «Число 12 делится на 3» как  $y$ , мы получим импликацию  $x \Rightarrow y$ , которая отражает высказывание «Если число 12 делится на 6, то оно делится на 3» и является истинным.

Операция импликации очень широко применяется для логических рассуждений, связанных с выбором технологических решений. Например, необходимо математически записать условие выбора шлифовального станка для обработки стальных заготовок. Известно, что шлифовальный станок можно применить, когда требуется, например, обеспечить шероховатость поверхности заготовок  $Ra 1,6$  или  $Ra 0,8$ , или  $Ra 0,4$ . Тогда, используя операцию импликации, можно записать:

$$(Ra 1,6 \vee Ra 0,8 \vee Ra 0,4) \Rightarrow (\text{шлифовальный станок применим}).$$

Левая часть этой записи (высказывание  $B$ ), в свою очередь, тоже является сложным высказыванием - дизъюнкцией трех высказываний:  $Ra 1,6$ ;  $Ra 0,8$ ;  $Ra 0,4$ .

Операция **эквивалентности** высказываний  $x$  и  $y$  обозначается символом  $\leftrightarrow$ , а выражение  $x \leftrightarrow y$  читается «для того чтобы  $x$ , необходимо и достаточно, чтобы  $y$ » или « $x$  тогда и только тогда, когда  $y$ ». Высказывания  $x$  и  $y$  называются членами эквивалентности.

Эквивалентность двух высказываний  $x$  и  $y$  – это новое высказывание, которое считается истинным, когда оба высказывания ( $x$  и  $y$ ) либо одновременно истинны, либо одновременно ложны, и ложным во всех остальных случаях.

Логические значения операции эквивалентности описываются следующей таблицей истинности:

| $x$ | $y$ | $x \leftrightarrow y$ |
|-----|-----|-----------------------|
| 1   | 1   | 1                     |
| 0   | 0   | 1                     |
| 1   | 0   | 0                     |
| 0   | 1   | 0                     |



**Пример.** Обозначив высказывание «Треугольник SPQ с вершиной S и основанием PQ равнобедренный» как  $x$ , а высказывание «В треугольнике SPQ с вершиной S и основанием PQ  $\angle P = \angle Q$ » как  $y$ , мы можем записать высказывание «Треугольник SPQ с вершиной S и основанием PQ равнобедренный тогда и только тогда, когда  $\angle P = \angle Q$ » в форме эквивалентности  $x \leftrightarrow y$ . Эквивалентность является истинной, так как высказывания либо одновременно истинны, либо одновременно ложны.

Это основные (но не все) операции алгебры высказываний. Следует отметить, что первые три операции (отрицания, конъюнкции и дизъюнкции) реализуются в ЭВМ.

С помощью логических операций над высказываниями можно строить сложные высказывания. При этом порядок выполнения операций определяется скобками. Например, из трёх высказываний,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  можно построить два высказывания:

$$(x \wedge y) \vee \bar{z} \text{ и } x \rightarrow (y \vee (x \wedge z)).$$

Первое высказывание есть дизъюнкция конъюнкции  $x$ ,  $y$  и отрицания высказывания  $z$ . Второе высказывание есть импликация, посылкой которой является высказывание  $x$ , а заключением – отрицание дизъюнкции высказывания  $y$  и конъюнкции высказываний  $x$ ,  $z$ .

**Формула алгебры логики** – это сложное высказывание, которое может быть получено из простых высказываний посредством применения логических операций отрицания, конъюнкции, дизъюнкции, импликации и эквивалентности.

Формулы алгебры логики обозначаются прописными буквами латинского алфавита  $A, B, C, \dots$ .

Буквенные обозначения формул алгебры логики используются в основном в определениях, когда надо обозначить некоторые общие для формул закономерности.

Возможности алгебры высказываний для формализации технологических знаний ограничены. Это связано с тем, что в алгебре высказываний не рассматривается смысл высказываний.

#### 2.4.2 Понятие предиката. Одноместные и многоместные предикаты

Алгебра высказываний не рассматривает содержание высказываний, а оценивает только их истинность.

Внутренняя структура простых высказываний рассматривается в логике предикатов. При этом выявляется, что некоторые объекты обладают некоторыми свойствами или находятся между собой в некоторых отношениях.

В отличие от высказываний предикаты являются неполными предложениями. Иногда их называют неопределёнными высказываниями. Это видно из сравнения (таблица 2.14).

**Таблица 2.14** — *Высказывания и предикаты*

| Высказывание         | Предикат              |
|----------------------|-----------------------|
| 10 есть четное число | ... есть четное число |
| 5 меньше 7           | ... меньше ...        |
| 9 делится на 3       | ... делится на ...    |

Предикаты могут быть записаны несколько иначе. Например:

$x$  - есть четное число;

$y$  - меньше, чем  $z$ .

Значения этих записей зависят от значений  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Поэтому предикаты называют еще высказывательными функциями. Выражение « $x$ - число четное» - не является высказыванием. Высказывание из этого выражения получаем после замены переменной  $x$  на определенное число. Если  $x=3$ , то ложное высказывание (0), если  $x=8$ , то истинное высказывание (1).

Таким образом, приведенное выражение можно рассматривать как функцию  $F(x)$ , зависящую от предметной переменной  $x$ . Область определения - множество чисел, а область значений - высказывания (1 или 0). Например,

|        |   |   |   |   |   |
|--------|---|---|---|---|---|
| $x$    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $F(x)$ | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |

Если это функция одной предметной переменной, то ее можно назвать предикат-свойство.

Предикат-свойство - это логическая функция, принимающая одно из двух значений 1 или 0 при подстановке на место предметной переменной конкретного значения из рассматриваемого множества.

Можно говорить о различных предикатах-свойствах объектов технологии, например: объект  $V$  - обладает свойством «уровень точности»  $m^2(V)$ , объект  $V$  - обладает свойством «метод обработки»  $m^4(V)$ ; объект  $X$  - обладает свойством «вид поверхности»  $m^5(X)$ ; объект  $X$  - обладает свойством «соотношение поверхностей»  $m^7(X)$ ; объект  $X$  - обладает свойством «положение поверхностей»  $m^{12}(X)$  и других. Конкретные значения предикатных переменных  $m^2$ ,  $m^4$ ,  $m^5$ ,  $m^7$ ,  $m^{12}$  - берутся из соответствующих множеств  $M_2$ ,  $M_4$ ,  $M_5$ ,  $M_7$ ,  $M_{12}$  и других.

Например, пусть  $m_1^4$  означает: обладать методом обработки «точение», тогда запись  $m_1^4(V)$  будет читаться так: объект  $V$  обладает методом обработки «точение». Другой пример:  $m_1^5$  означает обладать свойством - быть цилиндрической формы, тогда запись  $m_1^5(X)$  будет означать: объект  $X$  имеет цилиндрическую форму.

В общем случае предикат может быть неопределенным высказыванием, зависящим от  $n$  переменных. Это будут  $n$ -местные предикаты в отличие от

предиката - свойства, который является одноместным предикатом. В технологических задачах широко используются предикаты, зависящие от двух переменных, - двухместные предикаты, которые назовем предикатами - отношениями.

Например, можно записать предикат - отношение  $F(x_1, x_2)$ . Выражение  $F(x_1, x_2)$ , становится высказыванием при подстановке вместо переменных  $x_1, x_2$  их значения из множества  $K_1, K_2$  соответственно.

Элементы множества  $K_1, K_2$  называются объектами (предметами), а переменные  $x_1, x_2$  - предметными переменными. Предметные переменные могут быть взяты и из одного множества  $K_j$ .

Предметные переменные обычно обозначаются малыми буквами конца латинского алфавита:  $x, y, z$  или  $x_1, x_2, x_3 \dots$

Предметы из множеств  $K_1, K_2$  - малыми буквами начала латинского алфавита:  $a, b, c, \dots; a_1, a_2, a_3, \dots$

Предикаты - большими буквами латинского алфавита с приписанными предметными переменными или без них:  $A(x, y); F_1, F_2, F_3$ .

Например: 1.  $x=y$  обозначим  $A_1(x, y)$ ,  
2.  $x < y$  обозначим  $A_2(x, y)$ .

Рассмотрим подробнее многоместные предикаты из области технологического проектирования. Наиболее распространены три вида предикатов-отношений: предшествования  $Q_1(V_i, V_j)$ , предопределения  $Q_2(V_k, V_e)$ , совместности  $Q_3(V_k, V_e)$ .

Предикат  $Q_1(V_i, V_j)$  означает, что предмет  $V_i$  предшествует предмету  $V_j$  в технологическом процессе. Иногда это обозначают  $V_i < V_j$ . Например, известно, что сверло предшествует зенкеру при обработке отверстий в сплошном материале.

Предикат  $Q_2(V_k, V_e)$  означает, что предмет  $V_k$  предопределяет предмет  $V_e$  в технологическом процессе. Иногда это обозначают  $V_k \rightarrow V_e$ . Например, обрабатываемая поверхность предопределяет станок.

Предикат  $Q_3(V_k, V_e)$  означает совместность предметов  $V_k$  и  $V_e$  в технологическом процессе. Иногда это обозначается  $V_k \leftrightarrow V_e$ . Например, обрабатываемая поверхность совместна со станком.

При подстановке вместо предметных переменных их конкретных значений из соответствующих множеств предикаты превращаются в высказывания, о которых можно сказать, истинны они или ложны. Например, если в предикат  $Q_1(V_i, V_j)$  вместо  $V_i$  подставить из множества инструментов сверло, а вместо  $V_j$  - развертку, то,  $V_1(\text{сверло, развертка}) = 1$ .

### **2.4.3 Операции квантирования. Использование алгебры предикатов для формализации технологических законов**

Алгебра предикатов включает в себя все операции алгебры высказываний. Дополнительно в ней предусмотрены операции квантирования, которые назы-

вают также операциями квантификации или операциями навешивания кванторов.

Превратить предикат в высказывание можно не только подстановкой значений предметных переменных, но и с помощью еще двух логических операций - операций квантирования, применимых только к предикатам.

Рассмотрим сначала эти операции применительно к предикатам с одной переменной. Прежде всего, рассмотрим квантор общности.

Возьмем предикат четности  $Чe(x)$  и присвоим предметной переменной  $x$  все значения из множества натуральных чисел, кратных десяти и  $\leq 100$ :  $F = \{ 10, 20... 90, 100 \}$ .

Взяв конъюнкцию высказываний, полученных после подстановки на место предметной переменной  $x$  ее значений из приведенного множества, получим сложное высказывание:

$$Чe(10) \wedge Чe(20) \wedge \dots \wedge Чe(90) \wedge Чe(100) = 1.$$

Эта высказывание будет истинным.

Можно сократить эту запись с помощью квантора общности  $\forall$ .

Тогда запись будет следующей:  $\forall_F x Чe(x)$ .

Читается: «для всякого  $x$ , из множества  $F$  справедливо  $Чe(x)$ ».

При этом  $\forall_F x Чe(x) = Чe(10) \wedge Чe(20) \wedge \dots \wedge Чe(90) \wedge Чe(100) = 1$ .

Операция навешивания квантора общности есть обобщение операции конъюнкции.

В общем случае выражение  $\forall_B x F(x)$  означает высказывание истинное только в том случае, когда предикат  $F(x)$  истинен для всех объектов из множества  $B$ .

Такой квантор называется ограниченным на множестве  $B$ . Множество  $B$  является подкванторной областью. В прикладных заданиях всегда рассматриваются ограниченные кванторы.

Перейдем к квантору существования. Рассмотрим тот же предикат четности  $Чe(x)$  только для другой подкванторной области. В качестве подкванторной области выберем множество всех натуральных чисел, кратных пяти и  $\leq 100$ ;  $C = \{ 5, 10, \dots, 95, 100 \}$ .

Чтобы получить истинное высказывание, возьмем дизъюнкцию полученных простых высказываний после подстановки вместо  $x$  предметных переменных из  $C$ :

$$Чe(5) \vee Чe(10) \vee \dots \vee Чe(95) \vee Чe(100) = 1.$$

Такое сложное высказывание будет истинным.

Можно сократить эту запись с помощью квантора существования  $\exists$ . Тогда запись будет следующая:  $\exists_C Чe(x)$ . Читается «существует  $x$  из множества  $C$  такое, что справедливо  $Чe(x)$ ».

Навешивание квантора существования - это обобщение операции дизъюнкции.

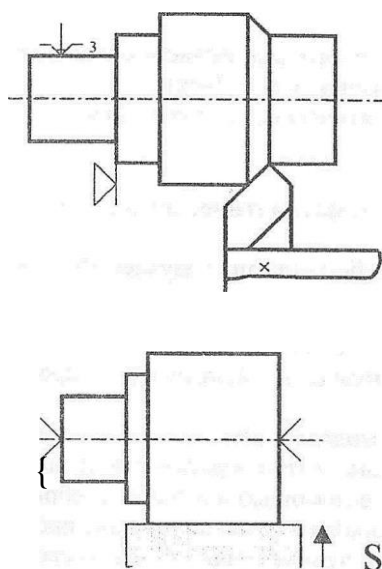
Выражение  $\exists_C x F(x)$  означает высказывание, истинное только в том случае, когда предикат  $F(x)$  истинен хотя бы для одного объекта из множества  $C$ .

Таким образом, операция навешивания квантора (любого) превращает одноместный предикат в высказывание. При этом переменная  $x$  носит название связанной предметной переменной.

При навешивании одного квантора на многоместный предикат связанной оказывается только одна предметная переменная, а остальные являются свободными. Например:  $\exists_F x M(x,y)$ . Здесь  $x$  - связанная переменная;  $y$  - свободная. Такое выражение не будет высказыванием, т.к. в нем есть свободная переменная. В данном случае это будет одноместный предикат с предметной переменной  $y$ .

Многоместный предикат будет превращаться в высказывание, если будут связаны все его переменные. Например:  $\forall_B x \exists_C y Q(x,y)$ . Навешивание двух кванторов связало обе переменные предиката  $Q(x,y)$ .

Рассмотрим пример формирования логической записи отношения следования в технологическом процессе между токарным и круглошлифовальным станком (рисунок 2.11).



Токарный станок ( $y_1$ )  
 $[m_1^{2.1}] = 10$  кв.

Если  
 $[m_1^{2.1}] < [m_2^{2.1}]$ ,  
 то  $y_1 < y_2$

Шлифовальный станок ( $y_2$ )  
 $[m_2^{2.1}] = 7$  кв.

**Рисунок 2.11**—Условия выполнения отношения следования

Логическая формула назначения отношения следования между двумя технологическими объектами  $y_1$  и  $y_2$  будет:

$$\exists_{T_1} y_1 \exists_{T_1} y_2 \exists_{M_{2.1}} m_1 \exists_{M_{2.1}} m_2 \left\{ \left[ \underbrace{m_1(y_1) \wedge m_2(y_2)}_A \wedge \underbrace{([m_1] < [m_2])}_B \right] \Rightarrow \underbrace{(y_1 < y_2)}_C \right\}$$

Оба технологических объекта  $y_1$  и  $y_2$  из одного множества станков ( $T_1$ ). Логический вывод основан на логической операции импликации:  $(A \wedge B \Rightarrow C)$ . В левой части (посылке) конъюнкция высказываний  $A$  и  $B$ . Высказывание  $A$  включает конъюнкцию двух предикатов - свойств. Слева от скобок показана операция навешивания квантора на предметные переменные  $y_1$  и  $y_2$  и на предикатные переменные  $m_1$  и  $m_2$ . Обе предикатные переменные, как это видно из

подкванторных множеств в приведенной выше формуле, относятся к уровням точности.

Предикатная переменная в квадратных скобках означает конкретный уровень точности. Поэтому высказывание  $B$  означает сравнение уровней точности станков. Высказывание  $C$  - это заключение, которое и устанавливает отношение следования.

## 2.5 Математические модели и алгоритмы проектирования

Модель - это аналог, с помощью которого мы пытаемся раскрыть внутренние закономерности, сопутствующие изучаемому объекту.

Модели могут быть физические, математические и другие. Нас будут интересовать математические модели.

### 2.5.1 Математическое моделирование и математические модели

Математическая модель представляет собой описание изучаемого класса объектов или явлений с помощью символов математики и логики. При математическом моделировании описываются состав и отношения элементов.

При технологическом проектировании, в частности, используются математические модели детали, математические модели технологического процесса и др.

Сам по себе чертеж детали уже является моделью детали, но язык чертежа пока еще недоступен ЭВМ. ЭВМ может выполнять операции над числами, может выполнять ряд логических операций с помощью аппарата алгебры высказываний. Поэтому, чтобы начать проектировать технологический процесс, необходимо сначала модель детали в виде чертежа перевести в числовую модель детали. Существует большое разнообразие числовых моделей геометрического образа детали. Рассмотрим одну из самых простых моделей, которая пригодится для осесимметричных деталей (рисунок 2.12).

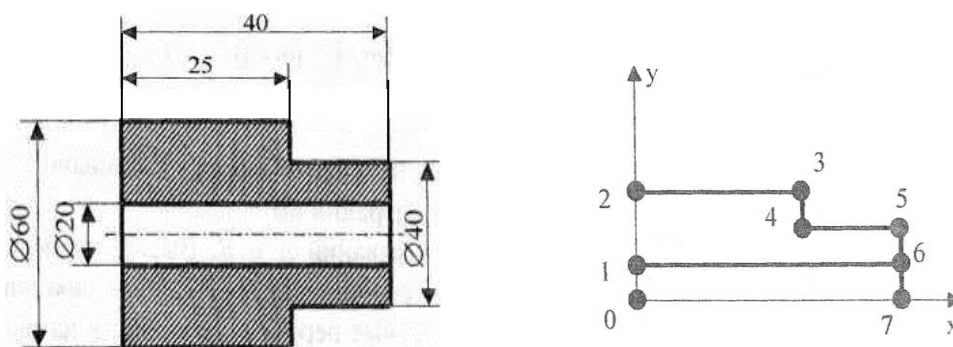


Рисунок 2.12 – Модель детали

В данном случае числовая модель контура детали представляет собой кортеж, компонентами которого являются упорядоченные пары (координаты  $x$ ,  $y$ )

узловых точек контура детали  $M = \langle (0,0), (0,10), (0,30), (25,30), \dots, (40,0) \rangle$ . Номера точек соответствуют обходу контура по часовой стрелке.

Математическая модель, отражающая геометрическую структуру детали, задается графом размерных связей детали (§ 2.3.1).

## 2.5.2 Упорядочивающие модели в технологическом проектировании

Одной из разновидностей математических моделей технологических процессов являются упорядочивающие модели. Упорядочивающие модели позволяют установить состав и взаимосвязь элементов технологического процесса. Ниже будут затронуты табличные и сетевые упорядочивающие модели.

С упорядочивающими моделями тесно связаны сочетательные модели, которые чаще всего используются для определения состава средств технологического оснащения, состава элементов комплексной детали и т.п.

Рассмотрим сочетательную модель для группы деталей типа тел вращения, отнесенных к одной комплексной детали, которая показана первой (рисунок 2.13,  $a_1$ ).

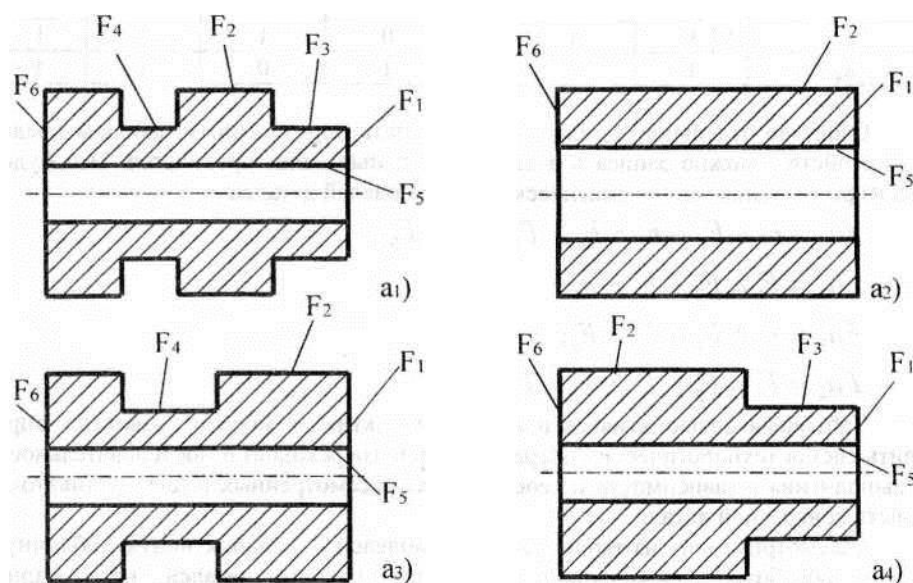


Рисунок 2.13 – Группа деталей

Буквой  $F$  (с индексом) обозначим предикат - свойство обладать той или иной поверхностью. Обозначим эти предикаты.

$F_1$  - «обладать крайней правой торцевой поверхностью»;

$F_2$  - «обладать открытой цилиндрической поверхностью наибольшего диаметра»;

$F_3$  - «обладать поверхностью типа уступ, доступной с правой стороны»;

$F_4$  - «обладать поверхностью типа выточка»;

$F_5$  - «обладать поверхностью типа сквозное цилиндрическое отверстие»;

$F_6$  - «обладать крайней левой торцевой поверхностью».

Сочетательная модель для этой группы деталей представляет собой разновидность таблицы соответствия, в которой каждый параметр - это предикат-свойство (таблица 2.15).

**Таблица 2.15 – Сочетательная модель для группы деталей**

| Детали | Предикаты-свойства |       |       |       |       |       |
|--------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | $F_1$              | $F_2$ | $F_3$ | $F_4$ | $F_5$ | $F_6$ |
| $a_1$  | 1                  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| $a_2$  | 1                  | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     |
| $a_3$  | 1                  | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     |
| $a_4$  | 1                  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |

Свойство отдельной детали - обладать определенным набором предикатов-свойств - можно записать в виде конъюнкции предикатов. Это будет одна из разновидностей математических моделей деталей.

$$Fa_1 = F_1 \wedge F_2 \wedge F_3 \wedge F_4 \wedge F_5 \wedge F_6;$$

$$Fa_2 = F_1 \wedge F_2 \wedge F_5 \wedge F_6;$$

$$Fa_3 = F_1 \wedge F_2 \wedge F_5 \wedge F_6;$$

$$Fa_4 = F_1 \wedge F_2 \wedge F_3 \wedge F_5 \wedge F_6.$$

Табличная дизъюнктивная и конъюнктивная модели позволяют определить состав технологических операторов (переходов) и последовательность их выполнения в зависимости от состава рассмотренных выше предикатов - свойств конкретной детали.

В таблице 2.16, для примера, приведена одна из табличных моделей - дизъюнктивная табличная модель обработки приведенной выше группы деталей на токарно-револьверном станке (исходная заготовка - пруток).

**Таблица 2.16-Дизъюнктивная модель обработки группы деталей**

| Технологические операторы | Предикаты-свойства |       |       |       |       |       |
|---------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           | $F_1$              | $F_2$ | $F_3$ | $F_4$ | $F_5$ | $F_6$ |
| Подрезать                 | •                  |       |       |       |       |       |
| Точить                    |                    | •     |       |       |       |       |
| Точить                    |                    |       | •     |       |       |       |
| Точить                    |                    |       |       | •     |       |       |
| Сверлить                  |                    |       |       |       | •     |       |
| Отрезать                  |                    |       |       |       |       | •     |

В табличных моделях технологических процессов одному варианту математической модели соответствует единственный вариант технологического



процесса.

Поэтому табличные модели применяются для проектирования рабочего технологического процесса на основе выбранного унифицированного процесса.

В сетевых моделях технологического процесса для одного варианта математической модели изделия может быть определено несколько вариантов рабочих технологических процессов, которые могут быть найдены с помощью графа-сети.

Но при этом порядок выполнения технологических операторов не может быть нарушен (модель тоже упорядочивающая). Отличие от табличных моделей - возможность изменения состава технологического процесса в разных его вариантах.

Следует отметить, что кроме упорядочивающих моделей технологического процесса (табличных и сетевых) существуют еще перестановочные модели. Такие модели применяются при проектировании технологических процессов сборки.

### 2.5.3 Понятие алгоритма

**Алгоритм** - это система точно определенных правил и предписаний, выполнение которых над исходными данными приводит к искомому результату.

Рассмотрим простейший блочный алгоритм (рисунок 2.14) выбора зубошвинговального станка на операцию зубошвингования прямозубых колес.

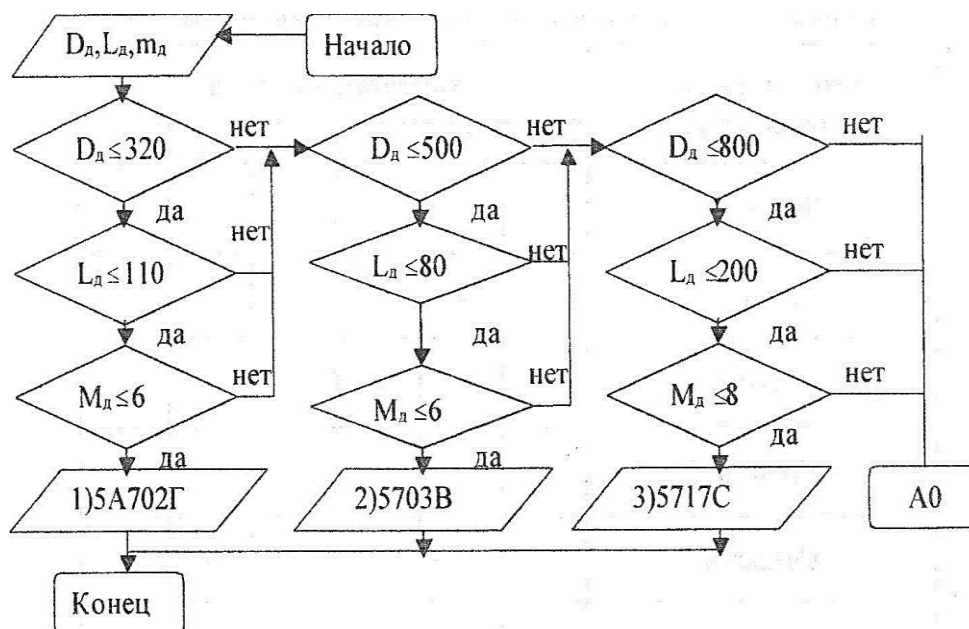


Рисунок 2.14 - Блочный алгоритм поиска

Пусть для конкретного предприятия множество типовых решений  $\{P_i\}; i = 1, n$  будет включать три модели ( $n = 3$ ) зубошвинговальных станков  $\{P_i\} = \{5A702Г; 5703В; 5717С\}$ .

Условие применимости станков будет определяться размещаемостью заготовок в рабочей зоне станка и возможностью обработки их на данной модели оборудования.

Условия применимости - это технологические факторы, определяющие возможность применения того или иного решения.

Таким образом, в данном случае примем, что условие применимости будет ограничивать диаметр заготовки  $D$ , длину зуба  $L$  и модуль  $m$ .

На основе паспортных данных станков выявим допустимые пределы параметров  $D$ ,  $L$ ,  $m$  для каждого типового решения и отразим их в таблице 2.17.

**Таблица 2.17 – Условие применимости зубошеввинговальных станков**

| Модель станка | Условие применимости |                     |                 |
|---------------|----------------------|---------------------|-----------------|
|               | Диаметр $D$ , мм     | Длина зуба $L$ , мм | Модуль $m$ , мм |
| 1. 5A702Г     | $\leq 320$           | $\leq 110$          | $\leq 6$        |
| 2. 5703В      | $\leq 500$           | $\leq 580$          | $\leq 6$        |
| 3. 5717С      | $\leq 800$           | $\leq 200$          | $\leq 8$        |

Поиск подходящего решения ведется для заданного набора исходных данных (параметров детали) -  $\{U_d\} = \{D_d, L_d, m_d\}$ , например:  $\{U_d\} = \{300, 80, 2\}$ .

На основе приведенного алгоритма может быть составлена программа для ЭВМ. При этом для конкретного набора данных  $\{U_d\}$  будет выбрано соответствующее типовое решение. Например, для  $\{300, 80, 2\}$  будет выбрано решение 1 (станок 5A702Г); для  $\{400, 150, 4\}$  - решение 3 (станок 5717С).

Приведенный блочный алгоритм является одной из самых наглядных форм представления технологических решений. Однако он обладает существенными недостатками:

1) большой объем программ, так как алгоритм не унифицирован и для каждого вида технологического оснащения (приспособления, инструмента и т.д.) разрабатывается свой алгоритм и своя программа;

2) невозможность оперативной коррекции системы (например, при изменении средств технологического оснащения), так как это требует вмешательства в программу проектирования. Это связано с тем, что характеристики типовых решений размещены непосредственно в программе.

В связи с этим появились табличные алгоритмы, которые должны удовлетворять следующим требованиям:

1) алгоритм поиска решения по таблице не должен содержать характеристик типовых решений;

2) должна быть обеспечена универсальность формы представления, это значит, что выбор типовых решений для различных задач должен производиться при помощи единой процедуры.

Табличные алгоритмы достаточно просты и наглядны.

Изменения в таблицах (например, изменение в количестве типовых решений, или изменение условий (параметров) применимости) не требуют пе-

ределки основной программы. Все это обусловило широкое применение табличных алгоритмов в технологическом проектировании.

Наиболее эффективными являются табличные алгоритмы на основе таблиц соответствий (§ 2.2.3).

Рассмотрим пример формирования таблицы соответствий (таблица 2.18).

**Таблица 2.18** - Таблица соответствия выбора зубошевинговального станка

| Решения<br>{P <sub>i</sub> }; i= 1, n | Параметры {P <sub>j</sub> }; j= 1, t                         |     |     |       |   |       |     |     |
|---------------------------------------|--|-----|-----|-------|---|-------|-----|-----|
|                                       | D, мм  |     |     | m, мм |   | L, мм |     |     |
|                                       | Массивы {x <sub>k</sub> <sup>j</sup> }; k= 1, s <sup>j</sup> |     |     |       |   |       |     |     |
|                                       | 320  | 500 | 800 | 6     | 8 | 80    | 110 | 200 |
| 5A702Г                                |  |     |     |       |   |       |     |     |
| 5703В                                 |  |     |     |       |   |       |     |     |
| 5717С                                 |  |     |     |       |   |       |     |     |

В верхней части таблицы располагают так называемую область отправления, представляющую собой множество условий (параметров) применимости {P<sub>j</sub>}; j= 1, t и множества конкретных значений этих параметров.

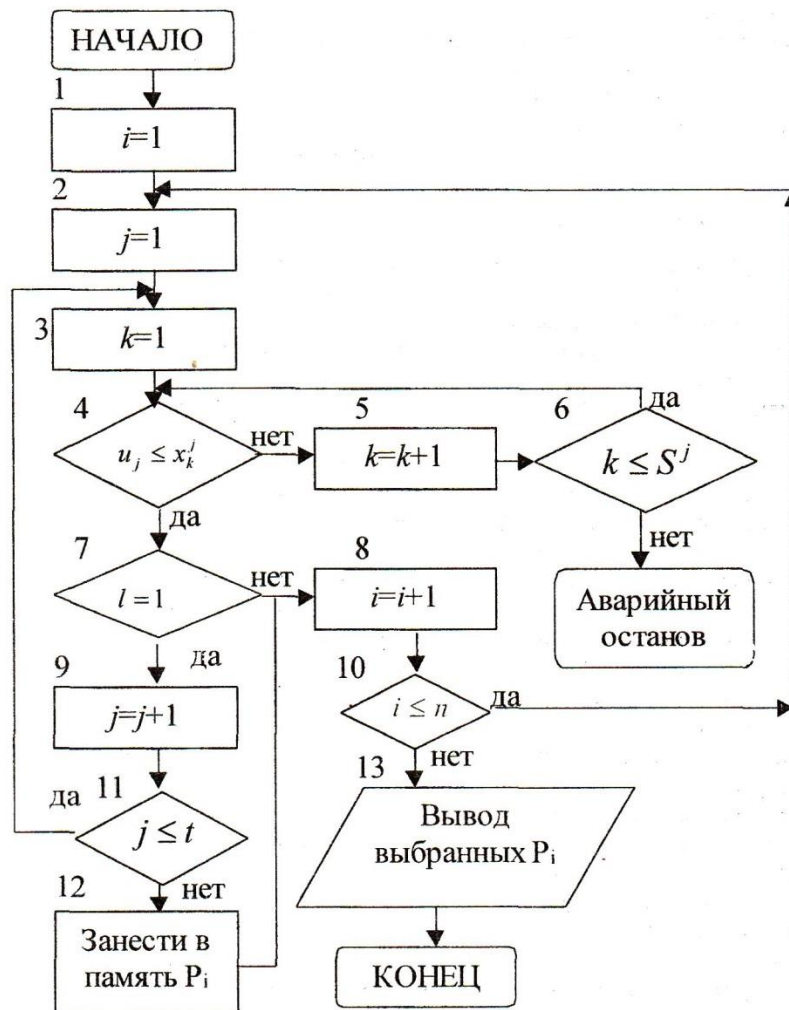
Сбоку располагается так называемая область прибытия рассматриваемого соответствия. Область прибытия - это множество решений {P<sub>i</sub>}; i= 1, n. Например, множество станков, множество типовых планов обработки и т.д.

Центральную часть таблицы соответствий составляет булева матрица соответствий, в которой фиксируются связи между решениями и значениями параметров, определяющих применимость решений. Наличие связи обозначается единицей (или штриховкой), отсутствие - нулем (или клетка не заштрихована).

Из таблицы соответствия применяются те решения, в строке которых для соответствующих значений всех параметров клетки заштрихованы.

В качестве примера рассмотрим таблицу соответствия для выбора модели зубошевинговального станка для рассмотренных выше условий применимости (таблица 2.18)

Алгоритм поиска решений по таблице соответствий (рисунок 2.15) инвариантен содержанию таблицы.



**Рисунок 2.15** - Алгоритм процедуры поиска решений по таблице соответствий

С помощью этого алгоритма можно вести поиск по любым таблицам соответствий с любым числом факторов -  $t$ ; с любым числом значений каждого фактора  $S^j$ ; с любым числом решений (строк) -  $n$ .

Оговорим обозначения:

$i$  - счетчик строк. Номер строки соответствует номеру решения;

$j$  - счетчик параметров. Число параметров задано константой  $t$ ;

$k$  - счетчик значения каждого  $j$ -го параметра. Для каждого параметра задано свое число значений  $S^j$ ;

$U_j$  - значение очередного ( $j$  - го) параметра детали;

$x_k^j$  - табличное значение  $j$  - го параметра станка для столбца, соответствующего рассматриваемому на  $k$ -м шаге ( $k$ -м столбце  $j$ -го параметра);

$l = 1$  - условие, обозначающее, что клетка таблицы на пересечении  $k$ -го столбца и  $i$ -й строки заштрихована.

Обратите внимание на условные операторы №4, 6, 7, 10, 11 в алгоритме (рисунок 2.15). В зависимости от того, выполняется или нет условие, продол-

жение поиска решения выполняется по одному из двух возможных направлений.

Рассмотрим работу этого алгоритма. Положим, что параметры детали будут (300,2,100). На первом шаге счетчикам  $i, j, k$  присвоены значения 1.

Следовательно, анализируется первый параметр, т.е.  $D (j = 1)$  и первое табличное значение ( $k = 1$ ) этого параметра:  $300 \leq 320$ . Условие выполнено. Следовательно, необходимо проверить - заштрихована ли клетка на пересечении рассматриваемой первой строки ( $i = 1$ ) и рассматриваемого столбца ( $k = 1$ ). Клетка заштрихована, условие выполнено ( $l = 1$ ). Следовательно, по первому значению первого параметра детали первый станок подходит.

Необходимо перейти к проверке 2 - го параметра -  $m$ . Нарращиваем счетчик  $j$  на единицу ( $j = 2$ ). Проверяем, не вышли ли мы за пределы таблицы - новое  $j \leq 3$ . Так как не вышли, то начнем рассматривать первое значение ( $k = 1$ ) второго параметра ( $j = 2$ ):  $2 \leq 6$ . Условие выполнено. Последующие действия повторяются, и мы выходим на проверку третьего параметра -  $L$ .

Рассматриваем первое ( $k = 1$ ) табличное значение 3-го параметра -  $L$ :  $100 \leq 80$ ? Условие не выполнено.

Следовательно, в данном случае продолжение решения пройдет по другому направлению. Необходимо проверить, пройдет ли деталь по второму значению (столбцу  $k = 2$ ) третьего параметра. Поэтому счетчик  $k$  увеличиваем на единицу ( $k = 2$ ). Проверяем, не вышли ли мы за пределы значения 3-го параметра - новое  $k \leq 3$

Так как не вышли, то рассматриваем второе ( $k = 2$ ) значение, третьего ( $j = 3$ ) параметра:  $100 \leq 110$ . Условие выполнено. Далее устанавливаем, что клетка заштрихована, следовательно, наращиваем счетчик  $j$  на единицу и получаем  $j = 4$ , но параметров у нас всего 3 ( $t = 3$ ). Следовательно, условие проверки  $4 \leq 3$  не выполнено и далее мы идем по новому пути - записываем номер решения (номер строки  $i = 1$ ) в память (оператор 12) и наращиваем счетчик  $i$  на единицу ( $i = 2$ ), чтобы проверить пригодность второго решения (второй строки таблицы соответствия). Предварительно проверяем, не вышли ли мы ниже последней строки таблицы -  $i$  новое  $\leq 3$ . Так как не вышли, то все повторяется уже для второй строки, и так далее, пока не будет проверена пригодность всех решений (всех строк) таблицы соответствий. В конце работы алгоритма все найденные решения будут выведены на печать (оператор 13). В приведенном примере на печать будет выведено сообщение о том, что выбрано первое (5A702Г) и третье (5717С) решения.

## **2.6 Оптимизация технологических решений**

### **2.6.1 Необходимость оптимизации**

Особенностью технологического проектирования является многовариантность решения задачи. Многовариантными являются такие локальные задачи, как выбор оборудования, инструмента, плана обработки и др. Еще более многовариантна задача разработки структуры технологического процесса.

При традиционном (без ЭВМ) проектировании отбор вариантов основан на интуиции технолога. Опытный технолог интуитивно оценивает неэффективность отдельных вариантов и оставляет для детальной проработки один-два варианта. Это связано и с большой трудоемкостью проектирования технологических процессов. Поэтому в традиционных методах проектирования не предусмотрен поиск оптимального решения.

При проектировании с помощью ЭВМ очень сильно ослабляется роль таких факторов обеспечения рациональности технологических решений, как интуиция и опыт технолога. Они действуют в определенной мере, если используются заранее разработанные типовые решения. Отсюда возникает объективная необходимость проработки и анализа на ЭВМ нескольких вариантов решений с оценкой их по заданному критерию.

Использование возможностей ЭВМ позволяет реализовать оптимизационный подход, который является в настоящее время одним из основных направлений совершенствования методов автоматизированного проектирования технологических процессов.

Оптимизационный подход означает:

- разработку возможных вариантов решения;
- их оценку и выбор лучшего в определенном отношении варианта.

Таким образом, применение ЭВМ для решения задач технологического проектирования поставило проблему разработки оптимальных методов проектирования [1].

## **2.6.2 Постановка задачи оптимизации. Параметрическая и структурная оптимизация**

Технологический процесс называют оптимальным, если он обеспечивает:

- выполнение системы ограничений (находится в области возможных вариантов);
- обеспечивает экстремум критерия оптимизации.

Задача оптимизации технологического процесса предусматривает также еще одну составляющую часть - метод оптимизации (оптимизационный алгоритм). Методы оптимизации для задач технологического проектирования базируются в основном на методах математического программирования [1].

Оптимизация решений относится не только к технологическому процессу в целом. Оптимальным должен быть выбор модели станка, режущего инструмента и других частных технологических решений. Оптимизационной является задача расчета режимов резания на каждой операции.

При постановке оптимизационной задачи необходимо четко представлять цель оптимизации, т.е. в каком именно смысле решение должно быть лучшим. Например, обеспечивать минимум себестоимости или максимум производительности и т.д. Цель оптимизации отражается в критериях оптимизации.

Критерий оптимизации - это условие выбора одного решения из многих. Математическое выражение для определения критерия оптимизации называют целевой функцией или функцией цели.

Другим обязательным условием оптимизационной задачи является система ограничений, которая определяет область возможных решений.

При технологическом проектировании решаются задачи структурной оптимизации и параметрической оптимизации.

Структурная оптимизация - это выбор оптимальной структуры технологического процесса (технологического маршрута, вида оборудования и т.д.).

В общем виде целевая функция при параметрической оптимизации будет:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \begin{cases} \max \\ \min \end{cases},$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — оптимизируемые параметры.

Система ограничений в общем виде может быть записана:

$$\varphi_k(x_1, x_2, \dots, x_n) \begin{cases} < \\ > \\ = \\ \leq \\ \geq \end{cases} a_k; \{k = 1, 2, \dots, m\},$$

где  $n$  - число оптимизируемых параметров;

$k$  - номер ограничения;

$a_k$  - постоянная часть ограничения, не зависящая от параметров;

$m$  - число ограничений.

### 2.6.3 Оптимизация режимов резания

Постановку задачи получения оптимального решения рассмотрим на одном из примеров параметрической оптимизации - оптимизации режимов резания.

Необходимо найти значения параметров оптимизации, например, частоты вращения шпинделя  $n$  и подачи суппорта  $S$  при одноинструментной чистовой токарной обработке.

Значения этих параметров должны удовлетворять системе ограничений, например,

$$n \geq n_{\min} \text{ станка,}$$

$$n \leq n_{\max} \text{ станка,}$$

$$S \geq S_{\min} \text{ станка,}$$

$$S \leq S_{\max} \text{ станка}$$

и т. д.

Кроме того, они должны обеспечивать получение экстремума функции цели, например, основного времени  $T_0$

$$T_0 = \frac{L_{\text{расч}}}{S \cdot n} \rightarrow \min,$$

где  $L_{\text{расч}}$  - расчетная длина обработки. Поскольку она не зависит от оптимизируемых параметров, функцию цели можно выразить так:

$$F = (S \cdot n) \rightarrow \max.$$

Первым этапом является формирование математической модели, т.е. функциональных связей параметров оптимизации с теми требованиями, кото-

рые накладывает система ограничений. Для упрощения задачи выделим десять ограничений. Четыре из этих ограничений, связанные с кинематическими возможностями станка, показаны выше.

В общем виде для данного примера система ограничений может быть записана следующим образом:

$$\varphi_k(n, S) \left\{ \begin{array}{l} \leq \\ \geq \end{array} \right\} a_k; \quad (k = 1, \dots, 10).$$

Ранее уже были рассмотрены первые четыре ограничения  $k = 1, \dots, 4$ , накладываемые кинематикой станка. Это простые линейные зависимости. Между тем большинство ограничений носит нелинейный характер.

Покажем это на примере ограничения по стойкости режущего инструмента  $k = 5$ . Скорость резания  $V$  ограничена стойкостью режущего инструмента  $T$

$$V \leq \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^{xy} \cdot S^{yv}}.$$

После подстановки  $V = \pi d n / 1000$  для оптимизируемых параметров  $n$  и  $S$  получим условия, когда стойкость инструмента будет не меньше нормативной  $T_H$

$$n \cdot S^{yv} \leq 1000 \frac{C_v \cdot K_v}{T_H^m \cdot t^{xy} \cdot \pi \cdot d}, \text{ т.е. } \varphi_5(n, S) \leq a_5.$$

Аналогично получены ограничения, которые зависят от сил резания. Это ограничение по мощности станка ( $k = 7$ ), по прочности механизма подачи ( $k = 8$ ), по прочности державки резца ( $k = 9$ ), по жесткости режущего инструмента ( $k = 10$ ). Ограничение по шероховатости ( $k = 6$ ) может быть задано таблично ( $R_{шт}$ ), исходя из заданной шероховатости поверхности детали

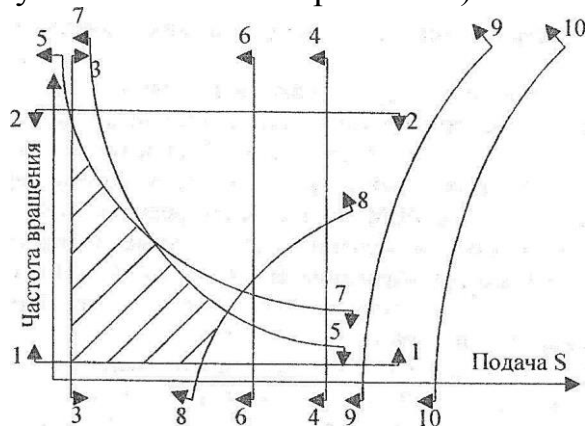
$$R \leq R_{шт}, \text{ т.е. } \varphi_6(n, S) \leq a_6.$$

Объединив все полученные ограничения в систему, получим математическую модель процесса обработки:

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1. $n \geq a_1;$              | 6. $S \leq a_6;$                               |
| 2. $n \leq a_2;$              | 7. $n^{(n_{pz+1})} \cdot S^{y_{pz}} \leq a_7;$ |
| 3. $S \geq a_3;$              | 8. $n^{n_{px}} S^{y_{px}} \leq a_8;$           |
| 4. $S \leq a_4;$              | 9. $n^{n_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \leq a_9;$     |
| 5. $n \cdot S^{yv} \leq a_4;$ | 10. $n^{n_{pz}} S^{y_{pz}} \leq a_{10}.$       |



Система неравенств позволяет выделить область допустимых значений режимов резания (на рисунке 2.16 она заштрихована)



**Рисунок 2.16** - Область возможных значений режимов резания

Задача оптимизации будет решена после того, как в этой области будет найдена такая точка  $(n^*, S^*)$ , для которой выбранный критерий оптимизации имеет экстремальное значение. Например, минимум основного времени:

$$\min T_o = \frac{L_{\text{расч}}}{n \cdot S} \quad \text{или} \quad \max F = n \cdot S,$$

где  $F$ - минутная подача (мм/мин).

Система ограничений и функция цели являются в данном случае нелинейными. Такую оптимизационную задачу необходимо решать с применением методов нелинейного программирования, что достаточно сложно. Однако вид функций, входящих в рассмотренную математическую модель, позволяет после логарифмирования системы ограничений и функции цели получить линейные зависимости.

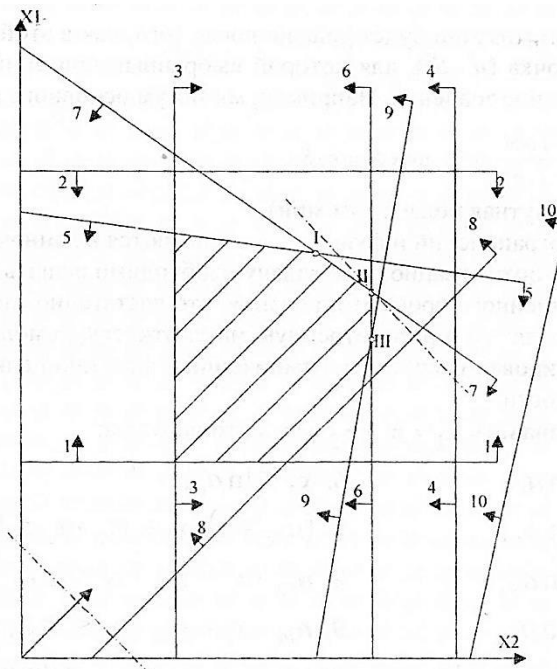
Если обозначить  $x_1 = \ln n$ ,  $x_2 = \ln S$ , то получим:

- |  |  |
|--|--|
| 1. $x_1 \geq \ln a_1;$                 | 6. $x_2 \leq \ln a_6;$                                       |
| 2. $x_1 \leq \ln a_2;$                 | 7. $(n_{pz} + 1) \cdot x_1 + y_{pz} \cdot x_2 \leq \ln a_7;$ |
| 3. $x_2 \geq \ln a_3;$                 | 8. $n_{pz} \cdot x_1 + y_{pz} \cdot x_2 \leq \ln a_8;$       |
| 4. $x_2 \leq \ln a_4;$                 | 9. $n_{pz} \cdot x_1 + y_{pz} \cdot x_2 \leq \ln a_9;$       |
| 5. $x_1 + y_v \cdot x_2 \leq \ln a_5;$ | 10. $n_{pz} \cdot x_1 + y_{pz} \cdot x_2 \leq \ln a_{10}.$   |

Условие оптимизации  $(x_1 + x_2) \rightarrow \max$ .

Полученная система ограничений вместе с функцией цели  $F = x_1 + x_2$  представляет собой формулировку задачи линейного программирования, решение которой значительно проще.

Система ограничений в логарифмических координатах показана на рисунке 2.17.



**Рисунок 2.17** - Область возможных значений после логарифмирования системы ограничений

В рассматриваемом случае максимум целевой функции будет находиться в вершине II заштрихованного многоугольника, наиболее удаленной от начала координат ( $X1^*$ ,  $X2^*$ ). Заштрихованный многоугольник будет представлять собой область допустимых значений оптимизируемых параметров.

Для нахождения на ЭВМ оптимального решения используются численные методы. При этом применяются стандартные подпрограммы решения задачи линейного программирования. В рамках САПР ТП решение оптимизационной задачи в такой постановке обеспечивается простым обращением к одной из стандартных программ.

Методы параметрической оптимизации применяются и для ряда других задач. Выше была рассмотрена наиболее простая задача оптимизации режимов резания для случая с двумя параметрами  $n$  и  $S$ . Возможна задача с тремя параметрами, когда к первым двум параметрам добавлена глубина резания  $t$ . Принципиально задача решается точно так же.

#### 2.6.4 Особенности структурной оптимизации технологических процессов

Многовариантность расчетных задач анализируется методами параметрической оптимизации. Но при технологическом проектировании есть еще целый комплекс нерасчетных технологических задач, таких как выбор технологического маршрута, выбор оборудования и т.д. Эти задачи также являются многовариантными. Например, если технологический маршрут состоит из шести операций, а каждая операция имеет три варианта исполнения (на трех разных станках), то в результате получаем  $3^6=729$  вариантов реализации технологического маршрута [1].

Поиск оптимального решения в таких задачах называют структурной оптимизацией. Формулировка задачи структурной оптимизации та же, что и для параметрической оптимизации. Есть здесь и система ограничений, и функция цели. В качестве критерия оптимизации обычно используют себестоимость  $C$  изготовления детали по технологическому процессу  $T$ .

$$C(T_{\text{опт}}) = \min C(T), \text{ при этом}$$

$$T \in MT,$$

где  $MT$  — множество допустимых вариантов технологических процессов  $T$ , удовлетворяющих системе ограничений.

Себестоимость по каждому варианту  $C(T)$  определяется как сумма себестоимости отдельных операций  $C_{oi}$ . Но есть существенное различие, которое состоит в характере оптимизируемых переменных. В параметрической задаче оптимизируемые переменные (параметры) являются упорядочиваемыми, т.е. для них существует понятие «больше-меньше». При структурной оптимизации эти переменные неупорядочиваемые, т.е. для них не существует понятия больше или меньше. Это обстоятельство практически исключает применение для структурной оптимизации таких стандартных методов, как математическое программирование [1].

Структурная оптимизация является сложной задачей. Область возможных значений или область решений, т.е. множество  $MT$  возможных вариантов технологических процессов, задано не аналитически, а алгоритмически. Это означает, что область решений задана в виде разного рода правил, инструкций, указаний, которые обычно носят неформальный характер. Это же относится к частным задачам: выбору оборудования, схем базирования, типов инструмента и т.п.

Неупорядоченность параметров оптимизации (например, схем базирования) приводит к использованию простейшего метода нахождения оптимального варианта - прямого (последовательного) перебора всех возможных вариантов. При этом каждый возможный вариант оценивается по принятому критерию оптимизации.

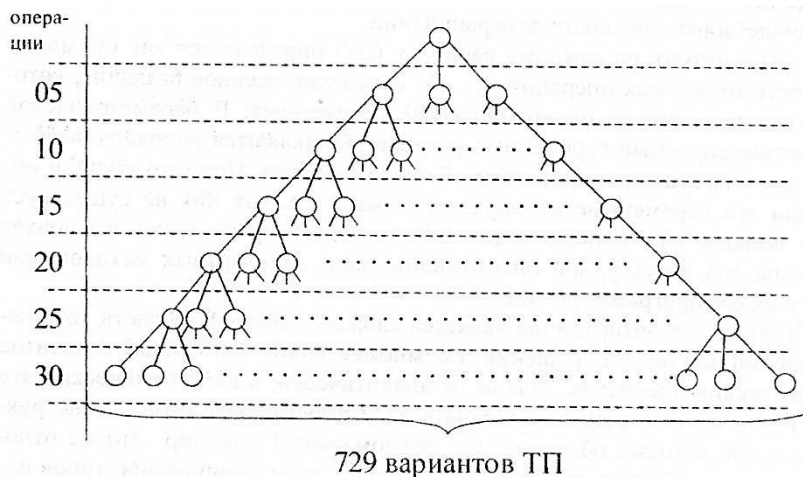
Проектирование технологических процессов расчленяется на несколько взаимосвязанных уровней. Структурная оптимизация также может выполняться по уровням. При этом используются локальные критерии оптимизации.

В результате проектирования на всех уровнях образуется граф допустимых вариантов технологического процесса, отвечающих заданным техническим ограничениям. Существенной трудностью оптимизации является большое количество вариантов технологических процессов, возможных для конкретной детали.

Чтобы выбрать один рациональный вариант, необходимо до конца спроектировать очень большое число допустимых техническими ограничениями вариантов.

Рассмотрим для примера фрагмент графа допустимых вариантов технологического процесса. Допустим, что в технологический процесс входит шесть операций, а для каждой операции может быть три варианта ее выполнения. Например, одна из операций (например, токарная) может быть реали-

зована либо на токарном гидрокопировальном, либо на многолезцовом, либо на станке с ЧПУ. В итоге общее число возможных вариантов составляет:  $3^6 = 729$  (рисунок 2.18).



**Рисунок 2.18** – Граф возможных вариантов технологических процессов

Задача структурной оптимизации состоит в поиске ветви графа, обеспечивающей экстремум критерия оптимизации.

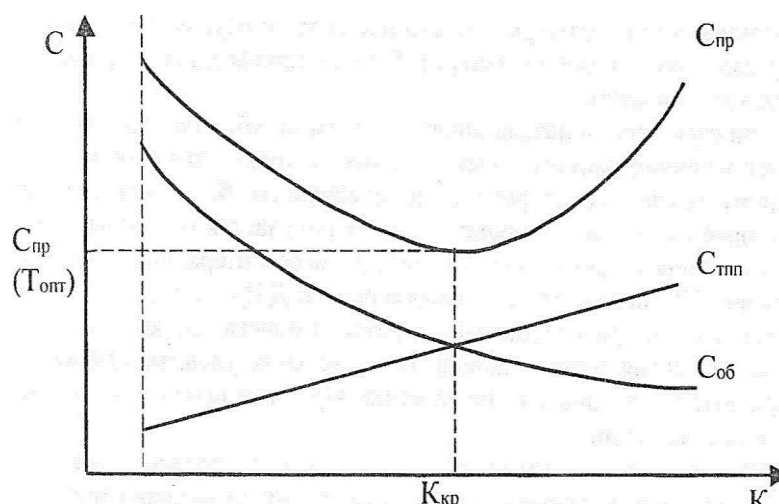
Наиболее общими методами оптимизации технологических процессов являются методы, основанные на алгоритмах случайного поиска.

При этом проектируется случайная последовательность технологических процессов. Если вновь спроектированный технологический процесс имеет большую себестоимость по сравнению с предыдущим, он отбрасывается. Если меньшую - оставляется. Таким образом формируется последовательность оставленных вариантов технологических процессов:  $T_1, \dots, T_i, \dots, T_n$ , где каждый последующий вариант предпочтительнее предыдущего

$$C_{Ti} > C_{Ti+1}.$$

В пределе указанная последовательность должна приближаться к оптимальному значению себестоимости технологического процесса. При этом возникает проблема затрат на проведение большого числа расчетов.

С ростом числа проработанных вариантов при высокой стоимости машинного времени значительно возрастает стоимость проектирования технологического процесса с помощью ЭВМ. При этом с определенного момента экономия от оптимизации технологического процесса не будет покрывать даже затрат на расчеты с помощью ЭВМ. Этот момент соответствует критическому количеству просчитанных вариантов  $K_{кр}$  (рисунок 2.19).



**Рисунок 2.19 - Оптимизация приведенных затрат**

Для более точного учета затрат в качестве критерия оптимизации следует использовать не себестоимость обработки  $C_{об}$ , а приведенные затраты  $C_{пр}$ , в которых учитывается стоимость технологической подготовки производства:

$$C_{пр} = C_{об} + C_{ТПП},$$

где  $C_{ТПП}$  - приведенная к одной детали стоимость технологической подготовки производства.

В данном случае в  $C_{ТПП}$  учитывается только стоимость проектирования технологического процесса с помощью ЭВМ.

$$C_{ТПП} = \frac{C_{ЭВМ} \cdot K}{N},$$

где  $C_{ЭВМ}$  - стоимость проектирования одного варианта ТП с помощью ЭВМ;

$K$  - количество просчитанных вариантов;

$N$  - объем выпуска деталей по спроектированному процессу.

Чем меньше объем выпуска, тем больше будет наклон прямой  $C_{ТПП}$  тем меньше значение  $K_{кр}$ . При малом объеме выпуска не выгодно считать много вариантов. Это означает, что в производстве будет реализован технологический процесс, не самый лучший по себестоимости обработки. Каковы пути устранения этого недостатка?

Можно назвать три основных направления:

Во-первых, типизация технологических решений, позволяющая уменьшить количество возможных вариантов ТП.

Во-вторых, переход к диалоговому режиму проектирования, обеспечивающему направленный поиск варианта.

В-третьих, изменение стратегии поиска «сначала вширь, а затем вглубь».

При случайном поиске, рассмотренном выше, использовалась стратегия поиска «сначала вглубь, а затем вширь». Каждый вариант ТП проектируется до конца (движение вглубь по ветви графа) независимо от того, будет ли он использоваться в будущем. Только после этого осуществляется переход к новому

варианту (движение вширь). Оценка производится по глобальному критерию оптимизации.

При стратегии «сначала вширь, а затем вглубь» на каждом уровне отбираются наиболее рациональные варианты, и только для отобранного варианта производится проектирование на следующем, более низком уровне. И так повторяется на каждом уровне. В итоге получается усеченный граф вариантов. Такой подход реализован в многоуровневом итерационном методе проектирования ТП, предложенном профессором В.Д. Цветковым.

Сложность применения этой стратегии поиска заключается в том, что невозможна точная оценка вариантов на верхних уровнях проектирования, т.к. варианты рассчитаны еще не до конца. При этом используются локальные критерии оптимизации.

При оптимизации технологического процесса должна производиться и структурная, и параметрическая оптимизация. При этом сравнение различных структурных вариантов должно производиться только после оптимизации параметров.

Дальнейшее развитие наиболее эффективного оптимизационного подхода при проектировании технологических процессов требует совершенствования математических моделей оптимизируемых процессов. Для этого необходимо от эмпирических математических моделей переходить к моделям, построенным на теории процесса, которые позволяют построить объективную модель процесса. Это является важнейшей научной и практической задачей развития САПР ТП.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что входит в состав математического обеспечения САПР ТП?
2. Множество и подмножество. Дать определения. Способы задания множеств.
3. Какие существуют операции над множествами? В чём отличия кортежа от множества?
4. Приведите примеры использования математического аппарата соответствий для поиска технологических решений.
5. В каком виде может выражаться график соответствия?
6. Что такое граф? Дать определение. Ориентированный и неориентированный графы.
7. Перечислите способы задания графов.
8. Маршрут, цепь, цикл на неориентированном графе. Граф-дерево. Дать определения.
9. Путь и контур на ориентированном графе. Граф-сеть. Дать определения.
10. Что такое высказывание. Какие логические операции над высказываниями вам известны?
11. Дайте определение конъюнкции и дизъюнкции, приведите примеры.
12. Дайте определение импликации и эквивалентности, приведите примеры.

13. Понятие предиката. Дать определение. Одноместные и многоместные предикаты.

14. Какие существуют операции квантирования применительно к предикатам?

15. Какие существуют математические модели деталей в технологическом проектировании?

16. Упорядочивающие модели в технологическом проектировании. Приведите примеры.

17. Что такое алгоритм? Дать определение.

18. Какие существуют алгоритмы при автоматизированном выборе технологических решений? Приведите примеры.

19. Что означает оптимизационный подход при автоматизированном проектировании технологических процессов?

20. Какой технологический процесс называется оптимальным? Критерий оптимизации и целевая функция.

21. Структурная и параметрическая оптимизация. Дать определение. Привести примеры.

22. Какие задачи решаются методами параметрической и структурной оптимизации? Приведите примеры.

23. В чём заключаются особенности структурной оптимизации технологических процессов?

24. Назовите основные направления, снижающие количество рассматриваемых технологических процессов при структурной оптимизации.

## ГЛАВА 3 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР

### 3.1 Назначение и состав технических средств САПР

*Техническое обеспечение САПР* представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств, предназначенных для выполнения автоматизированного проектирования.

Технические или аппаратные средства в литературе часто обозначают термином *hardware*, в отличие от *software*- программных средств. Технические средства представляют собой физическую среду функционирования САПР, которая включает в себя электронные, электромеханические и другие компоненты вычислительной системы.

Выполняемые функции, связанные с составом технических средств:

- 1) ввод исходной информации;
- 2) переработка информации;
- 3) отображение результатов работы;
- 4) хранение информации;
- 5) передача информации на расстояние;
- 6) аппаратное общение проектировщика с системой;
- 7) осуществление рационального распределения ресурсов.

Технические средства подразделяются на две большие группы: центральные и периферийные.

Центральные аппаратные средства персональных ЭВМ (ПЭВМ) смонтированы на системной (материнской) плате и располагаются в системном блоке. Упрощённая схема материнской платы приведена на рисунке 3.1.

Программную обработку информации выполняют процессоры, являющиеся основной частью центральных аппаратных средств.

Периферийные (внешние) устройства являются важной составляющей частью ЭВМ. В ПЭВМ стоимость периферийных устройств составляет 50-80% общей стоимости.



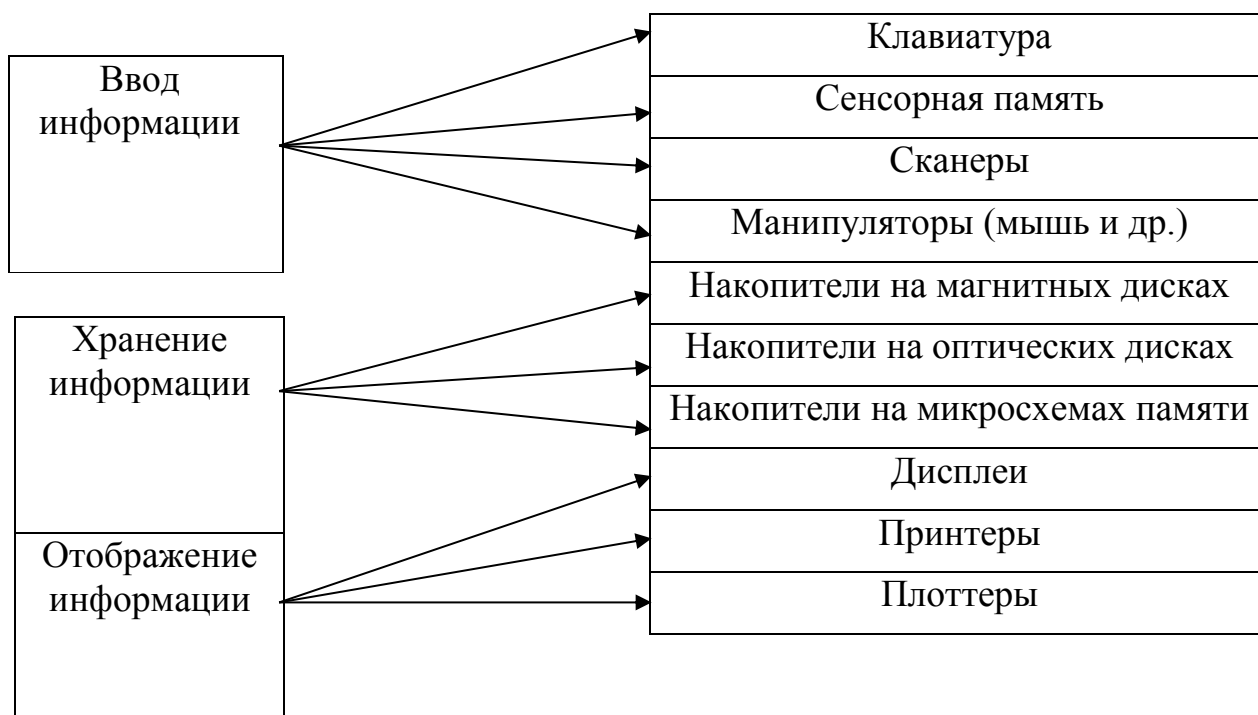
**Рисунок 3.1** — Системная плата



По назначению периферийные устройства можно объединить в следующие группы:

- устройства ввода информации;
- внешние запоминающие устройства (ВЗУ);
- устройства отображения информации;
- устройства связи и телекоммуникации.

Связь функций вычислительной системы с основными периферийными устройствами показана на рисунке 3.2.



**Рисунок 3.2** - *Функции и состав основных периферийных устройств*

Эффективное функционирование САПР зависит от обоснованного выбора ЭВМ и её периферии. При этом необходимо представлять основные характеристики ЭВМ.

### 3.2 Классификация и основные характеристики ЭВМ

Классификацию ЭВМ рассмотрим применительно только к цифровым ЭВМ [10]. По этапам создания условно можно выделить следующие поколения ЭВМ:

- 1) ЭВМ на электронных вакуумных лампах - 50-е годы;
- 2) ЭВМ на дискретных полупроводниковых приборах (транзисторах) 60-е годы;
- 3) ЭВМ на полупроводниковых схемах (сотни тысячи транзисторов на одном кристалле) - 70-е годы;
- 4) ЭВМ на больших (БИС) и сверхбольших (СБИС) интегральных схемах (десятки тысяч - миллионы транзисторов на одном кристалле) - 80-е годы;

5) ЭВМ со многими десятками параллельно работающих микропроцессоров; ЭВМ на сверхсложных микропроцессорах с параллельно-векторной структурой, одновременно выполняющих десятки последовательных команд программы - 90-е годы;

6) Шестое и последующие поколения: оптоэлектронные ЭВМ с нейронной структурой - с распределённой сетью большого числа несложных микропроцессоров, моделирующих архитектуру нейронных биологических систем.

Как правило, производительность ЭВМ и ёмкость всех запоминающих устройств в каждом следующем поколении увеличиваются больше чем на порядок.

Далее будут рассмотрены только универсальные ЭВМ, которые используются для решения самых различных инженерно-технических задач. По размерам и функциональным возможностям ЭВМ можно разделить на четыре группы (рисунок 3.3).



**Рисунок 3.3** - Классификация ЭВМ по размерам и вычислительным ресурсам

### 3.2.1 Сверхбольшие ЭВМ (суперЭВМ)

Архитектура суперЭВМ - это высокопараллельные многопроцессорные вычислительные системы с использованием конвейерной обработки данных.

В настоящее время наиболее распространены две основные структуры супер-ЭВМ:

- симметричные мультипроцессорные системы с общей памятью (СМП);
- мультипроцессорные системы с распределённой памятью (МПП).

Достоинство первой системы - относительная простота программирования. Недостаток - ограничение числа процессоров (не более 16).

В МПП каждый процессор имеет доступ лишь к своей локальной памяти. Это позволяет создавать компьютеры с тысячами процессоров. Например, компания nGube выпускает серию МПП-компьютеров, в которой число процессоров в одной системе может быть от 8 до 8192. Производительность этих систем может достигать 34 GigaFlops.

Суперкомпьютеры решают сложнейшие научно-технические задачи в ядерных исследованиях, в сейсмологии, аэродинамике, метеорологии и других областях.

Интересно отметить, что логика и архитектура, разработанные для супер-ЭВМ, внедряются на уровне микропроцессоров.

В настоящее время самым быстрым суперкомпьютером в мире в рейтинге Top500 является японский суперкомпьютер **Фугаку**, названный в честь альтернативного книжного названия горы Фудзи. Установлен в Центре вычислительных наук Института физико-химических исследований (RIKEN) в Кобе, Япония. Впервые в истории занял первое место во всех основных суперкомпьютерных рейтингах — Top500, LINPACK, HPCG, HPL-AI и Graph500. Начал разрабатываться в 2014 году как продолжатель K computer. Официально введён в эксплуатацию 9 марта 2021 года, хотя отдельные компоненты компьютера начали работу в июне 2020 года. Это первый суперкомпьютер на базе ARM, который занял первое место в Top500.

После небольшой модернизации, по состоянию на ноябрь 2020 года, Фугаку увеличил свою производительность в суперкомпьютерных рейтингах HPC-AI и HPL-AI со смешанной точностью до 2,0 эксафлопс. Фугаку достиг первого места в рейтингах, включая LINPACK, Graph500, HPL-AI и HPCG. Ни один из предыдущих суперкомпьютеров никогда не возглавлял сразу все четыре рейтинга. Фугаку — первый суперкомпьютер, достигший производительности выше одного эксафлопса любой точности на любом типе оборудования, продемонстрировав рост производительности на 42 %. Интересно, что количество ядер Arm A64FX было увеличено только на 4,5 %, до 7 630 848, но измеренная производительность выросла намного больше в этом рейтинге и немного больше в Top500, или на 6,4 %, до 442 010 петафлопс, что является новым мировым рекордом. В рейтинге High-Performance Conjugate Gradient (HPCG) производительность выросла более чем в 5,4 раза.

Производительность Фугаку (442 010 петафлопс) превосходит совокупную производительность идущих за ним следом 4 суперкомпьютеров (399 714,6 петафлопс) или почти 5 суперкомпьютеров (461 159,1 петафлопс) из списка Top500 и на 45 % превосходит производительность всех остальных суперкомпьютеров из первой десятки списка в суперкомпьютерном рейтинге HPCG.

Одним из перспективных направлений развития суперкомпьютеров является объединение большого количества обычных компьютеров в один единый блок. В этом случае сеть рабочих станций и ПЭВМ используется как суперкомпьютер. Достоинством этого подхода является возможность эксплуатации сети днём для нужд проектирования, а ночью - для расчётов. Сети на 1 - 2 порядка дешевле, чем суперкомпьютеры, хотя уступают им по производительности. Поэтому их рационально использовать там, где объёмы расчётов велики, а суперкомпьютеры экономически не оправданы.

### 3.2.2 Большие ЭВМ

За рубежом компьютеры этого класса называют *мэйнфреймами* (*mainframe*). В России за ними закрепился термин большие ЭВМ.

**Мэйнфрэйм** - большой универсальный высокопроизводительный отказоустойчивый сервер со значительными ресурсами ввода-вывода, большим объёмом оперативной и внешней памяти, предназначенный для использования

в критически важных системах с интенсивной пакетной и оперативной транзакционной обработкой.

Это машины, реализующие многопользовательский режим работы (от 16 до 1000 пользователей). Вычислительные ресурсы:

- производительность не менее 10 MIPS;
- основная память емкостью от 64 Мбайт до 10 Гбайт;
- внешняя память емкостью не менее 50 Гбайт.

Их применяют для обслуживания очень крупных организаций и даже целых отраслей народного хозяйства. Штат обслуживания большой ЭВМ достигает многих десятков человек, включающий в себя несколько отделов или групп [10].

Большие ЭВМ отличаются высокой стоимостью оборудования и обслуживания, поэтому работа таких компьютеров организована по непрерывному циклу. Наиболее трудоемкие и продолжительные вычисления планируют на ночные часы, когда количество обслуживающего персонала минимально. В дневное время ЭВМ исполняет менее трудоемкие, но более многочисленные задачи. При этом для повышения эффективности компьютер работает одновременно с несколькими задачами и, соответственно, с несколькими пользователями. Он поочередно переключается с одной задачи на другую и делает это настолько быстро и часто, что у каждого пользователя создается впечатление, будто компьютер работает только с ним. Такое распределение ресурсов вычислительной системы носит название *принципа разделения времени* [9].

Большие ЭВМ являются основой крупных вычислительных центров для решения научно-технических задач, работы с пакетной обработкой информации, работы с большими базами данных.

Основной разработчик мейнфреймов в течение нескольких десятилетий — корпорация IBM, которая фактически установила стандарт на большие ЭВМ. Самые известные мейнфреймы были ею выпущены в рамках продуктовых линеек System/360, 370, 390, zSeries. В разное время мейнфреймы производили Hitachi, Bull, Unisys, DEC, Honeywell, Burroughs, Siemens, Amdahl, Fujitsu, в странах СЭВ выпускались мейнфреймы ЕС ЭВМ. В 90-е годы фирмой IBM была создана машина ES/9000 Model 9021-982 производительностью 400 MIPS.

Время наработки на отказ современных мейнфреймов оценивается в 12-15 лет. Надёжность мейнфреймов — это результат их почти 60-летнего совершенствования. Группа разработки операционной системы VM/ESA затратила 20 лет на удаление ошибок, и в результате была создана система, которую можно использовать в самых ответственных случаях.

Мейнфреймы могут изолировать и исправлять большинство аппаратных и программных ошибок за счёт использования следующих принципов:

- дублирование: два резервных процессора, резервные модули памяти, альтернативные пути доступа к периферийным устройствам;
- горячая замена всех элементов вплоть до каналов, плат памяти и центральных процессоров.

В мейнфреймах используется память с коррекцией ошибок. Ошибки не приводят к разрушению данных в памяти или данных, ожидающих вывода на

внешние устройства. Дисковые подсистемы, построенные на основе RAID-массивов с горячей заменой и встроенных средств резервного копирования, защищают от потерь данных.

Рабочая нагрузка мейнфреймов может составлять 80-95 % от их пиковой производительности. Операционная система мейнфрейма будет обрабатывать всё сразу, причём все приложения будут тесно сотрудничать и использовать общие компоненты ПО.

Подсистемы ввода-вывода мейнфреймов разработаны так, чтобы работать в среде с высочайшей рабочей нагрузкой на ввод-вывод данных.

Масштабирование мейнфреймов может быть как вертикальным, так и горизонтальным. Вертикальное масштабирование обеспечивается линейкой процессоров с производительностью от 5 до 200 MIPS и наращиванием до 12 центральных процессоров в одном компьютере. Горизонтальное масштабирование реализуется объединением ЭВМ в Sysplex (*System Complex*) — многомашинный кластер, выглядящий с точки зрения пользователя единым компьютером. Всего в Sysplex можно объединить до 32 машин. Географически распределённый Sysplex называют GDPS. В случае использования операционной системы VM для совместной работы можно объединить любое количество компьютеров. Программное масштабирование — на одном мейнфрейме может быть сконфигурировано фактически бесконечное число различных серверов. Причём все серверы могут быть изолированы друг от друга так, как будто они выполняются на отдельных выделенных компьютерах и в то же время совместно использовать аппаратные и программные ресурсы и данные.

Поскольку данные хранятся на одном сервере, прикладные программы не нуждаются в сборе исходной информации из множества источников, не требуется дополнительное дисковое пространство для их временного хранения, не возникает сомнений в их актуальности. Требуется небольшое количество физических серверов и значительно более простое программное обеспечение. Всё это, в совокупности, ведёт к повышению скорости и эффективности обработки.

Встроенные в аппаратуру возможности защиты, такие как криптографические устройства и Logical Partition, и средства защиты операционных систем, дополненные программными продуктами RACF или VM:SECURE, обеспечивают надёжную защиту.

Пользовательский интерфейс у мейнфреймов всегда оставался наиболее слабым местом. Сейчас же стало возможно для прикладных программ мейнфреймов в кратчайшие сроки и при минимальных затратах обеспечить современный веб-интерфейс.

Использование данных и существующих прикладных программ не влечёт дополнительных расходов по приобретению нового программного обеспечения для другой платформы, переучиванию персонала, переносу данных и т. д.

Широкое применение ПЭВМ отнюдь не означает, что роль больших ЭВМ в развитии информационных технологий уменьшается. По данным экспертов, на мейнфреймах находится около 70% «компьютерной» информации [9].

### 3.2.3 Малые ЭВМ

Малые ЭВМ (мини-ЭВМ) – надежные, недорогие и удобные в эксплуатации компьютеры, обладающие несколько более низкими по сравнению с мэйн-фреймами возможностями.

От больших ЭВМ компьютеры этой группы отличаются уменьшенными размерами и, соответственно, меньшей производительностью и стоимостью. Такие компьютеры используются крупными предприятиями, научными учреждениями и некоторыми высшими учебными заведениями, сочетающими учебную деятельность с научной.

Мини-ЭВМ (и наиболее мощные из них *супермини-ЭВМ*) обладают наиболее развитым многопользовательским доступом к вычислительным ресурсам. Многозадачный режим работы требует значительного объема ОЗУ.

Вычислительные ресурсы:

- производительность до 100 MIPS;
- ёмкость основной памяти до нескольких Гбайт;
- ёмкость дисковой памяти до 100 Гбайт;
- число одновременно работающих пользователей до 512.

Все модели мини-ЭВМ разрабатываются на основе микропроцессорных наборов интегральных микросхем, 16-, 32-, 64-разрядных микропроцессоров. Основные их особенности: широкий диапазон производительности в конкретных условиях применения, аппаратная реализация большинства системных функций ввода-вывода информации, простая реализация микропроцессорных и многомашинных систем, высокая скорость обработки прерываний, возможность работы с форматами данных различной длины.

К достоинствам мини-ЭВМ можно отнести специфическую архитектуру с большой модульностью и широкой номенклатурой периферийных устройств, повышенную точность вычислений. Эти машины имеют лучшее, чем у больших ЭВМ, соотношение производительность/цена. Область применения мини-ЭВМ очень широка: для управления технологическими процессами; для вычислений в многопользовательских вычислительных системах, в системах автоматизированного проектирования технологии изготовления деталей и сборки машин; в системах моделирования несложных объектов, в системах искусственного интеллекта и др.

Мини-ЭВМ ориентированы на использование в качестве управляющих вычислительных комплексов. Традиционная для подобных комплексов широкая номенклатура периферийных устройств дополняется блоками межпроцессорной связи, благодаря чему обеспечивается реализация вычислительных систем с изменяемой структурой.

Мини-ЭВМ часто применяют для управления производственными процессами. Например, в механическом цехе компьютер может поддерживать ритмичность подачи заготовок, узлов и комплектующих на рабочие места; управлять гибкими автоматизированными линиями и промышленными роботами; собирать информацию с инструментальных постов технического контроля и сигнализировать о необходимости замены изношенных инструментов и при-

способлений; готовить данные для станков с числовым программным управлением; своевременно информировать цеховые и заводские службы о необходимости выполнения мероприятий по переналадке оборудования [10].

Тот же компьютер может сочетать управление производством с другими задачами. Например, нормировщикам в оптимизации времени технологических операций, конструкторам в автоматизации проектирования станочных приспособлений. Для организации работы с мини-ЭВМ тоже требуется специальный вычислительный центр, хотя и не такой многочисленный, как для больших ЭВМ.

Родоначальником современных мини-ЭВМ можно считать компьютеры PDP-11 (Program Driven Processor – программно-управляемый процессор) фирмы DEC (Digital Equipment Corporation Корпорация дискретного оборудования, США), они явились прообразом и наших отечественных мини-ЭВМ – Системы Малых ЭВМ (СМ ЭВМ): СМ 1, 2,3,4, 1400,1700 и др.

В настоящее время *семейство* мини-ЭВМ PDP-11 включает большое число моделей - от VAX-11 до VAX-3600; мощные модели мини-ЭВМ класса 8000 (VAX-8250, 8820); супермини-ЭВМ класса 9000 (VAX-9410, 9430) и др.

Модели VAX обладают широким диапазоном характеристик:

- количество процессоров – от 1 до 16;
- производительность – от 1 до 600 MIPS;
- емкость основной памяти – от 4 Мбайт до 2 Гбайт;
- емкость дисковой памяти – от 2 до 300 Гбайт;
- число каналов ввода-вывода – до 32.

Иными словами, мини-ЭВМ VAX полностью перекрывают весь диапазон характеристик этого класса компьютеров и в подклассе супермини стирают грань с мэйнфреймами.

Среди прочих мини-ЭВМ следует отметить:

- однопроцессорные: IBM 4381, HP 9000;
- многопроцессорные: Wang VS 7320, AT&T 3B 4000;
- супермини-ЭВМ HS 4000, по характеристикам не уступающая мэйнфреймам.

### 3.2.4 МикроЭВМ

Компьютеры данного класса доступны многим предприятиям. Организации, использующие микро-ЭВМ, обычно не создают вычислительные центры. Для обслуживания таких компьютеров им достаточно небольшой вычислительной лаборатории в составе нескольких человек. В число сотрудников вычислительной лаборатории обязательно входят программисты, хотя напрямую разработкой программ они не занимаются. Необходимые системные программы обычно покупают вместе с микроЭВМ, а разработку нужных прикладных программ заказывают более крупным вычислительным центрам или специализированным организациям [10].

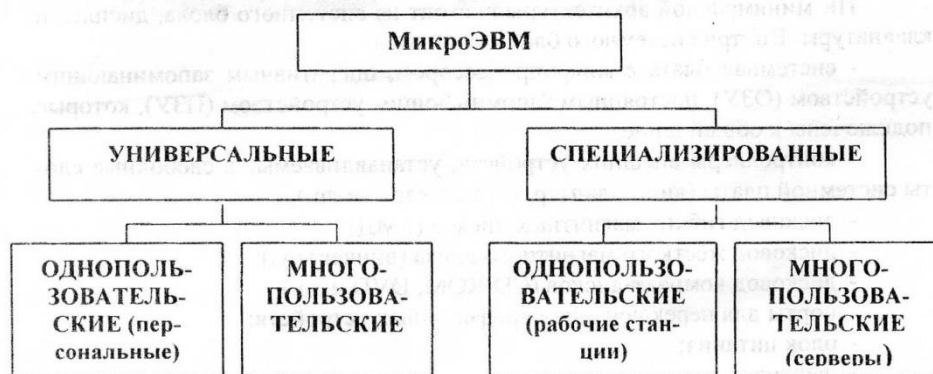
Программисты вычислительной лаборатории занимаются внедрением приобретенного или заказанного программного обеспечения, выполняют его доводку и настройку, согласовывают его работу с другими программами и

устройствами компьютера. Хотя программисты этой категории и не разрабатывают системные и прикладные программы, они могут вносить в них изменения, создавать или изменять отдельные фрагменты. Это требует высокой квалификации и универсальных знаний.

Программисты, обслуживающие микроЭВМ, часто сочетают в себе качества системных и прикладных программистов одновременно. Несмотря на относительно невысокую производительность по сравнению с большими ЭВМ, микроЭВМ находят применение и в крупных вычислительных центрах. Там им поручают вспомогательные операции, для которых нет смысла использовать дорогие суперкомпьютеры. К таким задачам, например, относится предварительная подготовка данных [10].

Класс микроЭВМ появился в начале 70-х годов прошлого века после выпуска первых микропроцессоров (МП) фирмой INTEL. В настоящее время микропроцессоры используются во всех классах ЭВМ.

Разновидность микроЭВМ приведена на рисунке 3.4 [9].



**Рисунок 3.4 - Классификация микроЭВМ**

По уровню специализации компьютеры делят на **универсальные** и **специализированные**. На базе универсальных компьютеров можно собирать вычислительные системы произвольного состава (состав компьютерной системы называется **конфигурацией**). Так, например, один и тот же персональный компьютер можно использовать для работы с текстами, музыкой, графикой, фото и видеоматериалами [10].

Персональные компьютеры (ПК) - это однопользовательские микро-ЭВМ, удовлетворяющие требованиям общедоступности и универсальности применения. Именно на эту разновидность микро-ЭВМ приходится сегодня особо бурное развитие вычислительной техники и сопутствующих ей программных средств в течение последних тридцати лет.

Из названия видно, что такой компьютер предназначен для обслуживания одного рабочего места. Как правило, с персональным компьютером работает один человек. Несмотря на свои небольшие размеры и относительно невысокую стоимость, современные персональные компьютеры обладают немалой производительностью. Многие современные персональные модели превосходят



большие ЭВМ 70-х годов, мини-ЭВМ 80-х годов и микро-ЭВМ первой половины 90-х годов. Персональный компьютер (*Personal Computer, PC*) вполне способен удовлетворить большинство потребностей малых предприятий и отдельных лиц [10].

Особенно широкую популярность персональные компьютеры получили после 1995 года в связи с бурным развитием Интернета. Персонального компьютера вполне достаточно для использования всемирной сети в качестве источника научной, справочной, учебной, культурной и развлекательной информации. Персональные компьютеры являются также удобным средством автоматизации учебного процесса по любым дисциплинам, средством организации дистанционного (заочного) обучения и средством организации досуга. Они вносят большой вклад не только в производственные, но и в социальные отношения. Их нередко используют для организации надомной трудовой деятельности, что особенно важно в условиях ограниченной трудозанятости [10].

**Многопользовательские микро-ЭВМ** - это мощные микро-ЭВМ, функционирующие в режиме разделения времени и оборудованные несколькими видеотерминалами.

Специализированные компьютеры предназначены для решения конкретного круга задач. К таким компьютерам относятся, например, бортовые компьютеры автомобилей, судов, самолетов, космических аппаратов. Бортовые компьютеры управляют средствами ориентации и навигации, осуществляют контроль состояния бортовых систем, выполняют некоторые функции автоматического управления и связи, а также большинство функций по оптимизации параметров работы систем объекта (например, оптимизацию расхода топлива в зависимости от конкретных условий движения объекта) [10].

**Рабочие станции** - это мощные однопользовательские микро-ЭВМ, специализированные для выполнения определённого вида работ. Специализированные микро-ЭВМ, ориентированные на работу с графикой, называют **графическими станциями**. Их используют для решения инженерных задач, при подготовке кино- и видеофильмов, а также для издательских работ, например, в производстве рекламной продукции и другие.

**Серверы** - это мощные многопользовательские микро-ЭВМ в вычислительных сетях для обработки запросов от всех узлов сетей. Сервер обеспечивает организованный доступ к общим системным ресурсам (базам данных, библиотекам программ, принтерам и др.)

Серверы в сети часто специализируются. Например, сервер печати обеспечивает эффективное использование системных принтеров.

Специализированные компьютеры, объединяющие компьютеры предприятия в одну сеть, называют **файловыми серверами**. Компьютеры, обеспечивающие передачу информации между различными участниками всемирной компьютерной сети, называют **сетевыми серверами** [10].

Приведённая классификация весьма условна. Современный ПК с развитыми вычислительными ресурсами и проблемно-ориентированным программным обеспечением может использоваться как полноправная рабочая

станция или как хороший сервер. По своим характеристикам современный ПК почти не уступает малым ЭВМ.

### 3.3 Другие виды классификации компьютеров

#### 3.3.1 Классификация по типоразмерам

Персональные компьютеры можно классифицировать по типоразмерам. Так, различают *настольные (desktop)*, *портативные (notebook)* и *карманные (palmtop)* модели.

**Настольные модели** распространены наиболее широко. Они являются принадлежностью рабочего места. Эти модели отличаются простотой изменения конфигурации за счет несложного подключения дополнительных внешних приборов или установки дополнительных внутренних компонентов. Достаточные размеры корпуса в настольном исполнении позволяют выполнять большинство подобных работ без привлечения специалистов, а это позволяет настраивать компьютерную систему оптимально для решения именно тех задач, для которых она была приобретена [10].

**Портативные модели** удобны для транспортировки. Их используют бизнесмены, коммерсанты, руководители предприятий и организаций, проводящие много времени в командировках и переездах. С портативным компьютером можно работать при отсутствии рабочего места. Особая привлекательность портативных компьютеров связана с тем, что их можно использовать в качестве средства связи. Подключив такой компьютер к телефонной сети, можно из любой географической точки установить обмен данными между ним и центральным компьютером своей организации. Так производят обмен данными, передачу приказов и распоряжений, получение коммерческих данных, докладов и отчетов. Для эксплуатации на рабочем месте портативные компьютеры не очень удобны, но их можно подключать к настольным компьютерам, используемым стационарно.

**Карманные модели** выполняют функции «интеллектуальных записных книжек». Они позволяют хранить оперативные данные и получать к ним быстрый доступ. Некоторые карманные модели имеют жестко встроенное программное обеспечение, что облегчает непосредственную работу, но снижает гибкость в выборе прикладных программ [10].

**Мобильные вычислительные устройства (МВУ)** сочетают в себе функции карманных моделей компьютеров и средств мобильной связи (сотовых радиотелефонов). Их отличительная особенность — возможность мобильной работы с Интернетом, а в ближайшем будущем и возможность приема телевизионных передач. Дополнительно МВУ комплектуют средствами связи по инфракрасному лучу, благодаря которым эти карманные устройства могут обмениваться данными с настольными ПК и друг с другом [10].

#### 3.3.2 Классификация по совместимости

В мире существует множество различных видов и типов компьютеров. Они выпускаются разными производителями, собираются из разных деталей, работают с разными программами. При этом очень важным вопросом становится **совместимость** различных компьютеров между собой. От совместимости зависит взаимозаменяемость узлов и приборов, предназначенных для разных компьютеров, возможность переноса программ с одного компьютера на другой и возможность совместной работы разных типов компьютеров с одними и теми же данными.

**Аппаратная совместимость.** По аппаратной совместимости различают так называемые *аппаратные платформы*. В области персональных компьютеров сегодня наиболее широко распространены две аппаратные платформы - **IBM PC** и **Apple Macintosh**. Кроме них существуют и другие платформы, распространенность которых ограничивается отдельными регионами или отдельными отраслями. Принадлежность компьютеров к одной аппаратной платформе повышает совместимость между ними, а принадлежность к разным платформам - понижает.

Кроме аппаратной совместимости существуют и другие виды совместимости: **совместимость на уровне операционной системы, программная совместимость, совместимость на уровне данных.**

Подробную архитектуру ЭВМ рассмотрим на примере персональных компьютеров.

### 3.4 Персональные компьютеры

Персональный компьютер (ПК) - универсальная техническая система. Его **конфигурацию** (состав оборудования) можно гибко изменять по мере необходимости. Тем не менее, существует понятие **базовой конфигурации**, которую считают типовой. В таком комплекте компьютер обычно поставляется. Понятие базовой конфигурации может меняться. В настоящее время в базовой конфигурации рассматривают четыре устройства: системный блок, монитор, клавиатура, мышь [10].

Системный блок представляет собой основной узел, внутри которого установлены наиболее важные компоненты. Устройства, находящиеся внутри системного блока, называют **внутренними**, а устройства, подключаемые к нему снаружи, - **внешними**. Внешние дополнительные устройства, предназначенные для ввода, вывода и длительного хранения данных, также называют **периферийными**.

По внешнему виду системные блоки различаются формой корпуса. Корпуса персональных компьютеров выпускают в горизонтальном (*desktop*) и вертикальном (*tower*) исполнении.

Внутри системного блока находятся [11]:

- системная плата с микропроцессором, оперативным запоминающим устройством (ОЗУ), постоянным запоминающим устройством (ПЗУ), которые подключены к общей шине;

- контроллеры внешних устройств, устанавливаемые в свободные слоты системной платы (видеоадаптер, сетевая карта и др.);
- твердотельные накопители SSD;
- дисковод компакт-дисков (CD-ROM, DVD и др.);
- порты для переключения периферийных устройств;
- блок питания;
- системы охлаждения.

### 3.4.1 Микропроцессор

Микропроцессор (МП) - это основной компонент ПК, предназначенный для выполнения арифметических и логических операций и для управления работой основных устройств ЭВМ. К функциям управления относятся: управление обработкой информации, управление вычислительным процессом, обращение к ОЗУ и т.д. Физически МП представляет собой кремниевую пластину с напылённым специальным химическим составом. При этом на одном кристалле располагается несколько миллионов транзисторов.

**Tiger Lake** — кодовое имя семейства процессоров фирмы Intel 11-го поколения на микроархитектуре Willow Cove, представляющей собой дальнейшее эволюционное развитие микроархитектуры Sunny Cove семейства Ice Lake. Чипы изготавливаются на технологическом процессе SuperFin 10 нанометров. Согласно этапам разработки процессоров Intel — это так называемый этап «так», на котором производственный техпроцесс не меняется, а оптимизируется.

Презентации семейства состоялась 13 августа 2020 года в рамках мероприятия Intel Architecture Day 2020, а официальная премьера 2 сентября 2020 года.

Ключевые особенности архитектуры:

- новый техпроцесс производства: 10нм SuperFin;
- новое ядро центрального процессора: Willow Cove;
- новое графическое ядро Gen12: Xe-LP (96 исполнительных блоков против 64 в Gen11 и собственный кэш третьего уровня объёмом 3,8 Мб);
- до 12 МБ кэш-памяти третьего уровня (против 8 МБ у Ice Lake);
- 1,25 МБ на ядро неинклюзивной кэш-памяти второго уровня с механизмом защиты Control Flow Enforcement (против 512 КБ инклюзивной);
- производительность IPC увеличилась на 18 % и до 40 % по сравнению с архитектурой Skylake;
- поддержка PCI-E 4.0, Thunderbolt 4, USB4;
- поддержка памяти LPDDR5-5400;
- поддержка Intel Gaussian & Neural Accelerator (GNA), Intel Deep Learning Boost (Intel DL Boost), Dynamic Tuning 2.0;
- новая инструкция AVX-512: VP2INTERSECT.

Конструктивно процессор состоит из ячеек, похожих на ячейки оперативной памяти, но в этих ячейках данные могут не только храниться, но и изменяться. Внутренние ячейки процессора называют **регистрами**. Важно также отметить, что данные, попавшие в некоторые регистры, рассматриваются не как

данные, а как команды, управляющие обработкой данных в других регистрах. Среди регистров процессора есть и такие, которые в зависимости от своего содержания способны модифицировать исполнение команд. Таким образом, управляя засылкой данных в разные регистры процессора, можно управлять обработкой данных. На этом и основано исполнение программ [10].

С остальными устройствами компьютера, и в первую очередь с оперативной памятью, процессор связан несколькими группами проводников, называемых **шинами**. Основных шин три: **шина данных, адресная шина и командная шина**.

**Адресная шина.** У процессоров семейства **Pentium** (а именно они наиболее распространены в персональных компьютерах) адресная шина 32-разрядная, то есть состоит из 32 параллельных проводников. В зависимости от того, есть напряжение на какой-то из линий или нет, говорят, что на этой линии выставлена единица или ноль. Комбинация из 32 нулей и единиц образует 32-разрядный адрес, указывающий на одну из ячеек оперативной памяти. К ней и подключается процессор для копирования данных из ячейки в один из своих регистров [9].

**Шина данных.** По этой шине происходит копирование данных из оперативной памяти в регистры процессора и обратно. В современных персональных компьютерах шина данных, как правило, 64-разрядная, то есть состоит из 64 линий, по которым за один раз на обработку поступают сразу 8 байтов.

**Шина команд.** Для того чтобы процессор мог обрабатывать данные, ему нужны команды. Он должен знать, что следует сделать с теми байтами, которые хранятся в его регистрах. Эти команды поступают в процессор тоже из оперативной памяти, но не из тех областей, где хранятся массивы данных, а оттуда, где хранятся программы. Команды тоже представлены в виде байтов. Самые простые команды укладываются в один байт, однако есть РІ такие, для которых нужно два, три и более байтов. В большинстве современных процессоров шина команд 32-разрядная, хотя существуют 64-разрядные процессоры и даже 128-разрядные.

От МП зависит такая важная характеристика ПК, как быстродействие. Эта характеристика определяется тактовой частотой, разрядностью МП, возможностью выполнения параллельных вычислительных процессов.

МП работает под управлением команд, которые формируются программой, написанной на языке высокого уровня. Каждая команда состоит из набора микрокоманд. Микрокоманда выполняется в процессоре в течение одного такта, а команда - за несколько тактов. Длительность такта определяется тактовой частотой, задаваемой тактовым генератором (ТГ). Импульсы напряжения, формируемые ТГ на каждом такте, задают темп работы основных устройств ПК.

Одной из тенденций развития МП является увеличение их тактовой частоты. Первые процессоры **Intel Pentium** семейства **x86** могли работать с частотой не выше 4,77 МГц. В современных МП семейства **Tiger Lake** 11-го поколения фирмы Intel она уже превысила величину 1 ГГц (таблица 3.1).

Таблица 3.1- Некоторые характеристики МП семейства Tiger Lake

| Серия   | Модель  | Ядра (потоки) | Центральный процессор |       |               | Графический процессор        |    |               | L3-кеш | TDP      | Поддержка памяти |
|---------|---------|---------------|-----------------------|-------|---------------|------------------------------|----|---------------|--------|----------|------------------|
|         |         |               | Штатная частота (ГГц) |       | Турбо частота | Серия                        | ИУ | Макс. частота |        |          |                  |
|         |         |               | Нижн.                 | Верх. |               |                              |    |               |        |          |                  |
| Core i9 | 11980HK | 8 (16)        | 2,6                   | 3,3   | 5,0           | UHD Graphics 11-го поколения | 32 | 1.45 ГГц      | 24 Мб  | 45-65 Вт | DDR4-3200        |
|         | 11900H  |               | 2,1                   | 2,5   | 4,9           |                              |    |               |        | 35-45 Вт |                  |
| Core i7 | 11800H  |               | 1,9                   | 2,3   | 4,6           |                              |    |               | 16     |          |                  |
| Core i5 | 11400H  | 6 (12)        | 2,2                   | 2,7   | 4,5           |                              |    |               |        |          |                  |

Разрядностью МП называется количество бит данных (нулей или единиц), которые поступают на каждом такте для обработки в МП. Чем больше разрядность МП, тем больше его быстродействие. Первые процессоры x86 были 16-разрядными. В настоящее время в основном используют 32-разрядные МП. Фирмы-производители МП начинают выпуск 64-разрядных МП.

Быстродействие МП определяется также количеством параллельно выполняемых операций. Например, суперскалярная архитектура процессора Pentium Pro позволяет выполнять три операции одновременно. Для увеличения производительности ПК при обработке чисел с плавающей запятой (точкой) используют арифметические сопроцессоры, которые в настоящее время, как правило, встраиваются в центральный процессор.

Наиболее крупным поставщиком МП является фирма INTEL. В 1994 году примерно 75% всех ПК, выпускаемых в мире, было оснащено МП этой фирмы.

Постоянное совершенствование архитектуры и технологии изготовления МП позволяет фирме INTEL быть лидером в производстве микропроцессоров. В таблице 3.2 приведены некоторые данные по развитию настольных МП семейства «Skylake-X» фирмы INTEL.

Таблица 3.2-Настольные микропроцессоры «Skylake-X»

| Название модели | Код Спец   | Ядра/ потоки | Частота | Частота Turbo Boost (v 2.0/Max 3.0) | Кэш L2        | Кэш L3      | Разъём    | TDP           | Тех-процесс | Поддержка памяти       | Месяц и год выпуска |
|-----------------|------------|--------------|---------|-------------------------------------|---------------|-------------|-----------|---------------|-------------|------------------------|---------------------|
| 1               | 2          | 3            | 4       | 5                                   | 6             | 7           | 8         | 9             | 10          | 11                     | 12                  |
| Core i9-7900X   | SR3L2 (U0) | 10/20        | 3,3 GHz | 4,3 GHz / 4,5 GHz                   | 10 x 1024 KiB | 13,75 Мбайт | LG A2 066 | 140 Вт        | 14 нм       | До 4 каналов DDR4-2666 | Июнь 2017           |
| Core i9-7920X   | SR3NG (M0) | 12/24        | 2,9 GHz | 4,3 GHz / 4,4 GHz                   | 12 x 1024 KiB | 16,50 Мбайт |           | 165 Вт        |             |                        | Август 2017         |
| Core i9-7940X   | SR3RQ (M0) | 14/28        | 3,1 GHz |                                     | 14 x 1024 KiB | 19,25 Мбайт |           |               |             |                        |                     |
| Core i9-7960X   | SR3RR (M0) | 16/32        | 2,8 GHz | 4,2 GHz / 4,4 GHz                   | 16 x 1024 KiB | 22,00 Мбайт |           | Сентябрь 2017 |             |                        |                     |
| Core i9-7980XE  | SR3RS (M0) | 18/36        | 2,6 GHz |                                     | 18 x 1024 KiB | 24,75 Мбайт |           |               |             |                        |                     |

Продолжение таблицы 3.2

| 1              | 2          | 3     | 4       | 5             | 6             | 7           | 8 | 9      | 10 | 11 | 12           |
|----------------|------------|-------|---------|---------------|---------------|-------------|---|--------|----|----|--------------|
| Core i9-9820X  | SREZ8 (M0) | 10/20 | 3,3 GHz | 4,0 / 4,1 GHz | 10 x 1024 KiB | 16,50 Мбайт |   |        |    |    | Октябрь 2018 |
| Core i9-9900X  | SREZ7 (M0) | 10/20 | 3,5 GHz | 4,1 / 4,4 GHz | 10 x 1024 KiB | 19,25 Мбайт |   |        |    |    | Ноябрь 2018  |
| Core i9-9920X  | SREZ6 (M0) | 12/24 | 3,5 GHz | 4,2 / 4,4 GHz | 12 x 1024 KiB | 19,25 Мбайт |   |        |    |    | Декабрь 2018 |
| Core i9-9940X  | SREZ5 (M0) | 14/28 | 3,3 GHz | 4,1 / 4,4 GHz | 14 x 1024 KiB | 19,25 Мбайт |   |        |    |    | Декабрь 2018 |
| Core i9-9960X  | SREZ4 (M0) | 16/32 | 3,1 GHz | 4,0 / 4,4 GHz | 16 x 1024 KiB | 22,00 Мбайт |   |        |    |    | Декабрь 2018 |
| Core i9-9980XE | SREZ3 (M0) | 18/36 | 3 GHz   | 3,8 / 4,4 GHz | 18 x 1024 KiB | 24,75 Мбайт |   |        |    |    | Декабрь 2018 |
| Core i9-9990XE | SREZA (M0) | 14/28 | 4 GHz   | 5,0 / 5,0 GHz | 14 x 1024 KiB | 19,25 Мбайт |   | 255 Вт |    |    | Январь 2019  |

Все модели поддерживают: *MMX, SSE, SSE2, SSE3, SSSE3, SSE4.1, SSE4.2, AVX, AVX2, AVX-512, FMA3, MPX, Enhanced Intel SpeedStep Technology (EIST), Intel 64, XD bit (an NX bit implementation), Intel VT-x, Intel VT-d, Turbo Boost, Hyper-threading, AES-NI, Intel TSX-NI, Smart Cache.*

Количество линий PCI Express: 44.

### 3.4.2 Основная память

Независимо от того, будут данные в компьютере храниться годы или секунды, компьютер должен иметь место для их хранения. За функцию хранения данных в компьютере отвечает целый ряд самых разных компонентов, объединённых одним названием – память (запоминающее устройство), крайне различных как по назначению, так и по принципу действия [9].

Общим для всех компонентов памяти является то, что доступ к хранимым данным осуществляется по адресам, указывающим на ячейки памяти.

**Ячейка памяти-это минимальный адресуемый элемент памяти компьютера.**

В зависимости от принятой системы адресации ячейка памяти может иметь объём от байта до одной из степеней двойки (16, 32, 64 и более) битов.

Память компьютера подразделяется на основную память и дисковую, или память на внешних носителях.

Основную память ЭВМ иногда называют **внутренней памятью**. Физически внутренняя память реализована в виде различных микросхем, т.е. полупроводниковых устройств.

В современном компьютере можно выделить три основных типа внутренней памяти:

- внутрипроцессорная память;

- оперативная память, или оперативное запоминающее устройство (ОЗУ);
- постоянная память, или постоянное запоминающее устройство (ПЗУ).

### 3.4.2.1 Внутрипроцессорная память

К внутрипроцессорной памяти относятся:

- регистровая память;
- кэш-память первого и второго уровней.

#### *Регистровая память*

Это самая быстрая, но самая малая по объёму и самая дорогая память. Если быть точным, регистровая память не просто расположена в микросхеме процессора, она является неотъемлемой частью арифметико-решающего и управляющего устройств. Именно в регистры загружается команда для её декодирования и выполнения, а также данные для выполнения операций над ними. Каждый из регистров процессора представляет собой 32-, 64- или 128 битную последовательность.

#### *Кэш-память*

КЭШ - быстродействующая буферная память большой ёмкости на полупроводниковых микросхемах. Эта память относится к внутрипроцессорной памяти. Необходимость её обусловлена высоким быстродействием центрального процессора и низкой скоростью работы остальных устройств (например, винчестера). Это как бы «сверхоперативная память».

Когда процессору нужны данные, он сначала обращается в КЭШ-память, и только если там нужных данных нет, происходит его обращение в оперативную память. Принимая блок данных из оперативной памяти, процессор заносит его одновременно и в КЭШ-память. «Удачные» обращения в КЭШ-память называют *попаданиями в КЭШ*. Процент попаданий тем выше, чем больше размер КЭШ-памяти, поэтому высокопроизводительные процессоры комплектуют повышенным объемом КЭШ-памяти.

Нередко КЭШ-память распределяют по нескольким уровням. КЭШ-память первого уровня находится внутри центрального процессора. Поэтому её объём ограничен. Так, в Pentium-III она составляет 32 Кб (16 Кб для данных и 16 Кб для команд). Быстродействие её в 3-5 раз выше, чем при работе с ОЗУ и лишь немногим уступает быстродействию регистровой памяти. Информация из ОЗУ попадает сначала в КЭШ-память первого уровня. При очередном обращении МП сначала проверяет наличие информации в КЭШ-памяти и уже затем (если информация там не обнаружена) обращается к ОЗУ. Поскольку расположение на кристалле МП ограничивает объём КЭШ-памяти первого уровня, в вычислительную систему добавляют КЭШ-память второго уровня.

КЭШ-память второго уровня находится либо в кристалле процессора, либо в том же узле, что и процессор, хотя и выполняется на отдельном кристалле. КЭШ-память первого и второго уровня работает на частоте, согласованной с частотой ядра процессора. Чтобы обеспечить высокое быстродействие её мик-



росхемы связываются с процессором специальной шиной. Объем Кэш-памяти второго уровня значительно больше, так для Pentium-III он составляет 512 Кб.

КЭШ-память третьего уровня выполняют на быстродействующих микросхемах типа *SRAM* и размещают на материнской плате вблизи процессора. Ее объемы могут достигать нескольких Мбайт, но работает она на частоте материнской платы.

Трёхуровневая организация КЭШ-памяти позволяет примерно 94% операций с памятью выполнять в связке центральный процессор - КЭШ-память.

### **3.4.2.2 Оперативная память**

Оперативная память компьютера (Random Access Memory, RAM) – это та область памяти, в которую загружаются программы и данные, откуда процессор берет инструкции для выполнения и данные для обработки. Физически основная память представляет собой платы небольшого размера, вставляющиеся в специальные слоты на материнской плате. На плате расположены микросхемы, в которые записываются данные.

ОЗУ состоит из ячеек, в каждой из которых хранится 1 байт=8 бит информации. Каждая ячейка имеет свой адрес. Этот адрес позволяет обращаться к любой ячейке оперативной памяти для чтения или записи информации. Оперативная память работает совместно с микропроцессором. Из оперативной памяти команды поступают в микропроцессор. Из микропроцессора в оперативную память передаются и записываются промежуточные и окончательные результаты.

Предельный размер поля оперативной памяти, установленной в компьютере, определяется микропроцессорным комплектом (*чипсетом*) материнской платы и обычно не может превосходить нескольких Гбайт. Минимальный объем памяти определяется требованиями операционной системы. Представление о том, сколько оперативной памяти должно быть в типовом компьютере, непрерывно меняется, но тенденция к росту сохраняется.

#### ***Оптимальный объем оперативной памяти***

Очень часто при покупке нового компьютера или ноутбука покупатели выбирают необходимый объем оперативной памяти (ОЗУ) по простым, но не вполне корректным формулам типа "Чем больше памяти - тем лучше" и "Памяти много не бывает". Действительно, если столу достаточно четыре ножки, а ему добавить еще двенадцать штук, то он точно не упадет, но только какой смысл? Так и с объемом оперативной памяти - можно закупить ее по максимуму во все свободные слоты, но часто будет использоваться только ее определенная часть, остальная будет почти бесполезным балластом. Но сколько необходимо, чтобы было достаточно?

Быстродействие компьютера или ноутбука определяется в основном мощностью процессора, а оперативная память используется для временного хранения данных, с которыми он работает, но сама она ничего не делает и только как можно быстрее выдает данные по запросу. Пока суммарный объем оперативной памяти, которая используется операционной системой и програм-

мами, меньше установленной, система работает на полную мощность, а вот когда оперативной памяти станет недостаточно, то система начинает использовать жесткий диск как недостающий объем памяти, поэтому наблюдается резкое снижение скорости работы всей системы.

Отдельно хотелось бы акцентировать внимание на том, что не стоит всегда винить в низкой скорости работы компьютера или ноутбука недостаточный объем оперативной памяти, так как обычно «ощущаемая» скорость работы значительно зависит от типа системного диска, поэтому настойчиво рекомендуется в качестве системного использовать SSD-диск, а не существенно более медленный классический HDD-диск.

Оптимальный объем оперативной памяти для компьютера или ноутбука зависит от того, какие программы и сколько будут одновременно запущены. Так как нормально установленный и не захламленный Windows 7/8/10 со всеми службами и антивирусной программой использует обычно от 0,8 до 1,5 Гб оперативной памяти, то можно рекомендовать:

- 2 Гб - минимальный, только для самых примитивных задач (набор текста, простые таблицы, Интернет на 2-3 открытые вкладки);

- 4 Гб - для бюджетного компьютера или ноутбука (Интернет, фильмы, офисные программы и простые игры);

- 8 Гб - для универсального компьютера или ноутбука (большинство популярных программ, игры на минимальных, средних и иногда максимальных настройках качества);

- 16 Гб - для мощного компьютера или ноутбука (игры на максимальных настройках качества, одновременная работа нескольких требовательных программ);

- 32 Гб - для очень мощного компьютера (игры на максимальных настройках качества с расчетом на перспективу, работа очень требовательных программ);

- для специализированного компьютера все подбирается индивидуально в зависимости от потребностей используемого программного обеспечения (может быть достаточно и 2 Гб, а может быть мало и 64 Гб).

Результаты многих тестов (например, 2018 год, 2020 год, 2021 год и другие) показывают, что в настоящее время современным играм обычно вполне достаточно 16 Гб оперативной памяти, а при наличии даже скромных 8 Гб у большинства из них FPS падает совсем незначительно. Поэтому в настоящее время установка 32 Гб оперативной памяти почти гарантировано будет мало востребована, но при покупке очень мощного компьютера на перспективу является обязательной, так как из года в год не только игры, но и многие программы и в первую очередь браузеры потребляют все больше оперативной памяти.

Стоит напомнить, что максимальный объем оперативной памяти, доступный 32-х разрядным операционным системам - около 3,5 Гб, поэтому для полного использования 4 Гб и больше необходима установка 64-х разрядной операционной системы.

При выборе частоты оперативной памяти стоит учитывать, что для высокой производительности системы в первую очередь важны мощный процессор

(для всех компьютеров и ноутбуков) и дополнительно хорошая видеокарта (для игровых компьютеров и ноутбуков), так как именно они занимаются всей вычислительной и игровой работой. Естественно, что частота оперативной памяти также влияет на скорость работы в целом, так как чем быстрее процессор получает данные из памяти, тем быстрее работает система, но все же это влияние часто преувеличено. Так, если заменить широко распространенные недорогие модули памяти более быстрыми с теми же таймингами (например, DDR4 2400 МГц на 3400 МГц или DDR3 1600 МГц на 2133 МГц), то прирост скорости работы различных программ и игр составляет от 0 до 20%, но дополнительно стоит учитывать, что максимальная частота памяти ограничена некоторыми факторами, причем часто эти ограничения являются непреодолимыми в конкретном компьютере или ноутбуке.

На скорость работы оперативной памяти в значительной мере влияют тайминги (CAS-Latency, CL) - это количество тактов, которые проходят между запросом процессора к оперативной памяти и получением результата, поэтому чем ниже их значение - тем быстрее работает память. Например, DDR4 2400MHz CL12 по результатам многих тестов будет уступать совсем немного DDR4 3200MHz CL18, хотя частота последней на треть выше.

На основании вышеизложенного можно сделать важный вывод: так как более низкие тайминги всегда повышают скорость работы оперативной памяти, а работа на завышенных частотах не всегда возможна, к тому же она в некоторой степени снижает ожидаемую стабильность и надежность работы всей системы и при этом не дает значительного повышения ее быстродействия, то разумнее будет в первую очередь покупать оперативную память с более низкими таймингами, а также более мощный процессор и видеокарту, а уже потом более высокочастотную оперативную память. Естественно, что этот вывод не касается сборки топовых систем, так как там и память должна быть соответствующей.

Двухканальный режим оперативной памяти (использование двух или четырех идентичных модулей памяти меньшего объема, а не одного большего) однозначно добавляет скорости системе в целом, хотя в разных приложениях и играх этот прирост разный - от 0 и до более 20%, поэтому он является обязательным для игровых компьютеров, а также очень желательным для универсальных компьютеров. Для бюджетных компьютеров допускается использование одного модуля памяти, но производительности встроенной в процессор видеокарты и так часто едва хватает для запуска современных игр, а в одноканальном режиме она работает медленнее еще в полтора-два раза.

Встроенная в процессор видеокарта использует исключительно оперативную память компьютера или ноутбука, поэтому установка более быстрой памяти (выше частота или меньше тайминги) всегда приводит к значимому и почти линейному увеличению производительности встроенной видеокарты. Тем не менее не стоит забывать, что хотя встроенные видеокарты в современных процессорах действительно имеют неплохое быстродействие, но все же даже при самой быстрой оперативной памяти они будут проигрывать дискретным видеокартам по цене уже от 70 у.е.

Оперативная память в компьютере размещается на стандартных панельках, называемых модулями. Модули оперативной памяти вставляют в соответствующие разъемы на материнской плате. Если к разъемам есть удобный доступ, то операцию можно выполнять своими руками. Если удобного доступа нет, может потребоваться неполная разборка узлов системного блока, и в таких случаях операцию поручают специалистам.

Основными характеристиками модулей оперативной памяти являются объем памяти и скорость передачи данных. Сегодня наиболее распространены модули объемом 128-512 Мбайт. Скорость передачи данных определяет максимальную пропускную способность памяти (в Мбайт/с или Гбайт/с) в оптимальном режиме доступа. При этом учитывается время доступа к памяти, ширина шины и дополнительные возможности, такие как передача нескольких сигналов за один такт работы. Одинаковые по объему модули могут иметь разные скоростные характеристики.

Иногда в качестве определяющей характеристики памяти используют *время доступа*. Оно измеряется в миллиардных долях секунды (*наносекундах, нс*). Для современных модулей памяти это значение может составлять 5 нс, а для особо быстрой памяти, используемой в основном в видеокартах, — снижаться до 2-3 нс.

### 3.4.2.3 Постоянная память

*Постоянная память, или постоянное запоминающее устройство (ПЗУ)* хранит неизменяемые в процессе эксплуатации ПК компоненты операционной системы для её загрузки в начале сеанса работы ПК и управления периферийными устройствами. Поскольку обращение к информации, записанной в ПЗУ, возможно только для чтения, то её второе название ROM- Read Only Memory. Другое, не менее широкое определение этого термина – память, данные в которой не теряются после выключения компьютера.

Комплект программ, находящихся в ПЗУ, образует *базовую систему ввода-вывода (BIOS — Basic Input Output System)*. Основное назначение программ этого пакета состоит в том, чтобы проверить состав и работоспособность компьютерной системы и обеспечить взаимодействие с клавиатурой, монитором, жестким диском и дисководом гибких дисков. Программы, входящие в *BIOS*, позволяют нам наблюдать на экране диагностические сообщения, сопровождающие запуск компьютера, а также вмешиваться в ход запуска с помощью клавиатуры [10].

Микросхемы BIOS можно подразделить на три основных типа [9]:

- память однократной записи (Read Only Memory, ROM) – микросхема однократно программируется на заводе и больше не подлежит перезаписи;
- память с возможностью перезаписи (Programmable ROM, PROM) – микросхему можно перепрограммировать («перепрожечь») при помощи специального программатора;
- память с возможностью перезаписи без извлечения из компьютера (Electrically Erasable Programmable ROM, EEPROM) – микросхему можно перепро-

граммировать при помощи специального программного обеспечения, подавая на неё определённые команды.

### 3.4.3 Материнская (системная) плата

Материнская плата – это многослойная печатная плата, на которой устанавливаются основные компоненты персонального компьютера. Это основная плата ПК, которая служит для объединения и организации взаимодействия других компонентов. На материнской плате размещаются [12]:

- процессор;
- чипсет - набор микросхем, обеспечивающих подключение центрального процессора к оперативной памяти и контроллерам периферийных устройств;
- шины - наборы проводников, по которым происходит обмен сигналами между внутренними устройствами ПК;
- оперативная память (ОЗУ)- набор микросхем, предназначенных для временного хранения данных, когда компьютер включен;
- постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) - микросхема для длительного хранения информации даже при выключенном компьютере;
- слоты - разъёмы для подключения дополнительных устройств.

Шины и микросхемы чипсета обеспечивают связь между всеми собственными и подключаемыми устройствами материнской платы. Параметры чипсета в наибольшей степени определяют потенциальные возможности и эффективность всей компьютерной системы.

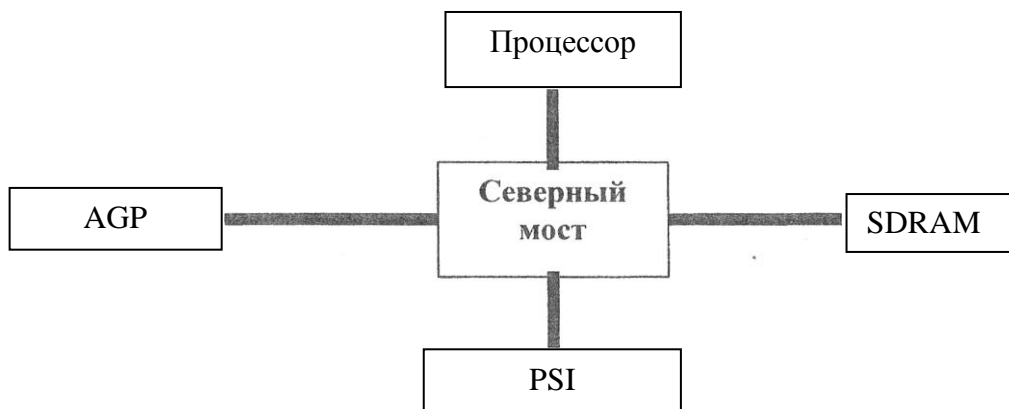
По чисто физическим причинам материнская плата не может работать со столь высокими частотами, как процессор. Поэтому обмен данными между процессором и оперативной памятью осуществляется с помощью чипсета, работающего с гораздо более высокой частотой, чем материнская плата.

Таким образом понятия «процессор», «материнская плата» и «чипсет» оказываются тесно связанными: невозможно использовать процессор, не предназначенный для установки на данной материнской плате, и, наоборот, невозможно задействовать материнскую плату, не предназначенную для установки на неё определённого типа процессора.

В настоящее время многие чипсеты материнских плат выпускаются на базе двух микросхем, исторически получивших название "Северный мост" и "Южный мост". "Северный мост", который также называют четырехпортовым контроллером, управляет взаимосвязью четырех устройств: процессора; оперативной памяти; порта AGP и шины PCI (рисунок 3.5).

"Южный мост", называемый функциональным контроллером, выполняет функции контроллера жестких и гибких дисков, функции моста ISA-PCI, контроллеров клавиатуры, мыши, шины USB и т.п.

Наиболее известными фирмами по производству чипсетов являются фирмы INTEL и VIA.



**Рисунок 3.5** - Схема связей «Северного моста»

Чипсеты обычно ориентированы на поддержку одного вида памяти. Так, чипсет фирмы INTEL i815 ориентирован на наиболее доступную, для массового ПК, память SDRAM. Чипсет i850 (той же фирмы) работает с процессором Pentium-IV и оперативной памятью RDRAM. В этом чипсете реализована возможность четырехкратного ускорения передачи данных за такт (400 МГц). С учетом того, что память RDRAM обеспечивает передачу данных по двум фронтам сигнала, скорость передачи данных между процессором и памятью определяется частотой 800 МГц. Примеры использования чипсетов с процессором Pentium-IV приведены в таблице 3.3.

Величина пропускной способности определяется не только частотой, но и шириной шины данных и количеством каналов. Так, для памяти RDRAM с шириной шины данных 2 байта и двухканальной структурой максимальная пропускная способность будет:  $800 \times 2 \times 2 = 3,2$  Гбайт/с. Для памяти SDRAM при ширине шины данных 8 байт и одноканальной структуре –  $133 \times 8 \times 1 = 1,06$  Гбайт/с.

**Таблица 3.3** - Примеры использования чипсетов

| Процессор Pentium-IV           |                 |                                     |                          |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Чипсет                         | i850            | VIAP4X266                           | i845                     |
| Память                         | PC800 (800 МГц) | DDRDRAM<br>PC2100<br>(133x2=266МГц) | SDRAM<br>PC133 (133 МГц) |
| Пропускная способность Гбайт/с | 3,20            | 2,10                                | 1,06                     |

В большинстве современных ПК системный интерфейс (система связи и сопряжения узлов и блоков ПК между собой) обеспечивается системной шиной. По своей сути это тоже интерфейс локальной шины, связывающей процессор с оперативной памятью, в которую врезаны разъемы для подключения внешних устройств. В современных компьютерах функции моста *PCI* выполняют микросхемы микропроцессорного комплекта (чипсета).

Основными характеристиками системной шины являются количество обслуживаемых ею устройств и её пропускная способность. Пропускная спо-

способность шины зависит от её разрядности и тактовой частоты, на которой шина работает. В настоящее время наиболее распространена шина PCI (Peripheral Component Interconnect- соединение внешних компонентов) фирмы INTEL, введенная во времена первых версий процессора *Pentium*. Данный интерфейс поддерживает частоту шины 33 МГц и обеспечивает пропускную способность 132 Мбайт/с.

Последние версии интерфейса поддерживают частоту до 66 МГц. При частоте 66 МГц для 32-разрядных данных обеспечивается производительность 264 Мбайт/с, а для 64-разрядных - 528 Мбайт/с. С помощью PCI к материнской плате подключаются самые разные компоненты: контроллеры жёстких дисков, адаптеры SCSI, звуковые платы и др. Один канал контроллера PCI поддерживает до четырёх слотов расширения.

Шина *PCI*, появившаяся в компьютерах на базе процессоров *Intel Pentium* как локальная шина, предназначенная для связи процессора с оперативной памятью, недолго оставалась в этом качестве. Сегодня она используется только как шина для подключения внешних устройств, а для связи процессора и памяти, начиная с процессора *Intel Pentium Pro*, используется специальная шина, получившая название *Front Side Bus (FSB)*. Эта шина работает на частоте 100-200 МГц. Частота шины *FSB* является одним из основных потребительских параметров — именно он и указывается в спецификации материнской платы. Современные типы памяти (*DDRSDRAM, RDRAM*) способны передавать несколько сигналов за один такт шины *FSB*, что повышает скорость обмена данными с оперативной памятью.

Одно из последних нововведений в архитектурах материнских плат это шина **USB (*Universal Serial Bus — универсальная последовательная магистраль*)**. Этот стандарт определяет способ взаимодействия компьютера с периферийным оборудованием. Он позволяет подключать до 256 различных устройств, имеющих последовательный интерфейс. Устройства могут включаться цепочками (каждое следующее устройство подключается к предыдущему). Производительность шины *USB* относительно невелика, но вполне достаточна для таких устройств, как клавиатура, мышь, модем, джойстик, принтер и т. п. Удобство шины состоит в том, что она практически исключает конфликты между различным оборудованием, позволяет подключать и отключать устройства в «горячем режиме» (не выключая компьютер) и позволяет объединять несколько компьютеров в простейшую локальную сеть без применения специального оборудования и программного обеспечения.

### 3.5 Периферийные устройства персонального компьютера

Периферийные устройства персонального компьютера подключаются к его интерфейсам и предназначены для выполнения вспомогательных операций. Благодаря им компьютерная система приобретает гибкость и универсальность. По назначению периферийные устройства можно подразделить на [13]:

- устройства хранения данных;
- устройства вывода данных;

- устройства ввода данных;
- устройства обмена данными.

### 3.5.1 Устройства хранения данных

Необходимость во внешних устройствах хранения данных возникает в двух случаях:

- когда на вычислительной системе обрабатывается больше данных, чем можно разместить на базовом жестком диске;
- когда данные имеют повышенную ценность и необходимо выполнять регулярное резервное копирование на внешнее устройство.

Внешние запоминающие устройства (ВЗУ) служат для постоянного хранения программ и данных при выключенном питании компьютера. Они относятся к периферийным устройствам ЭВМ. Основные показатели ВЗУ: ёмкость накопителя, среднее время доступа к информации, скорость передачи данных в ОЗУ, стоимость единицы памяти.

#### 3.5.1.1 Твердотельные накопители SSD

В настоящее время для внешнего хранения данных наибольшее распространение получили *твердотельные накопители SSD (Solid-State Drive)*. SSD — компьютерное энергонезависимое немеханическое запоминающее устройство на основе микросхем памяти, альтернатива HDD. Кроме микросхем памяти, SSD содержит управляющий контроллер. Наиболее распространённый вид твердотельных накопителей использует для хранения информации флеш-память типа NAND, однако существуют варианты, в которых накопитель создаётся на базе DRAM-памяти, снабжённой дополнительным источником питания — аккумулятором.

В настоящее время твердотельные накопители используются как в носимых (ноутбуках, нетбуках, планшетах), так и в стационарных компьютерах для повышения производительности. На 2016 год наиболее производительными выступали SSD формата M.2 с интерфейсом NVMe, у которых при подходящем подключении скорость записи/чтения данных могла достигать 3800 мегабайт в секунду.

По сравнению с традиционными жёсткими дисками (HDD) твердотельные накопители имеют меньший размер и вес, являются беззвучными, а также многократно более устойчивы к повреждениям (например, к падению) и имеют гораздо бóльшую скорость произвольных операций. В то же время, они имеют в несколько раз бóльшую стоимость в расчёте на гигабайт и меньшую износостойкость (ресурс записи).

SSD представляют собой устройства, хранящие данные в микросхемах вместо вращающихся металлических дисков или магнитных лент. Причина их появления отражает тот факт, что скорость обработки данных в процессоре намного превышает скорость записи данных в HDD. Магнитные диски на протяжении десятилетий доминировали в корпоративном сегменте хранения дан-



ных, за это время (с 1950-х) ёмкость носителей выросла в двести тысяч раз, скорость работы процессоров тоже сильно возросла, но скорость доступа к данным изменилась значительно меньше и диски стали «узким местом». Проблему решают твердотельные накопители — они обеспечивают намного большие скорости работы с данными по сравнению с жёсткими дисками.

SSD за счёт использования микросхем флеш-памяти по своим характеристикам существенно отличаются от жёстких дисков с магнитными пластинами. С целью оптимизации использования SSD в 2011 году был разработан логический интерфейс NVMe — *Non-Volatile Memory Express*, поддержка которого была добавлена в Windows, начиная только с версии 8.1. В Windows 7 поддержку протокола обеспечивает исправление (hotfix) KB2990941. К тому же не все материнские платы поддерживают протокол NVMe. Поэтому некоторые модели SSD выпускаются в двух версиях — AHCI и NVMe.

Существуют также гибридные жёсткие диски (*SSHD, solid-state hybrid drive*), в которых память NAND используется совместно с магнитными пластинами. Подобное объединение позволяет воспользоваться частью преимуществ флеш-памяти (быстрый произвольный доступ) при сохранении небольшой стоимости хранения больших объёмов данных. Флеш-память в них используется в качестве буфера (кэша) небольшого объёма (к примеру, в Seagate Momentus XT от 4 до 8 Гбайт) либо (реже) может быть доступной как отдельный накопитель (*dual-drive hybrid systems*).

Технология Intel Smart Response позволяет совместно использовать SSD и HDD с целью кеширования часто используемых данных (файлов) на SSD, плюс к тому более эффективно использует SSHD. У других производителей так же есть свои технологии для использования SSD для кеширования данных, хранящихся в HDD: Marvell HyperDuo (в контроллере Marvell 88SE9130), Adaptec MaxIQ (MaxCache), LSI CacheCade. Из них только HyperDuo предназначена для домашнего использования.

Основные характеристики твердотельных накопителей:

- наименьшее время доступа к данным: от 100 до 1000 раз быстрее, чем у механических дисков;
- высокая скорость, вплоть до нескольких гигабайт в секунду для произвольно расположенных данных;
- высокие значения IOPS благодаря высокой скорости и низкому времени доступа;
- низкая цена производительности, лучшее соотношение цены к производительности среди всех устройств хранения;
- высокая надёжность, SSD дают уровень сохранности данных такой же, как другие полупроводниковые устройства.

В отличие от жестких дисков, цена SSD очень сильно зависит от доступной емкости, это связано с ограниченной плотностью размещения ячеек памяти и ограничением размера кристалла в микросхеме.

### **Название**

К твердотельным накопителям относятся только накопители на полупроводниках. Жёсткие и оптические диски к ним не относятся, хотя они, строго го-

вора, являются твёрдыми телами. Эта терминология противоположна используемой в лазерах. Твердотельными лазерами называют лазеры на основе любых твёрдых тел, за исключением полупроводников.

Первоначально твердотельные накопители называли «твердотельными дисками» (*Solid-State Disk*), хотя ни один из твердотельных накопителей не является диском. Сейчас это название становится малоупотребительным.

### ***Рынок***

В 2013 году крупнейшими производителями микросхем NAND были Samsung, Toshiba, Micron и SK-Hynix, микросхем контроллеров для SSD — LSI-SandForce, Marvell, Silicon Motion, Phison и JMicron. В том же году Samsung, Toshiba и Micron начали выпускать накопители с микросхемами 3D-NAND, которая позволила снизить стоимость устройств, особенно высокой ёмкости.

В 1 квартале 2016 года крупнейшими производителями SSD были компании Samsung Electronics (первое место, около 40 % рынка), SanDisk (12 %), Lite-On (Plextor, Lite-On), Kingston, Intel, Micron, HGST.

Флеш-память NAND для SSD выпускалась компаниями SanDisk, Toshiba, Samsung, Intel, Micron. Несмотря на то, что Toshiba была и является одним из крупнейших производителей микросхем NAND, доля компании на рынке SSD составляла только 3,9 %. С 2016 г. Samsung выпускает «потребительские» SSD с микросхемами 3D NAND исключительно собственного производства.

## ***Форм-факторы и интерфейсы Внешние накопители***

Первоначально твердотельные накопители распространились в виде отдельных устройств накопления и переноса информации. Они подключались к компьютерам и цифровым гаджетам через ряд стандартизированных внешних интерфейсов, а конструкция накопителей позволяла неквалифицированному пользователю безопасно манипулировать ими и переносить данные между устройствами. Все эти накопители можно было разделить на две большие группы: с интерфейсом USB («USB-флешки»), преимущественно используемые с компьютерами, и карты памяти, преимущественно используемые в разнообразных электронных гаджетах, например цифровых фотоаппаратах, телефонах и т. п.

USB-накопители были отлично стандартизированы и обеспечивали работоспособность на любых устройствах с этим разъёмом. Карты памяти имели большое разнообразие несовместимых конструкций и интерфейсов. Первоначально были популярны CompactFlash, SmartMedia, Memory Stick, MMC, SD. До нашего времени высокую популярность сохранили лишь SD-карты в двух форм-факторах: стандартном и миниатюрном (microSD).

## ***Встраиваемые накопители***

По мере роста ёмкости и удешевления флеш-памяти, твердотельная память стала заменять основную долговременную память компьютеров — жёсткие диски. С целью обеспечения взаимозаменяемости с существовавшими технологиями встраиваемые твердотельные накопители стали выпускать в стан-

дартизированных для жёстких дисков конструктивах и с наиболее популярным на тот момент интерфейсом для жёстких дисков. Так появились твердотельные диски типоразмера 2,5" с интерфейсом SATA, которые устанавливались вместо механических жёстких дисков.

Однако громоздкие конструктивы и медленные интерфейсы механических жёстких дисков не позволяли раскрыть потенциал флеш-памяти. Начался процесс миниатюризации накопителей. Первоначально отказались от конструктива жёстких дисков, стандартизовав малогабаритные конструктивы mSATA и M.2 SATA, но сохранив совместимость с интерфейсом SATA. Следующим шагом стал отказ от медленного интерфейса SATA и переход на быстрый интерфейс PCI Express. Так появились накопители с интерфейсом NVMe Express (NVMe) в разнообразных конструктивах, из которых наибольшее распространение получил M.2 NVMe.

Несмотря на похожий конструктив накопители M.2 SATA нельзя установить вместо M.2 NVMe и M.2 NVMe нельзя установить вместо M.2 SATA, они несовместимы друг с другом. Внешне их можно различить по количеству вырезов на контактах платы накопителя и соответствующих ключевых вставок на ответном разъёме: у M.2 SATA их два, а у M.2 NVMe — один.

### *Архитектура и функционирование*

Накопители, построенные на использовании *энергонезависимой* памяти (NAND SSD), появились во второй половине 90-х годов прошлого века, но начали уверенное завоевание рынка в связи с прогрессом в микроэлектронике и улучшением основных характеристик, в том числе стоимости за гигабайт. До середины 2000-х годов уступали традиционным накопителям — жёстким дискам — в скорости записи, но компенсировали это высокой скоростью доступа к произвольным блокам информации (скорость поиска, скорость начального позиционирования). С 2012 года уже выпускаются твердотельные накопители со скоростями чтения и записи, во много раз превосходящими возможности жёстких дисков. Характеризуются относительно небольшими размерами и низким энергопотреблением.

К 2016 году были созданы микросхемы NAND с тремя различными по плотности хранения данных технологиями:

- SLC (Single Level Cell), один бит на ячейку;
- MLC (Multi Level Cell) — два бита;
- TLC (Triple Level Cell) — три бита.

TLC обеспечивает наибольшую плотность хранения данных (втрое выше, чем планарная SLC), но имеет наименьший срок службы и меньшую надёжность, которые компенсируются производителями за счёт усложнения обработки данных.

Дальнейшее развитие технологии NAND — 3D TLC, в которой ячейки TLC размещены на кристалле в несколько слоёв. Например, Samsung SSD 850 EVO использует 3D-память с 32 слоями 3-битных ячеек TLC. Производитель обещает для них надёжность на уровне устройств с планарными двухбитовыми MLC.

С 2017 года нашло распространение и QLC (Quad Level Cell) — четыре бита.

### ***Твёрдый накопитель RAM SSD***

Эти накопители построены на использовании *энергозависимой* памяти (такой же, какая используется в ОЗУ персонального компьютера) наподобие RAM drive и характеризуются сверхбыстрым чтением, записью и поиском информации. Основным их недостатком является чрезвычайно высокая стоимость за единицу объёма. Используются в основном для ускорения работы крупных систем управления базами данных и мощных графических станций. Такие накопители, как правило, оснащены аккумуляторами для сохранения данных при потере питания, а более дорогие модели — системами резервного и/или оперативного копирования. Примерами таких накопителей являются I-RAM и серия HyperDrive (последние известны в Европе как ACARD ANS-9010 и 9010BA).

Пользователи, обладающие достаточным объёмом оперативной памяти, могут организовывать имитацию подобных устройств за счёт технологии диск в ОЗУ (RAM drive), например, для оценки быстродействия виртуальных машин.

### ***Другие твёрдые накопители***

В 2015 году компании Intel и Micron заявили о выходе новой энергонезависимой памяти 3D XPoint. Intel планировала выпустить SSD-накопители на основе 3D XPoint с использованием интерфейса PCI Express в 2016 году, которые были бы быстрее и выносливее, чем накопители на основе NAND. В марте 2017 года Intel выпустила первый SSD-накопитель с использованием технологии 3D XPoint — Intel Optane P4800X.

Преимущества:

Отсутствие движущихся частей, отсюда:

- полное отсутствие шума;
- высокая механическая стойкость (кратковременно выдерживают порядка 1500 g);
- стабильность времени считывания файлов вне зависимости от их расположения или фрагментации;
- скорость чтения/записи выше, чем у распространённых жёстких дисков, и в ряде операций может быть близка к пропускной способности интерфейсов (SAS/SATA II 300 МБ/с, SAS/SATA III 600 МБ/с). Твёрдые накопители могут реализовываться с более быстрыми интерфейсами: SATA III, PCI Express, NGFF (M.2, в вариантах с PCIe), SATA Express, NVMe Express (стандарт на подключение SSD по шинам PCI Express), U.2.
- количество произвольных операций ввода-вывода в секунду (IOPS) у SSD на порядок выше, чем у жёстких дисков, за счёт возможности одновременного запуска множества операций и более низкой латентности каждой операции (нет необходимости ожидать оборота диска перед доступом, а также ожидать наведения головки диска на нужную дорожку);
- низкое энергопотребление;

- намного меньшая чувствительность к внешним электромагнитным полям;
- малые габариты и вес. Для твердотельных накопителей были разработаны более компактные типовые размеры, например mSATA, NGFF (M.2).

### ***Недостатки твердотельных накопителей***

Главный недостаток NAND SSD — ограниченное количество циклов перезаписи. Обычная (MLC, *Multi-level cell*, многоуровневые ячейки памяти) флеш-память позволяет записывать данные примерно 3000-10000 раз (гарантированный ресурс); в самых дешёвых накопителях (USB, SD, uSD) может использоваться ещё более плотная память типа TLC (MLC-3) с ресурсом порядка 1000 циклов или менее. Самые дорогостоящие виды памяти (SLC, *Single-level cell*, одноуровневые ячейки памяти) — имеют порядка сотен тысяч циклов перезаписи. Для борьбы с неравномерным износом в высокопроизводительных (SATA и PCIe) SSD применяются схемы балансирования нагрузки: контроллер хранит информацию о том, сколько раз какие блоки перезаписывались, и при необходимости производит запись в менее изношенные блоки. При выработке реального ресурса банков памяти накопитель может перейти в режим «только для чтения», что позволит скопировать данные. Данный недостаток отсутствует у RAM SSD, а также у нескольких перспективных технологий, которые к концу 2010-х могут заменить флеш-память, например FRAM, где ресурс может составлять десятки лет в режиме непрерывной перезаписи или технология MRAM, в которой используются магнитные моменты, а информация может храниться неограниченное количество лет. При ряде вариантов использования, в том числе в бытовых компьютерах, при корректно работающих алгоритмах выравнивания износа, ресурс накопителей обычно серьёзно превышает заявленный производителем гарантийный срок службы, в среднем составляющий 5 лет;

- цена гигабайта SSD-накопителей, несмотря на продолжающееся на протяжении многих лет быстрое снижение, всё ещё в несколько раз (6-7 для наиболее дешёвой флеш-памяти) выше цены гигабайта HDD (в 2012—2015 годах: менее 0,1 \$ за Гб в HDD, от 1 до 0,5-0,4 доллара за Гб в SSD). Уравнивание стоимости за единицу объёма SSD и HDD прогнозируется приблизительно к 2019 году, к тому же стоимость SSD практически прямо пропорциональна их ёмкости, в то время как стоимость традиционных жёстких дисков зависит не только от количества пластин и медленнее растёт при увеличении объёма накопителя. В то же время небольшие по объёму SSD могут быть заметно дешевле, чем жёсткие диски наименьших объёмов, в которых всегда требуется использовать точные механические системы. Это позволяет удешевлять массовые ПК, дешёвые ноутбуки и встраиваемые системы;

- модели накопителей минимального объёма обычно имеют немного более низкую производительность в ряде операций за счёт меньшего параллелизма;

- производительность накопителя зачастую может временно снижаться при записи больших объёмов данных (и исчерпанию быстрого буфера записи,

например участка памяти, работающего в режиме псевдо-SLC), в процессе работы «сборщика мусора» или при обращении к более медленным страницам памяти;

- применение в SSD-накопителях аппаратной команды TRIM для пометки удалённой информации может сильно осложнить или сделать невозможным восстановление удалённой информации соответствующими утилитами. С другой стороны, из-за выравнивания износа нет способа гарантированно удалять отдельные файлы с SSD: возможен лишь полный сброс всего накопителя при помощи команды «ATA Secure Erase». Команда TRIM помечает блоки как свободные, а решение о моменте физического стирания информации определяется прошивкой устройства;

- возможен выход из строя электронных устройств, в том числе контроллера или отдельных микросхем NAND-памяти либо пассивных компонентов. Среди некоторых моделей выходят из строя до 0,5-2 % SSD накопителей в течение первых лет эксплуатации. В отличие от HDD, выход из строя является внезапным;

- высокая сложность или невозможность восстановления информации после электрических повреждений. Так как контроллер и носители информации в SSD находятся на одной плате, то при превышении или значительном перепаде напряжения могут повредиться несколько микросхем, что приводит к безвозвратной потере информации. Вероятность восстановления данных существует, если повреждён лишь контроллер. В жёстких дисках восстановление информации с приемлемой трудоёмкостью также возможно только при выходе из строя платы контроллера, при сохранении целостности пластин, механики и считывающего оборудования;

- низкая реальная помехозащищённость операций чтения из ячеек памяти и наличие сбойных ячеек, особенно при изготовлении по самым современным («тонким») техпроцессам, приводит к необходимости использования в контроллерах современных моделей всё более сложных внутренних кодов исправления ошибок: ECC, Reed-Solomon, LDPC. В ряде дешёвых SSD внутренние ошибки кодов коррекции могут приводить к значительному увеличению латентности отдельных операций.

### **3.5.1.2 ВЗУ на оптических дисках**

Эти устройства получили широкое распространение в компьютерных системах высокого уровня благодаря своей универсальности. С их помощью решаются задачи резервного копирования, обмена данными и их накопления. Однако достаточно высокая стоимость приводов и носителей не позволяет отнести их к устройствам массового спроса.

В этом секторе параллельно развиваются 5,25- и 3,5-дюймовые накопители, носители для которых отличаются в основном форм-фактором и емкостью. Последнее поколение носителей формата 5,25" достигает емкости 5,2 Гбайт. Емкость носителей 3,5" несколько ниже, от 640 Мбайт до 2,3 Гбайт. В перспек-

тиве ожидается появление накопителей заметно большего объема (до нескольких десятков Гбайт).

Первые компакт-диски (CD) появились в конце 70-х годов и были предназначены для звуковой записи в цифровом формате. На спиральной дорожке этих дисков мощным лазерным лучом выжигаются углубления (pit). Глубина пита 0,12 мкм, ширина 0,6 мкм, а длина может быть от 0,3 до 3,3 мкм. Шаг спирали (расстояние между витками) составляет 1,6 мкм. Считывание информации производится с помощью оптической системы, которая фиксирует отражённый луч более слабого считывающего лазера. При перемещении этот луч на спиральной дорожке попадает либо на углубления (pit), либо на неповреждённый блестящий участок диска. В считывающей системе фиксируются либо 0, либо 1.

**Диски CD-ROM (Compact Disc Read Only Memory)** позволяют только считывать информацию. В этом случае используется инфракрасный луч лазера длиной волны 780 нм, который способен распознать углубления длиной до 0,83 мкм.

При массовом производстве компакт-диски прессуются. Инструмент для прессования получают с мастер-диска, который был изготовлен путём выжигания мощным лазерным лучом.

Тиражируемый компакт-диск состоит из поликарбонатной основы, покрытой после прессования отражающим слоем (обычно это тонко напыленный алюминий). Затем наносится защитный слой.

В отличие от магнитных дисков, с дорожками в виде концентрических окружностей, CD-ROM имеет всего одну физическую дорожку в виде спирали.

Цифровая запись на компакт-диске отличается от записи на магнитных дисках очень высокой плотностью (стандартный компакт-диск 5,25 дюйма может хранить информацию 650-700 Мбайт данных).

Большим достоинством этих дисков является теоретически вечный срок хранения (до 200 лет).

Дисководы CD-ROM начали применяться в компьютерах в 1994-95 годах. В системном блоке они заняли место дисководов для гибких магнитных дисков диаметром 5,25 дюйма, которые с этого времени перестали включать в базовую конфигурацию ПК.

Диски CD-ROM широко используются для распространения программных продуктов, для восстановления операционной системы при сбоях. Современные версии BIOS позволяют назначить в качестве загрузочного устройства привод CD-ROM. При фатальном сбое на жестком диске для восстановления используются "загрузочные" CD-ROM. На этих CD-ROM предусмотрен загрузочный модуль, операционная система и утилиты для восстановления.

Основным недостатком дисков CD-ROM является невозможность оперативной записи данных. Для записи одного диска CD-ROM требуется целая комната аппаратуры и 8 часов работы.

**Диски CD-R (Compact Disc Recordable)** с возможностью однократной оптической записи позволяют непосредственно на ПК сделать запись одного дис-

ка за время не более 1 часа. Записанную на диске CD-R информацию нельзя изменить или удалить.

Диски CD-R применяются для архивирования данных и для тиражирования небольших партий изданий (до 50 штук) на компакт-дисках.

Технология однократной оптической записи позволяет сделать прототип диска для серийного производства.

Непрерывное уменьшение цены устройств CD-R создает возможность широкого использования этих накопителей в домашних ПК. При этом можно создавать не только резервные копии и архивы файлов, но и музыкальные и фотоальбомы.

Отражающий слой на дисках CD-R может быть либо золотым, либо серебряным. На отражающий слой наносится специальный прозрачный (до записи) слой красителя. Более дешевый алюминиевый отражающий слой (как на дисках CD-ROM) применять нельзя, так как он вступает в реакцию с красителем. В CD-R дисках также используется поликарбонатная основа и предусматривается защитный слой. При записи лазерный луч нагревает краситель (активный слой) до температуры 250 °С. В этом месте активный слой окрашивается в темный цвет. Это и сопутствующие физические явления приводят к образованию пита - механического носителя информации. Там, где лазерный пишущий луч "выключен", остается неповрежденный блестящий участок диска. Хотя способы записи информации на обычные компакт-диски (CD-ROM) и на диски CD-R различны, в результате имеем одну и ту же картину - последовательность отражающих и не отражающих участков, которую может прочесть любой декодер CD-ROM.

Первый образец дисков CD-R появился в конце 1997 года.

Скорость записи накопителем CD-R составляет порядка 0,6 Мбайт/с, скорость чтения - 1,5 Мбайт/с.

Следующим этапом создания компакт-дисков явилась разработка перезаписываемых дисков.

**Диски CD-RW (*Compact Disc Rewritable*)** являются перезаписываемыми. Пользователь при необходимости может стирать ставшую ненужной информацию и записывать новую. Для этого требуется специальный накопитель, который может работать и с CD-R дисками в режиме дозаписи. Емкость диска CD-RW составляет 650 Мбайт. Эти диски могут также считываться на новых универсальных CD-ROM устройствах и DVD-ROM устройствах.

Запись производится при изменении состояния вещества записывающего слоя. Это вещество под нагревом луча лазера переходит из кристаллического состояния в аморфное (так называемый фазовый переход). При этом изменяется отражающая способность участка поверхности, где произошел фазовый переход. Этот участок играет роль пита. Считывание информации происходит так же, как при работе с дисками CD-ROM, но с меньшей скоростью. Перезапись производится с вдвое меньшей скоростью, чем запись.

CD-RW диски очень удобны для пользователя, т.к. обеспечивают возможность многократной записи на одном диске.

Основное применение CD-RW дисков:



- для периодического резервного копирования данных;
- для переноса информации между компьютерами.

**Диски DVD (Digital Versatile Disc)** - это многоцелевые универсальные цифровые диски. Первоначально эти носители разрабатывались для видеофильмов, поэтому иногда DVD расшифровывают как Digital Video Disk (цифровой видеодиск). Основную долю на рынке DVD дисков занимают видеофильмы.

На диске DVD можно записывать самую разнообразную информацию: видеозапись, звук, а также любые компьютерные файлы.

Диски DVD-ROM предназначены для однократной записи, диски DVD-RAM - для многократной записи. Диски DVD-ROM изготавливаются по технологии прессования и выпускаются большими тиражами. Диски DVD-RAM позволяют производить запись информации непосредственно на компьютере.

Ёмкость дисков DVD более чем в 20 раз превышает ёмкость дисков CD-ROM и в настоящее время достигает 17 Гбайт. Это достигается записью информации на двух сторонах диска и использованием двухслойной схемы записи на каждой стороне диска. Кроме того, увеличена плотность записи за счёт применения лазера красного диапазона с меньшей длиной волны (640нм), что позволяет уменьшить длину пита до 0,4 мкм. Уменьшен также шаг (расстояние между витками спирали) в 2 раза по сравнению с CD-ROM.

По мнению некоторых специалистов, в недалёком будущем накопители DVD (DVD-RAM) заменят собой все остальные накопители с оптическими дисками.

Разновидности дисководов для оптических дисков приведены на рисунке 3.6.



**Рисунок 3.6-** Классификация дисководов для оптических дисков

Дисководы CD-ROM обычно имеют емкость 650 Мбайт и широко используются для инсталляции нового программного обеспечения. Высокая скорость считывания информации в современных приводах CD-ROM обеспечивается технологией считывания с постоянной угловой скоростью. При этом, благодаря изменению линейных скоростей, скорость считывания на периферийных участках достигает 4-7,8 Мбайт/с, а на внутренних участках - 2-3,5 Мбайт/с.

При расчёте скорости считывания информации за основу берётся стандартная единица, равная скорости чтения обычного звукового компакт-диска (150 Кбайт/с). Эта величина умножается на кратность скорости дисководов, которая указывается в его характеристике. Современные дисководы имеют кратность скорости до 48х и даже до 52х. Для большинства реальных задач вполне достаточна кратность 24х-40х.

В дисководах предусматривается буферная память до 2 Мбайт.

Большая часть дисководов CD-ROM выпускается с интерфейсом IDE. Дисководы с интерфейсом SCSI используются в графических станциях, серверах и других системах. Этот интерфейс поддерживает надёжное функционирование системы с подключением нескольких дисководов CD-ROM и их работу в многозадачном режиме. Дисководы CD-R обеспечивают однократную запись на диске CD-R непосредственно на компьютере. Скорость записи на дисководах CD-R обычно ниже, чем скорость считывания. В связи с очень высокими требованиями к точности позиционирования всех элементов привода скорость записи этих дисководов небольшая (не более 10 - 12-кратной величины). Дисковод CD-R в виде внешнего устройства можно подключить к принтерному порту ПК.

В последнее время дисководы CD-R вытесняются более универсальными дисководами CD-RW.

Дисководы CD-RW обеспечивают многократную запись на дисках CD-RW. При этом информацию можно добавлять по частям. Предусмотрен режим удаления информации с диска. Скорость записи на этих дисководах, как правило, не более чем 8-кратная. Перезапись осуществляется с вдвое меньшей скоростью. По скорости чтения CD-RW уступает CD-ROM.

Дисководы DVD являются следующим поколением дисководов CD-ROM.

Дисководы DVD-ROM предназначены только для чтения информации. Они позволяют считывать данные практически с любых лазерных компакт-дисков (CD-ROM, CD-R, CD-RW, DVD-ROM). При этом читаются любые диски DVD-ROM ёмкостью 4,7-17 Гбайт: односторонние, двухсторонние, однослойные, двухслойные, диски видео-DVD. Используемые интерфейсы - IDE или SCSI. Скорость считывания информации порядка 7 Мбайт/с.

Появились дисководы DVD-RAM с возможностью многократной записи информации. Пока это очень дорогие устройства. Кроме того, нет общепризнанного стандарта на формат записи, а программное обеспечение для DVD весьма ограничено, хотя множество программных продуктов находится в стадии разработки.

**USB-флэш-накопитель** (*флэш-диск, флэшка*) — запоминающее устройство, использующее в качестве носителя флэш-память, и подключаемое к компьютеру или иному считывающему устройству по интерфейсу USB, пришедшее на замену флоппи-дискам. Флэш-накопители USB обычно являются съёмными и перезаписываемыми, и физически намного меньше, чем оптический диск. Большинство весит менее 30 грамм. USB-накопители часто используются для тех же целей, для которых когда-то использовались гибкие диски или компакт-диски; то есть для хранения, резервного копирования данных и

передачи компьютерных файлов. Они меньше, быстрее, имеют гораздо большую ёмкость и более прочны и надёжны, потому что у них нет движущихся частей. Кроме того, они невосприимчивы к магнитным полям (в отличие от флоппи-дисков) и не подвергаются воздействию поверхностных царапин (в отличие от компакт-дисков).

Основное назначение USB-накопителей — хранение, перенос и обмен данными, резервное копирование, загрузка операционных систем (Live USB) и др.

Основные компоненты флэшки:

- USB-интерфейс (чаще USB 2.0 или 3.0 Стандарт-A, иногда microUSB) — обеспечивает физическое соединение с компьютером.

- контроллер — небольшой микроконтроллер со встроенными ROM и RAM.

- NAND-чип флэш-памяти — хранит информацию.

- осциллятор — генерирует синхронизирующий сигнал (12 MHz) для шины USB.

На большинстве флэшек повсеместно используются файловые системы семейства FAT. В зависимости от размера накопителя применяются FAT16, FAT32 или exFAT. Для флэшек размером 64ГБ и более используются NTFS или exFAT.

Флэш-диски ничем не отличаются от других компьютерных дисков по своему функциональному назначению: это устройства для энергонезависимого хранения данных с возможностью многократной перезаписи. Отсутствие механических подвижных частей – является главным отличием этих устройств от обычных винчестеров или флоппи-дисков. Конструктивно, основным элементом хранения информации во флэш-дисках являются микросхемы памяти, выполненные по технологии Flash (отсюда и такое название устройств), являясь обычными электрически стираемыми ППЗУ, но с несколькими особенностями. Во-первых, эти устройства можно перезаписывать миллион раз, а то и больше – просто невероятная цифра для ЭСППЗУ, в то время позволяло в лучшем случае 1000 перезаписей. Во-вторых, емкость этих микросхем достаточно большая при весьма малых габаритах. И в-третьих, время хранения записанной информации в таких микросхемах - практически неограниченно. С точки зрения инженера – электронщика флэш-диск это малогабаритное электронное устройство на основе микросхем памяти, его можно подключить к компьютеру как и вместо накопителя жесткого диска.

Технический прогресс в области производства традиционных дисков казалось бы совсем отодвинул необходимость создавать какие-либо альтернативные изделия. Пока действительно применение в обычном офисном компьютере внутреннего флэш-диска оправдать достаточно сложно. Однако даже при беглом сравнении этих устройств можно найти тысячи возможностей применения, где альтернативы флэш-дискам пока не существует. В чем же их преимущество? Во-первых, практически полная невосприимчивость к вибрациям. Во вторых, устойчивость к ударам в 1000 g является нормой для этих устройств. И наконец, диапазон рабочих температур у флэш-дисков составляет от -40°C до

+85°C, что абсолютно недостижимо для обычных механических дисков. К сожалению, остальные свойства флэш-дисков пока еще отстают от возможностей их механических соперников, но и перечисленные преимущества вполне достаточны для работы устройств в жестких условиях эксплуатации. Например в цифровых камерах, промышленных, встраиваемых и блокнотных компьютерах, радиотелефонах, в авиации, космосе да и в тысячи других областей.

Несмотря на описанные выше проблемы, флэшки – удобные и надежные устройства хранения и переноса информации. Несложные профилактические меры помогут Вам продлить жизнь своим устройствам и избежать потери данных. А если сбой все же случился – не отчаивайтесь в 90% случаев можно восстановить информацию.

### **3.5.1.3 Blu-Ray диски**

**Blu-ray Disc, BD** (*blue ray*— синий луч и *disc* — диск; написание *blu* вместо *blue* — намеренное) — формат оптического носителя, используемый для записи с повышенной плотностью хранения цифровых данных, включая видео высокой чёткости [14]. Стандарт Blu-ray был совместно разработан международным консорциумом BDA. Первый прототип нового носителя был представлен в октябре 2000 года. Современный вариант был представлен на международной выставке потребительской электроники Consumer Electronics Show (CES), которая прошла в январе 2006 года. Коммерческий запуск формата Blu-ray прошёл весной 2006 года.

Blu-ray («синий луч») получил своё название от использования для записи и чтения коротковолнового (405 нм) «синего» (в действительности фиолетового) лазера. Буква «e» была намеренно исключена из слова «blue», чтобы получить возможность зарегистрировать товарный знак, так как выражение «blue ray» является часто используемым и не может быть зарегистрировано как товарный знак.

С момента появления формата в 2006 году и до начала 2008 года у Blu-ray существовал серьёзный конкурент — альтернативный формат HD DVD. В течение двух лет многие крупнейшие киностудии, которые изначально поддерживали HD DVD, постепенно перешли на Blu-ray. Warner Brothers, последняя компания, выпускавшая свою продукцию в обоих форматах, отказалась от использования HD DVD в январе 2008 года. 19 февраля того же года Toshiba, создатель формата, прекратила разработки в области HD DVD. Это событие положило конец очередной «войне форматов».

### **Вариации и размеры**

Однослойный диск Blu-ray (BD) может хранить 23,3 ГиБ (25 ГБ), двухслойный диск может вместить 46,6 ГиБ (50 ГБ), трёхслойный диск может вместить 100 ГБ, четырёхслойный диск может вместить 128 ГБ. Ещё в конце 2008 года японская компания Pioneer продемонстрировала 16- и 20-слойные диски на 400 и 500 ГБ, способные работать с тем же самым 405-нм лазером, что и обычные BD-плееры. Компания Pioneer Electronics уже представила привод BDR-

206МВК, поддерживающий трёхслойный диск 100 ГБ и четырёхслойный диск 128 ГБ. Диски имеют индексацию **BD-R XL**.

5 октября 2009 года японская корпорация TDK сообщила о создании записываемого Blu-ray-диска ёмкостью 320 гигабайт. «Новый десятислойный носитель полностью совместим с существующими приводами», — сообщает сайт TechOn.

На данный момент доступны диски BD-R (одноразовая запись), BD-RE (многократовая запись), BD-RE DL (многократовая запись) вместимостью до 46,6 ГиБ (50 ГБ), в разработке находится формат BD-ROM. BD-R диски также могут быть LTH-типа. В дополнение к стандартным дискам размером 120 мм выпущены варианты дисков размером 80 мм для использования в цифровых фото- и видеокамерах вместимостью 14,5 ГиБ (15,6 ГБ).

### *Технические особенности*

#### *Лазер и оптика*

В технологии Blu-ray для чтения и записи используется фиолетовый лазер с длиной волны 405 нм. Обычные DVD и CD используют красный и инфракрасный лазеры с длиной волны 650 нм и 780 нм соответственно (635 нм для DVD-R for Authoring).

Такое уменьшение позволило сузить дорожку вдвое по сравнению с DVD (до 0,32 мкм) и увеличить плотность записи данных.

Более короткая длина волны фиолетового лазера позволяет хранить больше информации на 12-сантиметровых дисках того же размера, что и у CD/DVD. Эффективный «размер пятна», на котором лазер может сфокусироваться, ограничен дифракцией и зависит от длины волны света и числовой апертуры линзы, используемой для его фокусировки. Уменьшение длины волны, использование числовой апертуры (0,85, в сравнении с 0,6 для DVD), высококачественной двухлинзовой системы, а также уменьшение толщины защитного слоя в шесть раз (0,1 мм вместо 0,6 мм) предоставило возможность проведения более качественного и корректного течения операций чтения/записи. Это позволило записывать информацию в меньшие точки на диске, а значит, хранить больше информации в физической области диска, а также увеличить скорость считывания до 432 Мбит/с.

#### *Технология твёрдого покрытия*

Из-за того, что на дисках Blu-ray данные расположены слишком близко к поверхности, первые версии дисков были крайне чувствительны к царапинам и прочим внешним механическим воздействиям, из-за чего они были заключены в пластиковые картриджи. Этот недостаток вызывал большие сомнения относительно того, сможет ли формат Blu-ray противостоять HD DVD — стандарту, который в то время рассматривался как основной конкурент Blu-ray. HD DVD, помимо своей более низкой стоимости, мог нормально работать без картриджей, так же, как и форматы CD и DVD, что делало его более удобным для покупателей, а также более интересным для производителей и дистрибьюторов,

которым было невыгодно нести дополнительные траты на изготовление картриджей.

Решение этой проблемы появилось в январе 2004 года с появлением нового полимерного покрытия, которое дало дискам более качественную защиту от царапин и пыли. Это покрытие, разработанное корпорацией TDK, получило название «Durabis». Оно позволяет очищать BD при помощи бумажных салфеток, которые могут нанести повреждения CD и DVD. Формат HD DVD имеет те же недостатки, так как эти диски производятся на основе старых оптических носителей.

### *Кодеки*

Кодек используется для преобразования видео- и аудиопотока и определяет размер, который видео будет занимать на диске. Почти во всех видеодисках, которые появились вначале, будет использоваться кодек MPEG-2.

На данный момент в спецификацию формата BD-ROM включена поддержка трёх кодеков: MPEG-2, который также является стандартным для DVD; MPEG-4 H.264/AVC кодек и VC-1 — новый быстро развивающийся кодек, созданный на основе Microsoft Windows Media 9. При использовании первого кодека на один слой возможно записать около двух часов видео высокой чёткости, другие два более современных кодека позволяют записывать до четырёх часов видео на один слой.

Для звука BD-ROM поддерживает линейный (несжатый) PCM, Dolby Digital, Dolby Digital Plus, DTS, Dolby TrueHD, DTS-HD Master Audio и Dolby Lossless (формат сжатия данных без потерь, также известный как Meridian Lossless Packing (MLP)).

### *Совместимость*

Хотя Ассоциация Blu-ray-дисков и не обязывает производителей проигрывателей, она настоятельно рекомендует им давать возможность Blu-ray-устройствам проигрывать диски формата DVD для обеспечения обратной совместимости.

Более того, компания JVC разработала технологию, которая позволяет наносить на один диск как физическую область для DVD, так и для BD, получая, таким образом, комбинированный BD-/DVD-диск. Прототипы таких дисков были показаны на международной выставке потребительской электроники CES, прошедшей в январе 2006 года. На данный момент у покупателей появилась возможность купить диск, который можно будет проигрывать как в DVD-проигрывателях, так и в BD-проигрывателях, но получая картинку разного качества.

### *Технологии*

#### *Технология BD-Live*

**BD-Live** (Blu-ray Disc — Live) — технология Sony, используемая в Blu-ray-дисках для реализации интерактивных функций.

Функция **BD-Live** предоставляет доступ к миру интерактивных развлечений: интернет-играм, конкурсам и другим интернет-сервисам. После активации

BD-Live также появляется возможность загрузки дополнительных материалов о фильме, которых нет на диске, например, эксклюзивные видеоролики или интервью с актёрами и режиссёром. Для доступа к этим материалам необходимо посетить специальную страничку, посвящённую фильму, и скачать нужную информацию.

### ***Технология LTH Type***

**LTH (Low To High)** — технология, упрощающая и снижающая стоимость производства записываемых дисков BD-R (болванок) на текущем оборудовании производителей DVD-R-дисков. Используется органический материал, как и в CD-/DVD-болванках. В магазинах LTH Type диски позиционируются как BD-R для записи данных, но, разумеется, подходят для записи любого содержимого. Проблема в том, что не все Blu-ray-устройства (главным образом видеоплееры) могут писать и читать этот формат — не опознают LTH-диски, однако большинство устройств работает с ними после обновления своей микропрограммы (прошивки).

На самом деле LTH-формат проигрывает в качестве записи (органический слой этих дисков против неорганического в обычных BD-R) и на данный момент отстаёт по техническим свойствам — трудно увеличивать скорость чтения и записи таких дисков. Формат задумывался как альтернативный, с целью упростить массовое производство болванок и, как следствие, снизить конечную стоимость BD-R «LTH Type» для потребителя.

Органический записываемый слой применяется во всех болванках CD и DVD. Неорганический слой предполагает существенно более надёжную запись и применяется в обычных BD-R-болванках, а также M-ARC-дисках.

Интересно, что болванки формата HD DVD-R тоже имели органический записываемый слой. Так, рабочая поверхность BD-R «LTH Type» и HD DVD-R имеет золотисто-жёлтый цвет, в отличие от обычных BD-R дисков.

## **3.5.2 Устройства вывода информации**

Основными устройствами вывода информации являются видеосистема, принтеры, плоттеры. Видеосистема (или графическая подсистема) включает в себя видеомонитор (дисплей) и видеоконтроллер (адаптер). Видеоадаптер (или графический адаптер) располагается внутри системного блока и устанавливается обычно в разъём материнской платы. Видеомониторы (дисплеи) являются внешними (периферийными) устройствами ПК. Выводом информации на экран и работой монитора управляет видеоадаптер.

### **3.5.2.1 Мониторы (дисплеи)**

**Монитор**— устройство оперативной визуальной связи пользователя с управляющим устройством и отображением данных, передаваемых с клавиатуры, мыши или центрального процессора.

Современный монитор состоит из экрана (дисплея), блока питания, плат управления и корпуса. Информация для отображения на мониторе поступает с

электронного устройства, формирующего видеосигнал (в компьютере — видеокарта или графическое ядро процессора).

### ***Классификация компьютерных мониторов***

#### ***По размерности отображения:***

- двумерный (2D) – одно изображение для обоих глаз;
- трёхмерный (3D) – для каждого глаза формируется отдельное изображение для получения эффекта объёма.

#### ***По типу видеоадаптера:*** MDA, HGC, CGA, EGA, VGA/SVGA.

#### ***По количеству отображаемых цветов:***

- черно-белые (монохромные);
- цветные с фиксированным набором цветов (CGA, EGA);
- цветные с неограниченным количеством цветов (аналоговые VGA).

#### ***По виду управляющего видеосигнала:***

- аналоговые;
- цифровые.

Монитор - это главное устройство отображения текстовой и графической информации на экране. Главенство монитора среди устройств вывода данных вполне объяснимо: человек воспринимает и осознаёт свыше 90 % всей входящей информации именно визуально. Таким образом, то устройство, которое обеспечивает генерацию изображения, всегда будет наиболее важным среди устройств вывода компьютера.

Наибольшее распространение получили два вида мониторов:

- плоские жидкокристаллические (ЖК) мониторы;
- мониторы с плазменной панелью.

Жидкокристаллические панели (LCD display) нашли широкое применение в портативных компьютерах. Принцип работы их основан на эффекте потери жидким кристаллом своей прозрачности при прохождении электрического тока. Достоинствами LCD-дисплеев являются практическое отсутствие электромагнитного излучения, компактность, малое потребление электроэнергии и высокое качество изображения. Недостаток - высокая цена, но благодаря своим достоинствам они находят широкое применение и в настольных системах.

Конструктивно **плазменные мониторы**, как и жидкокристаллические, имеют вид плоских панелей [9]. Плазменные мониторы работают за счёт свечения инертного газа в плазменном разряде. Каждая ячейка (точка экрана) плазменного монитора представляет собой сочетание трёх миниатюрных люминисцентных ламп, каждая из которых может светиться своим цветом (красным, зелёным или синим). Для того чтобы плазменный разряд возник, необходимо подвести к электродам довольно высокое напряжение, что делает плазменные дисплеи весьма энергоёмкими устройствами.

Плазменные панели потребляют гораздо больше электроэнергии, чем жидкокристаллические, они имеют ограничение по размеру точки экрана и значительно дороже ЖКД. Их применение ограничено экранами телевизоров и мониторами особо крупного размера.



Основными потребительскими параметрами мониторов являются: размер экрана, размер точки изображения, максимальная разрешающая способность, частота кадров, уровень защиты [10].

**Размер монитора** измеряется между противоположными углами видимой части экрана по диагонали. Единица измерения — дюймы. Наиболее распространенные модели дисплеев имеют диагонали 15, 17, 19, 21 дюйм. Дисплеи с размером диагонали менее 15 дюймов уже не рекомендуются к использованию. Наиболее удобны для широкого круга задач 17" дисплеи. Для графических систем рекомендуется не менее чем 19" дисплей.

Размер точки изображения связан с зернистостью, которая характеризуется шагом (dotpitch) - расстоянием между двумя точками люминофора экрана (пикселями). Это расстояние измеряется между центрами пикселей. Чем меньше шаг, тем выше качество (четкость) изображения. Зернистость экранов современных дисплеев составляет 0,28 мм и менее.

Разрешающая способность мониторов характеризует возможности работы в графическом режиме и связана с размерами пикселя. Разрешающая способность определяется максимальным количеством пикселей, размещающихся по горизонтали и по вертикали на экране монитора. Она зависит от характеристик монитора и связана с характеристиками видеоадаптера. Максимальная разрешающая способность - это теоретическая оценка предельных возможностей монитора. Обычно в документации указывается рекомендуемая (рабочая) разрешающая способность. Например, при максимальной разрешающей способности 1280 x 1024 рекомендуемый показатель разрешения 1024x768.

При неизменном размере монитора увеличение разрешающей способности требует меньшей зернистости, что приводит к удорожанию монитора. Например, 15" мониторы низкого ценового диапазона с рабочей разрешающей способностью 800 x 600 имеют зерно 0,28 мм. Такие же мониторы высокого ценового уровня с рабочим разрешением 1024 x 768 имеют зерно, 0,22 - 0,25 мм.

Частота кадров (частота обновления изображения на экране) показывает, сколько раз в течение секунды монитор может полностью сменить изображение. Частота кадров определяет устойчивость изображения (отсутствие мерцаний). Частоту кадров измеряют в герцах (Гц). Чем она выше, тем четче и устойчивее изображение, тем меньше утомление глаз, тем больше времени можно работать с компьютером непрерывно. При частоте кадров порядка 60 Гц мелкое мерцание изображения может быть заметно невооруженным глазом. Сегодня такое значение считается недопустимым. У хороших мониторов частота поддерживается на уровне не менее 70-80 Гц. Частота строк характеризует качество изображения. Этот параметр обычно находится в диапазоне 30-60 КГц.

**Уровень защиты** монитора определяется стандартом, которому соответствует монитор с точки зрения требований техники безопасности. Уровень защиты связан с излучением электромагнитных волн при работе монитора. Допустимый уровень излучения рекомендуется международными стандартами. Перечень этих стандартов в порядке ужесточения требований: *MPR-II*, *TCO-92*, *TCO-95*, *TCO-99* (приведены в хронологическом порядке). Согласно американскому стандарту по защите окружающей среды ЕРА, монитор в период бездей-

ствия должен потреблять не более 30 Вт мощности. Для сравнения, при отображении WINDOWS-окна потребление мощности составляет 107 Вт. При выборе монитора необходимо, прежде всего, проверить соответствие требованиям ТСО-99 (или более позднего стандарта) таких параметров качества изображения, как яркость, контрастность, мерцание, антибликовое покрытие экрана.

Дисплеи по числу цветов делятся на монохромные и цветные. Максимальное число цветов, отображаемое на экране, называется палитрой.

### 3.5.2.2 Видеоадаптеры

Видеоадаптер (видеоконтроллер) - это внутрисистемное устройство, которое управляет монитором и выводом информации на экран. Видеоадаптер представляет собой карту расширения, которая вставляется в материнскую плату ПК. Видеоадаптер превращает поток данных в сигналы, понятные монитору. К видеоадаптеру через специальный разъём подсоединяется монитор. Совместно с монитором *видеоадаптер* образует *видеоподсистему* персонального компьютера [10].

Физически видеоадаптер выполнен в виде отдельной *дочерней платы*, которая вставляется в один из слотов материнской платы и называется *видеокартой*. Видеоадаптер взял на себя функции *видеоконтроллера, видеопроцессора и видеопамяти*.

За время существования персональных компьютеров сменилось несколько стандартов видеоадаптеров: *MDA (монохромный)*; *CGA (4 цвета)*; *EGA (16 цветов)*; *VGA (256 цветов)*. В настоящее время применяются видеоадаптеры *SVGA*, обеспечивающие по выбору воспроизведение до 16,7 миллионов цветов с возможностью произвольного выбора разрешения экрана из стандартного ряда значений (640 x 480, 800 x 600, 1024 x 768, 1152 x 864; 1280 x 1024 точек и далее).

*Разрешение экрана* является одним из важнейших параметров видеоподсистемы. Чем оно выше, тем больше информации можно отобразить на экране, но тем меньше размер каждой отдельной точки и, соответственно, тем меньше видимый размер элементов изображения. Использование завышенного разрешения на мониторе малого размера приводит к тому, что элементы изображения становятся неразборчивыми и работа с документами и программами вызывает утомление органов зрения. Использование заниженного разрешения приводит к тому, что элементы изображения становятся крупными, но на экране их располагается очень мало. Если программа имеет сложную систему управления и большое число экранных элементов, они не полностью помещаются на экране. Это приводит к снижению производительности труда и неэффективной работе.

Таким образом, для каждого размера монитора существует свое оптимальное разрешение экрана, которое должен обеспечивать видеоадаптер. Большинство современных прикладных программ рассчитано на работу с разрешением экрана 800 x 600 и более. Именно поэтому сегодня минимально приемлемый размер монитора составляет 15 дюймов. Для работы с документами, подготовленными для печати на стандартных листах бумаги формата А4, необ-

ходимо экранное разрешение не менее 1024 x 768 и, соответственно, размер монитора в 17 дюймов.

Для большинства прикладных программ оптимальным также является разрешение 1024 x 768 и более, хотя в случае необходимости программы, как правило, допускают настройку своих панелей управления, делающую возможной работу в разрешении 800 x 600. Надо понимать, что при этом снижается производительность труда [10].

Таким образом, в настоящее время для работы с документами и службами Интернета наиболее приемлем ЖК-монитор размером в 15 дюймов. Размеры экранов более 17 дюймов и разрешения выше, чем 1024 x 768, применяют при работе с компьютерной графикой и системами автоматизированного проектирования.

Видеокарты не ограничиваются простым выводом изображения, они имеют встроенный графический процессор, который может производить дополнительную обработку, снимая эту задачу с центрального процессора компьютера. Например, видеокарты Nvidia и AMD (ATi) осуществляют рендеринг графического конвейера OpenGL и DirectX и Vulkan на аппаратном уровне.

Также имеет место тенденция использовать вычислительные возможности графического процессора для решения неграфических задач (например, добычи криптовалюты).

Графический пользовательский интерфейс, появившийся во многих операционных системах, стимулировал новый этап развития видеоадаптеров. Появляется понятие «графический ускоритель» (graphics accelerator). Это видеоадаптеры, которые производят выполнение некоторых графических функций на аппаратном уровне. К числу этих функций относятся: перемещение больших блоков изображения из одного участка экрана в другой (например, при перемещении окна), заливка участков изображения, рисование линий, дуг, шрифтов, поддержка аппаратного курсора и т. п. Прямым толчком к развитию столь специализированного устройства явилось то, что графический пользовательский интерфейс, несомненно, удобен, но его использование требует от центрального процессора немалых вычислительных ресурсов, и графический ускоритель как раз и призван снять с него львиную долю вычислений по окончательному выводу изображения на экран.

### ***3D-ускорители***

Сам термин *3D-ускоритель* формально означает дополнительную плату расширения, выполняющую вспомогательные функции ускорения формирования трёхмерной графики. Отображение результата в виде 2D изображения и передача её на монитор не является задачей 3D-ускорителя. 3D-ускорители в виде отдельного устройства практически не встречаются. Почти любая (кроме узкоспециализированных) видеокарта, в том числе и интегрированные графические адаптеры в составе процессоров и системной логики, выполняют аппаратное ускорение отображения двухмерной и трёхмерной графики.

Аппаратное ускорение формирования графических изображений изначально входило в характеристики многих персональных компьютеров, однако первая модель IBM PC штатно располагала только текстовыми режимами и не

имела возможности отображать графику. Однако первые видеокарты для IBM PC-совместимых компьютеров с поддержкой аппаратного ускорения 2D- и 3D-графики появились достаточно рано. Так IBM ещё в 1984 начала производство и продажу видеокарт стандарта PGC. PGC была создана для профессионального применения, выполняла аппаратное ускорение построения 2D- и 3D-примитивов и являлась решением в первую очередь для САД-приложений. Правда IBM PGC имела крайне высокую стоимость. Цена этой видеокарты была гораздо выше самого компьютера. Поэтому существенного распространения такие решения не получили. Справедливости ради стоит сказать что на рынке профессиональных решений были видеокарты и 3D-ускорители других производителей.

Распространение доступных 3D-ускорителей для IBM PC-совместимых компьютеров началось в 1994 году. Первой видеокартой с поддержкой аппаратного ускорения отображения 3D-графики стала *Matrox Impression Plus* выпущенная в 1994 году (использовала чип *Matrox Athena*). Позже, в этом же году, Matrox представляет новый чип *Matrox Storm* и видеокарту на основе его *Matrox Millennium*.

В 1995 году компания S3 Graphics, являющаяся на тот момент признанным и перспективным производителем видеокарт с ускорением растровой 2D-графики, выпустила один из первых массовых 3D-ускорителей на чипсете S3 ViRGE. Однако, использование этих видеокарт в реальных сценариях, показывало посредственную производительность, в связи с чем, нельзя было назвать их ускорителями 3D-графики в буквальном понимании. В то же время видеокарты Matrox Mystique и ATI 3D Rage, показывали лучшие результаты.

В том же году уже несколько компаний выпускают новые графические чипы с поддержкой аппаратного ускорения формирования 3D-графики. Так, Matrox выпускает MGA-2064W, Number Nine Visual Technology отмечается выпуском графического процессора Imagine 128-II, Yamaha представляет чипы YGV611 и YGV612, компания 3DLabs выпускает Glint 300SX, а Nvidia — NV1 (который так же выпускается в рамках соглашения с SGS-THOMSON под именем STG2000). В этом же году на основе этих решений выходит большое число видеокарт от различных производителей с поддержкой ускорения 3D-графики.

Настоящим прорывом на рынке 3D-ускорителей и видеокарт с аппаратным ускорением 3D-графики стал 1996 год. Именно этот год стал годом массового внедрения и популяризации аппаратной 3D-графики на IBM PC-совместимых компьютерах. В этому году появляются новые графические решения от 3DLabs, Matrox, ATI Technologies, S3, Rendition, Chromatic Research, Number Nine Visual Technology, Trident Microsystems, PowerVR. И хотя на основе этих графических процессоров в этом году выходит множество как 3D-ускорителей, так и полноценных видеокарт с функций ускорения 3D-графики, главным событием становится выпуск 3D-ускорителей на основе набора чипов 3Dfx Voodoo Graphics. Компания 3dfx Interactive до этого производившая специализированные 3D-ускорители для аркадных автоматов представила набор чипов для рынка IBM PC-совместимых компьютеров. Скорость и качество рендеринга трёхмерных сцен выполненных картами Voodoo Graphics были на

уровне игровых автоматов, и большинство производителей видеокарт начали выпуск 3D-ускорителей на основе набора *Voodoo Graphics*, а вскоре и большинство производителей компьютерных игр поддержали *Voodoo Graphics* и выпустили новые игры для IBM PC-совместимых компьютеров с совершенно новым уровнем 3D-графики. Произошёл взрыв интереса к 3D-играм и соответственно к 3D-ускорителям.

С 1998 года развивается (компания 3dfx, карта *Voodoo2*) технология SLI (*Scan Line Interleave* — чередование строчек), позволяющая использовать мощности нескольких соединённых между собой видеокарт для обработки трёхмерного изображения.

### ***Профессиональные видеоускорители***

Профессиональные графические карты — видеокарты, ориентированные на работу в графических станциях и использования в математических и графических пакетах 2D- и 3D-моделирования (*AutoCAD*, *MATLAB*), на которые ложится значительная нагрузка при расчёте и прорисовке моделей проектируемых объектов.

Ядра профессиональных видеоускорителей основных производителей, AMD и NVIDIA, «изнутри» мало отличаются от их игровых аналогов. Они давно унифицировали свои GPU и используют их в разных областях. Именно такой ход и позволил этим фирмам вытеснить с рынка компании, занимавшиеся разработкой и продвижением специализированных графических чипов для профессиональных применений.

Особое внимание уделяется подсистеме видеопамяти, поскольку это — особо важная составляющая профессиональных ускорителей, на долю которой выпадает основная нагрузка при работе с моделями гигантского объёма; В частности, кроме заметно больших объёмов памяти у соотносимых по производительности карт, у видеокарт профессионального сегмента может использоваться ЕСС-память.

Отдельно стоит продукция фирмы *Matrox*, чьи узкоспециализированные ускорители по состоянию на 2017 год применялись для работ по кодированию видео, обработке TV-сигнала и работ со сложной 2D-графикой.

### ***Устройство видеокарт***

Видеокарта состоит из следующих частей:

#### ***Графический процессор***

Графический процессор (*Graphics processing unit* (GPU) — «графическое процессорное устройство») занимается расчётами выводимого изображения (рендеринг), производя обработку 2D и 3D графики. Графические процессоры по сложности мало чем уступают центральному процессору компьютера, и зачастую превосходят его как по числу транзисторов, так и по вычислительной мощности, благодаря большому числу универсальных вычислительных блоков. Однако архитектура GPU прошлого поколения обычно предполагает наличие нескольких блоков обработки информации, а именно: блок обработки 2D-графики, блок обработки 3D-графики, в свою очередь, обычно разделяющийся

на геометрическое ядро (плюс кэш вершин) и блок растеризации (плюс кэш текстур) и др.

### ***Видеопамять***

Кроме шины данных, второе узкое место любого видеоадаптера — это пропускная способность (*bandwidth*) памяти самого видеоадаптера. Причём изначально проблема возникла даже не столько из-за скорости обработки видеоданных (часто стоит проблема информационного «голода» видеоконтроллера, когда он данные обрабатывает быстрее, чем успевает их читать/писать из/в видеопамять), сколько из-за необходимости доступа к ним со стороны видеопроцессора, центрального процессора и RAMDAC. Дело в том, что при высоких разрешениях и большой глубине цвета для отображения страницы экрана на мониторе необходимо прочитать все эти данные из видеопамати и преобразовать в аналоговый сигнал, который и пойдёт на монитор, столько раз в секунду, сколько кадров в секунду показывает монитор. Возьмём объём одной страницы экрана при разрешении 1024x768 точек и глубине цвета 24 бит (True Color), это составляет 2,25 МБ. При частоте кадров 75 Гц необходимо считывать эту страницу из памяти видеоадаптера 75 раз в секунду (считываемые пиксели передаются в RAMDAC, и он преобразовывает цифровые данные о цвете пиксела в аналоговый сигнал, поступающий на монитор), причём ни задержаться, ни пропустить пиксель нельзя, следовательно, номинально потребная пропускная способность видеопамати для данного разрешения составляет приблизительно 170 МБ/с, и это без учёта того, что необходимо и самому видеоконтроллеру писать и читать данные из этой памяти. Для разрешения 1600x1200x32 бит при той же частоте кадров 75 Гц номинально потребная пропускная составляет уже 550 МБ/с. Для сравнения, процессор Pentium II имел пиковую скорость работы с памятью 528 МБ/с. Проблему можно было решать двояко — либо использовать специальные типы памяти, которые позволяют одновременно двум устройствам читать из неё, либо ставить очень быструю память.

Типы видеопамати:

- Ранние видеокарты не предъявляли особых требований к быстродействию и использовали стандартные типы памяти типа — статические Static RAM (например, в адаптере MDA) или динамические Dynamic RAM.

- FPM DRAM (Fast Page Mode Dynamic RAM — динамическое ОЗУ с быстрым страничным доступом) — основной тип видеопамати, идентичный используемой в системных платах. Использует асинхронный доступ, при котором управляющие сигналы не привязаны жёстко к тактовой частоте системы. Активно применялся примерно до 1996 года.

- VRAM (Video RAM — видео ОЗУ) — так называемая двухпортовая DRAM. Этот тип памяти обеспечивает доступ к данным со стороны сразу двух устройств, то есть имеется возможность одновременно писать данные в какую-либо ячейку памяти, и одновременно с этим читать данные из какой-нибудь соседней ячейки. За счёт этого позволяет совмещать во времени вывод изображения на экран и его обработку в видеопамати, что сокращает задержки при доступе и увеличивает скорость работы. То есть RAMDAC может свободно выво-

дить на экран монитора раз за разом экранный буфер, ничуть не мешая видеопроцессору осуществлять какие-либо манипуляции с данными. Но это всё та же DRAM, и скорость у неё не слишком высокая.

- WRAM (Window RAM) — вариант VRAM, с увеличенной на ~25 % пропускной способностью и поддержкой некоторых часто применяемых функций, таких, как отрисовка шрифтов, перемещение блоков изображения и т. п. Применяется практически только на акселераторах фирмы Matrox и Number Nine, поскольку требует специальных методов доступа и обработки данных. Наличие всего одного производителя данного типа памяти (Samsung) сильно сократило возможности её использования. Видеоадаптеры, построенные с использованием данного типа памяти, не имеют тенденции к падению производительности при установке больших разрешений и частот обновления экрана, на однопортовой же памяти в таких случаях RAMDAC всё большее время занимает шину доступа к видеопамяти, и производительность видеоадаптера может сильно упасть.

- EDO DRAM (Extended Data Out DRAM — динамическое ОЗУ с расширенным временем удержания данных на выходе) — тип памяти с элементами конвейеризации, позволяющий несколько ускорить обмен блоками данных с видеопамятью приблизительно на 25 %.

- SDRAM (Synchronous Dynamic RAM — синхронное динамическое ОЗУ) пришёл на замену EDO DRAM и других асинхронных однопортовых типов памяти. После того, как произведено первое чтение из памяти или первая запись в память, последующие операции чтения или записи происходят с нулевыми задержками. Этим достигается максимально возможная скорость чтения и записи данных.

- DDR SDRAM (Double Data Rate) — вариант SDRAM с передачей данных по двум срезам сигнала, получаемым в результате удвоения скорости работы. Дальнейшее развитие пока происходит в виде очередного уплотнения числа пакетов в одном такте шины — DDR2 SDRAM (GDDR2), DDR3 SDRAM и т. д.

- SGRAM (Synchronous Graphics RAM — синхронное графическое ОЗУ) вариант DRAM с синхронным доступом. В принципе, работа SGRAM полностью аналогична SDRAM, но дополнительно поддерживаются ещё некоторые специфические функции, типа блочной и масочной записи. В отличие от VRAM и WRAM, SGRAM является однопортовой, однако может открывать две страницы памяти как одну, эмулируя двухпортовость других типов видеопамяти.

- MDRAM (Multibank DRAM — многобанковое ОЗУ) — вариант DRAM, разработанный фирмой MoSys, организованный в виде множества независимых банков объёмом по 32 КиБ каждый, работающих в конвейерном режиме.

- RDRAM (RAMBus DRAM) — память, использующая специальный канал передачи данных (Rambus Channel), представляющий собой шину данных шириной в один байт. По этому каналу удаётся передавать информацию очень большими потоками, наивысшая скорость передачи данных для одного канала на сегодняшний момент составляет 1600 МБ/с (частота 800 МГц, данные передаются по обоим срезам импульса). На один такой канал можно подключить

несколько чипов памяти. Контроллер этой памяти работает с одним каналом Rambus, на одной микросхеме логики можно разместить четыре таких контроллера, значит, теоретически можно поддерживать до 4 таких каналов, обеспечивая максимальную пропускную способность в 6,4 Гб/с. Минус этой памяти — нужно читать информацию большими блоками, иначе её производительность резко падает.

Объём оперативной памяти видеокарт варьируется от 4 Кбайт (например, в MDA) до 48 Гб (например, NVIDIA Quadro RTX 8000). Поскольку доступ к видеопамати GPU и другими электронными компонентами должен обеспечивать желаемую высокую производительность всей графической подсистемы в целом, используются специализированные высокоскоростные типы памяти, такие, как SGRAM, двухпортовые (*dual-port*) VRAM, WRAM, другие. Приблизительно с 2003 года видеопамать, как правило, базировалась на основе DDR технологии памяти SDRAM, с удвоенной эффективной частотой (передача данных синхронизируется не только по нарастающему фронту тактового сигнала, но и ниспадающему). И в дальнейшем DDR2, GDDR3, GDDR4, GDDR5 и на момент 2016 года GDDR5X. С выходом серии высокопроизводительных видеокарт AMD Fury совместно с уже устоявшейся на рынке памятью GDDR начала использоваться память нового типа HBM, предлагая значительно большую пропускную способность и упрощение самой платы видеокарты, за счёт отсутствия необходимости разводки и распайки чипов памяти. Пиковая скорость передачи данных (пропускная способность) памяти видеокарт достигает 480 Гб/с для типа памяти GDDR5X (например, у NVIDIA TITAN X Pascal) и 672 Гб/с для типа памяти GDDR6 (например, у TITAN RTX).

Видеопамать используется для временного сохранения, помимо непосредственно данных изображения, и другие: текстуры, шейдеры, вершинные буферы, Z-буфер (удалённость элементов изображения в 3D-графике), и тому подобные данные графической подсистемы (за исключением, по большей части данных Video BIOS, внутренней памяти графического процессора и т. п.) и коды.

### ***Видео-ОЗУ***

Видеопамать выполняет функцию кадрового буфера, в котором хранится изображение, генерируемое и постоянно изменяемое графическим процессором и выводимое на экран монитора (или нескольких мониторов). В видеопамати хранятся также промежуточные невидимые на экране элементы изображения и другие данные. На данный момент (2021 год) существует 7 типов памяти для видеокарт: DDR, GDDR2, GDDR3, GDDR4, GDDR5, GDDR6 и HBM. Помимо видеопамати, находящейся на видеокарте, графические процессоры обычно используют в своей работе часть общей системной памяти компьютера, прямой доступ к которой организуется драйвером видеоадаптера через шину AGP или PCI-e. В случае использования архитектуры Uniform Memory Access в качестве видеопамати используется часть системной памяти компьютера.

### ***Видеоконтроллер***



Видеоконтроллер отвечает за формирование изображения в видеопамяти, даёт команды RAMDAC на формирование сигналов развёртки для монитора и осуществляет обработку запросов центрального процессора. Кроме этого, обычно присутствуют контроллер внешней шины данных (например, PCI или AGP), контроллер внутренней шины данных и контроллер видеопамяти. Ширина внутренней шины и шины видеопамяти обычно больше, чем внешней (64, 128 или 256 разрядов против 16 или 32), во многие видеоконтроллеры встраивается ещё и RAMDAC.

Графические адаптеры (AMD, nVidia) обычно имеют не менее двух видеоконтроллеров, работающих независимо друг от друга и управляющих одновременно одним или несколькими дисплеями каждый.

### ***RAMDAC и TMDS***

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП; RAMDAC — *Random Access Memory Digital-to-Analog Converter*) служит для преобразования изображения, формируемого видеоконтроллером, в уровни интенсивности цвета, подаваемые на аналоговый монитор. Возможный диапазон цветности изображения определяется только параметрами RAMDAC. Чаще всего RAMDAC имеет четыре основных блока: три цифро-аналоговых преобразователя, по одному на каждый цветовой канал (красный, зелёный, синий — RGB), и SRAM для хранения данных о гамма-коррекции. Большинство ЦАП имеют разрядность 8 бит на канал — получается по 256 уровней яркости на каждый основной цвет, что в сумме даёт 16,7 млн цветов (а за счёт гамма-коррекции есть возможность отображать исходные 16,7 млн цветов в гораздо большее цветовое пространство). Некоторые RAMDAC имеют разрядность по каждому каналу 10 бит (1024 уровня яркости), что позволяет сразу отображать более 1 млрд цветов, но эта возможность практически не используется. Для поддержки второго монитора часто устанавливают второй ЦАП.

TMDS (*Transition-minimized differential signaling* — дифференциальная передача сигналов с минимизацией перепадов уровней) передатчик цифрового сигнала без ЦАП-преобразований. Используется при DVI-D, HDMI, DisplayPort подключениях. С распространением ЖК-мониторов и плазменных панелей нужда в передаче аналогового сигнала отпала — в отличие от ЭЛТ они уже не имеют аналоговую составляющую и работают внутри с цифровыми данными. Чтобы избежать лишних преобразований, Silicon Image разрабатывает TMDS.

### ***Видео-ПЗУ***

Видео-ПЗУ (Video ROM) — постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), в которое записаны BIOS видеокарты, экранные шрифты, служебные таблицы и т. п. ПЗУ не используется видеоконтроллером напрямую — к нему обращается только центральный процессор.

BIOS обеспечивает инициализацию и работу видеокарты до загрузки основной операционной системы, задаёт все низкоуровневые параметры видеокарты, в том числе рабочие частоты и питающие напряжения графического процессора и видеопамяти, тайминги памяти. Также VBIOS содержит систем-

ные данные, которые могут читаться и интерпретироваться видеодрайвером в процессе работы (в зависимости от применяемого метода разделения ответственности между драйвером и BIOS). На многих картах устанавливаются электрически перепрограммируемые ПЗУ (EEPROM, Flash ROM), допускающие перезапись видео-BIOS самим пользователем при помощи специальной программы.

### *Интерфейс*

Первое препятствие к повышению быстродействия видеосистемы — это интерфейс передачи данных, к которому подключён видеоадаптер. Как бы ни был быстр процессор видеоадаптера, большая часть его возможностей останется незадействованной, если не будут обеспечены соответствующие каналы обмена информацией между ним, центральным процессором, оперативной памятью компьютера и дополнительными видеоустройствами.

Основным каналом передачи данных является, конечно, интерфейсная шина материнской платы, через которую обеспечивается обмен данными с центральным процессором и оперативной памятью. Самой первой шиной, использовавшейся в IBM PC, была XT-Bus, она имела разрядность 8 бит данных и 20 бит адреса и работала на частоте 4,77 МГц. Далее появилась шина ISA (Industry Standart Architecture — архитектура промышленного стандарта), соответственно она имела разрядность 8/16 бит и работала на частоте 8 МГц. Пиковая пропускная способность составляла чуть больше 5,5 МиБ/с. Этого более чем хватало для отображения текстовой информации и игр с 16-цветной графикой.

Дальнейшим рывком явилось появление шины MCA (Micro Channel Architecture) в новой серии компьютеров PS/2 фирмы IBM. Она уже имела разрядность 32/32 бит и пиковую пропускную способность 40 Мб/с. Но то обстоятельство, что архитектура MCI являлась закрытой (собственностью IBM), побудило остальных производителей искать иные пути увеличения пропускной способности основного канала доступа к видеоадаптеру.

С появлением процессоров серии 486 было предложено использовать для подключения периферийных устройств локальную шину самого процессора, в результате родилась VLB (VESA Local Bus — локальная шина стандарта VESA). Работая на внешней тактовой частоте процессора, которая составляла от 25 МГц до 50 МГц, и имея разрядность 32 бит, шина VLB обеспечивала пиковую пропускную способность около 130 МиБ/с. Этого уже было более чем достаточно для всех существовавших приложений, помимо этого, возможность использования её не только для видеоадаптеров, наличие трёх слотов подключения и обеспечение обратной совместимости с ISA (VLB представляет собой просто ещё один 116 контактный разъём за слотом ISA) гарантировали ей достаточно долгую жизнь и поддержку многими производителями чипсетов для материнских плат и периферийных устройств, даже несмотря на то, что при частотах 40 МГц и 50 МГц обеспечить работу даже двух устройств, подключённых к ней, представлялось проблематичным из-за чрезмерно высокой нагрузки на каскады центрального процессора (ведь большинство управляющих цепей шло с VLB на процессор напрямую, безо всякой буферизации).

И всё-таки, с учётом того, что не только видеоадаптер стал требовать высокую скорость обмена информацией, и явной невозможности подключения к VLB всех устройств (и необходимостью наличия межплатформенного решения, не ограничивающегося только PC), была разработана шина PCI (Peripheral Component Interconnect — объединение внешних компонентов) появившаяся, в первую очередь, на материнских платах для процессоров Pentium. С точки зрения производительности на платформе PC всё осталось по-прежнему — при тактовой частоте шины 33 МГц и разрядности 32/32 бит она обеспечивала пиковую пропускную способность 133 МиБ/с — столько же, сколько и VLB. Однако она была удобнее и, в конце концов, вытеснила шину VLB и на материнских платах для процессоров класса 486.

С появлением процессоров Pentium II и серьёзной заявкой PC на принадлежность к рынку высокопроизводительных рабочих станций, а также с появлением 3D-игр со сложной графикой стало ясно, что пропускной способности PCI в том виде, в каком она существовала на платформе PC (обычно частота 33 МГц и разрядность 32 бит), скоро не хватит на удовлетворение запросов системы. Поэтому фирма Intel решила сделать отдельную шину для графической подсистемы, несколько модернизировала шину PCI, обеспечила новой получившейся шине отдельный доступ к памяти с поддержкой некоторых специфических запросов видеоадаптеров и назвала это AGP (Accelerated Graphics Port — ускоренный графический порт). Разрядность шины AGP составляет 32 бит, рабочая частота — 66 МГц. Первая версия разъёма поддерживала режимы передачи данных 1x и 2x, вторая — 4x, третья — 8x. В этих режимах за один такт передаются соответственно одно, два, четыре или восемь 32-разрядных слов. Версии AGP не всегда были совместимы между собой в связи с использованием различных напряжений питания в разных версиях. Для предотвращения повреждения оборудования использовался ключ в разъёме. Пиковая пропускная способность в режиме 1x — 266 МиБ/с. Выпуск видеоадаптеров на базе шин PCI и AGP ничтожно мал, так как шина AGP перестала удовлетворять требованиям для мощности новых ПК, и, кроме того, не может обеспечить необходимую мощность питания. Для решения этих проблем создано расширение шины PCI — PCI Express версий 1.0, 1.1, 2.0, 2.1, 3.0 и новейший 4.0. Это последовательный, в отличие от AGP, интерфейс, его пропускная способность может достигать нескольких десятков Гб/с. На данный момент произошёл практически полный отказ от шины AGP в пользу PCI Express. Однако стоит отметить, что некоторые производители до сих пор предлагают видеоплаты с интерфейсами PCI и AGP — во многих случаях это достаточно простой путь резко повысить производительность морально устаревшего ПК в некоторых графических задачах.

### *Типы графических карт*

#### *Дискретные видеокарты*

Наиболее высокопроизводительный класс графических адаптеров. Как правило, подключается к высокоскоростной шине данных PCI Express. Ранее встречались видеокарты, подключаемые к шинам AGP (специализированная

шина обмена данных для подключения только видеокарт), PCI, VESA и ISA. Видеокарты подключаются через шину PCI Express, а все прочие типы подключений являются устаревшими. В компьютерах с архитектурой, отличной от IBM-совместимой, встречались и другие типы подключения видеокарт.

Дискретная карта не обязательно может быть извлечена из устройства (например, на ноутбуках дискретная карта часто распаяна на материнской плате). Она называется дискретной из-за того, что выполнена в виде отдельного чипа (или набора микросхем) и не является частью других компонентов компьютера (в отличие от графических решений, встраиваемых в чипы системной логики материнских плат или непосредственно в центральный процессор). Большинство дискретных видеокарт обладает своей собственной оперативной памятью (VRAM), которая часто может обладать более высокой скоростью доступа или более скоростной шиной доступа, чем обычная оперативная память компьютера. Хотя ранее встречались видеокарты, которые полностью или частично использовали основную оперативную память для хранения и обработки графической информации, видеокарты используют собственную видеопамять. Также иногда (но достаточно редко) встречаются видеокарты, оперативная память которых не установлена в виде отдельных микросхем памяти, а входит в состав графического чипа (в виде отдельных кристаллов или же на одном кристалле с графическим процессором).

Выполненные в виде отдельного набора системной логики, а не в составе других микросхем, дискретные видеокарты могут быть достаточно сложными и гораздо более высокопроизводительными, чем встроенная графика. Кроме того, обладая собственной видеопамятью, дискретные видеокарты не должны делить оперативную память с другими компонентами компьютера (в первую очередь с центральным процессором). Собственная оперативная память позволяет не тратить основное ОЗУ для хранения информации, которая не нужна центральному процессору и другим компонентам компьютера. С другой стороны, видеопроцессору не приходится ожидать очереди на доступ к оперативной памяти компьютера, к которой может в данный момент обращаться как центральный процессор, так и другие компоненты. Все это положительно сказывается на производительности дискретных видеокарт по сравнению со встроенной графикой. Такие технологии, как SLI от Nvidia и CrossFire от AMD позволяют задействовать несколько графических адаптеров параллельно для решения одной задачи.

### ***Встроенная графика Встроенный графический процессор***

Интегрированные графические адаптеры не имеют собственной памяти и используют оперативную память компьютера, что сказывается на производительности в худшую сторону. Хотя графические процессоры Intel Iris Graphics, начиная с поколения процессоров Broadwell, имеют в своём распоряжении 128 мегабайт кэша четвёртого уровня, остальную память они могут брать из оперативной памяти компьютера. Встроенные графические решения находят применение в портативных устройствах ввиду низкого энергопотребления. Их произ-

водительность уже на достаточно высоком уровне и позволяет играть в несложные трёхмерные игры.

Встроенные графические процессоры расположены на одном чипе с центральным процессором (например, Intel HD Graphics или Intel Iris Graphics), предыдущие поколения (например, Intel GMA) располагались в виде отдельного чипа.

### ***Гибридные решения***

Гибридные решения находят применение там где требуется и энергоэффективность, и высокая графическая производительность, позволяя использовать встроенный графический адаптер в повседневных задачах, и задействовать дискретный графический адаптер только там, где он нужен.

До появления гибридной графики производители встраивали в дополнение к встроенному дискретный адаптер, для переключения между ними требовалась перезагрузка, что было не очень удобным для пользователя. Гибридные адаптеры для вывода на экран используют только встроенный графический адаптер, но некоторые вычисления способны передавать дискретной графической карте, а не выполнять самим. Для пользователя переключение между видеоадаптерами становится незаметным. Примерами таких решений являются технология Optimus от Nvidia и DualGraphics от AMD.

### ***Технология GPGPU***

*GPGPU* (General-purpose computing for graphics processing units, неспециализированные вычисления на графических процессорах) — использование графического процессора видеокарты для параллельных вычислений. Графические адаптеры могут иметь до нескольких тысяч процессоров, что позволяет решать некоторые задачи на графических картах на порядок быстрее, чем на центральных процессорах. Приложения, использующие данную технологию пишутся с помощью таких технологий как OpenCL или CUDA (*Computer Unified Device Architecture-программно-аппаратная архитектура параллельных вычислений*).

### ***Внешняя видеокарта***

Под термином eGPU понимают дискретную графическую карту, расположенную вне компьютера. Может использоваться, например, для увеличения производительности в 3D приложениях на ноутбуках.

Как правило PCI Express является единственной пригодной шиной для этих целей. В качестве порта может использоваться ExpressCard, mPCIe (PCIe ×1, до 5 или 2.5 Гбит/с соответственно) или порт Thunderbolt 1, 2, или 3 (PCIe ×4, до 10, 20, или 40 Гбит/с соответственно).

В 2016 AMD предприняла попытку стандартизировать внешние графические процессоры.

**GeForce RTX 20 Series** — семейство графических процессоров NVIDIA, представленное 20 августа 2018 года в рамках конференции Gamescom. Чипы семейства GeForce RTX 20 основаны на новой архитектуре Turing, названной в честь английского математика, логика и криптографа Алана Тьюринга. Заявле-

но увеличение производительности до 6 раз в области трассировки лучей по сравнению с графическими процессорами предыдущего поколения. В продаже с 20 сентября 2018 года.

### *Архитектура*

Серия GeForce RTX 20 поддерживает трассировку лучей в реальном времени, которая реализована с помощью новых RT-ядер. Для увеличения детализации изображения используются решения на базе искусственного интеллекта.

Новые возможности в TU10x:

- RT-ядра (аппаратное ускорение трассировки лучей);
- Тензорные ядра (операции глубокого обучения, DLSS);
- Контроллер памяти с поддержкой GDDR6;
- Переработано внутреннее устройство SM, появилась возможность исполнять INT32 и FP32 команды в одном такте, что может значительно повысить производительность;
- Технология Mesh Shading;
- Уровень поддержки API DX12 значительно повышен;
- Увеличена производительность Vulkan API;
- Улучшена работа с асинхронными вычислениями из-за уменьшения задержек и разделения SM блоков;
- GPU Boost 4 — управление частотой и напряжением для разгона и Nvidia Scanner, система автоматического разгона;
- NVLink Bridge — для объединения двух видеокарт (замена интерфейса SLI), позволяющая повысить скорость обменов и получать доступ к видеопамяти обоих устройств;
- VirtualLink VR — стандарт одновременной передачи видеопотока и управляющих сигналов USB 3.1 через порт USB Type-C для уменьшения задержек в системах виртуальной реальности (замена HDMI). Подробные технические характеристики видеокарт представлены в таблице 3.4.

**Таблица 3.4 - Технические характеристики видеокарт**

| Модель                                       | RTX 2060   | RTX 2060 Super | RTX 2070   | RTX 2070 Super | RTX 2080   | RTX 2080 Super | RTX 2080 Ti | TITAN RTX  |
|--|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|-------------|------------|
| 1  | 2          | 3              | 4          | 5              | 6          | 7              | 8           | 9          |
| Дата выхода                                  | 15.01.2019 | 09.07.2019     | 17.10.2018 | 09.07.2019     | 20.09.2018 | 23.07.2019     | 20.09.2018  | 03.12.2018 |
| GPU  | TU106      |                |            | TU104          |            |                | TU102       |            |
| Технологический процесс изготовления         | TSMC 12-нм |                |            |                |            |                |             |            |
| Площадь кристалла, мм <sup>2</sup>           | 445        |                |            | 545            |            |                | 754         |            |
| Количество транзисторов, млрд                | 10,8       |                |            | 13,6           |            |                | 18,6        |            |
| Количество скалярных процессоров (ядер CUDA) | 1920       | 2176           | 2304       | 2560           | 2944       | 3072           | 4352        | 4608       |
| Количество тензорных ядер                    | 240        | 272            | 288        | 320            | 368        | 384            | 544         | 576        |

### Продолжение таблицы 3.4

|   |                    |         |             |         |             |              |              |             |
|---|--------------------|---------|-------------|---------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| Количество RT ядер                                | 30                 | 34      | 36          | 40      | 46          | 48           | 68           | 72          |
| Количество кластеров обработки графики (GPC)      | 3                  |         |             | 5       | 6           |              |              |             |
| Количество блоков мультипроцессоров (SM)          | 30                 | 34      | 36          | 40      | 46          | 48           | 68           | 72          |
| Количество текстурных блоков (TMU)                | 120                | 136     | 144         | 160     | 184         | 192          | 272          | 288         |
| Количество блоков растеризации (ROP)              | 48                 | 64      |             |         |             |              | 88           | 96          |
| Разрядность шины видеопамяти, бит                 | 192                | 256     |             |         |             |              | 352          | 384         |
| Стандарт видеопамяти                              | GDDR6              |         |             |         |             |              |              |             |
| Объём видеопамяти, ГБ                             | 6                  | 8       |             |         |             | 11           | 24           |             |
| Пропускная способность шины памяти, ГБ/с          | 336                | 448     |             |         |             | 492          | 616          | 672         |
| Интерфейс   | PCI Express 3.0x16 |         |             |         |             |              |              |             |
| Энергопотребление, Вт                             | 160                | 175     |             | 215     |             | 250          |              | 280         |
| Частота ядра, МГц                                 | 1365               | 1470    | 1410        | 1605    | 1515        | 1650         | 1350         |             |
| Реальная (эффективная) частота видеопамяти, МГц   | 1750 (14000)       |         |             |         |             | 1925 (15400) | 1750 (14000) |             |
| Производительность FP32, GFLOPS                   | 5241,6             | 6397,4  | 6497,2      | 8217,6  | 8920,3      | 10137,6      | 11750,4      | 12441,6     |
| Производительность FP64, GFLOPS                   | 163,8              | 199,9   | 203,0       | 256,8   | 278,7       | 316,8        | 367,2        | 388,8       |
| Производительность FP16, GFLOPS                   | 10483,2            | 12794,8 | 12994,4     | 16435,2 | 17840,6     | 20275,2      | 23500,8      | 24883,2     |
| Производительность тензорных ядер FP16, TFLOPS    | 41,9               |         | 51,9        |         | 71,3        |              | 94,0         | 99,5        |
| Производительность тензорных ядер INT8/INT4, TOPS | 83,8/167,7         |         | 103,9/207,9 |         | 142,7/285,4 |              | 188,0/376,0  | 199,0/398,1 |
| Производительность RT ядер, Giga Rays/s           | 5                  | 6       |             | 7       | 8           |              | 10           | 11          |
| 1   | 2                  | 3       | 4           | 5       | 6           | 7            | 8            | 9           |

### 3.5.2.3 Принтеры

Принтеры предназначены для вывода информации из ОЗУ на бумажный носитель (получение "твёрдой" копии) под управлением компьютера. Это наиболее развитая группа периферийных устройств.

Первые принтеры для ЭВМ создавались на базе обычных пишущих машинок, в которых управление печатью осуществлялось с помощью команд, полученных от компьютера. В ходе развития принтеров для качественной печати текста и графики был использован растровый принцип построения изображений (аналогично копировальным устройствам и мониторам).

Наиболее распространённые разновидности принтеров – это *струйные и лазерные* принтеры. Принтеры можно классифицировать по многим признакам.

Основными характеристиками принтеров являются:

- скорость печати;
- качество печати (количество печатных точек на дюйм);
- количество шрифтов;
- надёжность;
- продолжительность работы картриджа;
- возможность автоматической подачи бумаги.

**Струйные принтеры** формируют изображение микрокаплями чернил, которые "выстреливаются" на бумагу под высоким давлением с помощью специальных сопел размером в микроны, расположенных в печатающей головке. Струйные принтеры - это высокотехнологичные версии матричных печатающих устройств. Матрица печатающей головки, перемещающаяся относительно неподвижной бумаги, обычно содержит от 12 до 64 сопел.

Для формирования микрокапель используется либо пьезоэлектрический эффект, либо термическая "пузырьковая" технология. В пьезоэлектрических печатающих головках капля "выстреливается" на бумагу при прогибе пьезопластины под воздействием импульса электрического тока. Пьезоэффект широко используется в принтерах фирмы EPSON.

В пузырьковой головке капля выстреливается под давлением пузырька пара, возникающего при мгновенном закипании чернил, разогретых резистором. Резистор изготавливается по тонкоплёночной технологии. Каждый резистор представляет собой квадрат со стороной 30 - 70 мкм (на площадке 4 см<sup>2</sup> можно поместить до 300 тысяч таких резисторов).

Разрешающая способность таких принтеров может достигать 1440 точек на дюйм вдоль и поперёк листа бумаги. Скорость печати до 500 знаков в секунду. В цветных струйных принтерах предусмотрено два картриджа. Один картридж содержит чёрные чернила, второй - цветные.

Среди достоинств струйного принтера можно назвать высокое качество печати, в особенности цветной, при приемлемой цене.

Недостатком струйных принтеров (в сравнении с лазерными принтерами) является повышенный шум во время печати поскольку печатающий механизм, как и в матричном принтере, постоянно перемещается по всей ширине листа. Другими недостатками струйных принтеров являются повышенное требование к уходу из-за возможности засорения сопел, а также дороговизна картриджей. Ведущими фирмами в разных ценовых категориях являются: EPSON, CANON, HEWLETT PACKARD.

**Лазерные принтеры** при создании изображения на бумаге используют мельчайшие сухие частицы (тонер).

Для формирования изображения применяется электрографический способ (по принципу ксерографии). Сначала невидимое изображение формируется на вращающемся заряженном светочувствительном барабане с помощью луча лазера. При этом система управления лазером обеспечивает его возвратно-поступательное линейное перемещение по заданной программе. Участки, на



которые воздействовал луч лазера, оказываются разряжёнными. При проявлении невидимого электронного изображения порошок тонера налипает на эти участки. Печать выполняется переносом тонера с барабана на бумагу и закреплением изображения на бумаге разогревом тонера до его расплавления.

Принтер снабжён собственным процессором, который преобразует посланные компьютером коды в растр распечатываемого изображения. Это преобразование аналогично работе видеоадаптера, формирующего растровое изображение на экране монитора. Предусмотрена также оперативная память объёмом до 4 Мбайт и более.

Разрешающая способность лазерного принтера порядка 1200 точек на дюйм. Скорость монохромной печати - до 20 страниц формата А4 в минуту. Наиболее широкое применение нашли чёрно-белые лазерные принтеры, т.к. цветные лазерные принтеры чрезвычайно дороги.

У лазерных принтеров практически нет недостатков. Тонер для них достаточно дешёв, скорость печати может быть гораздо выше, чем у струйных принтеров и достигать до 1000 знаков в минуту, качество изображения практически типографское. К тому же лазерные принтеры почти бесшумны. Цена на монохромные (чёрно-белые) лазерные принтеры сравнима с ценой на струйные принтеры.

### **3.5.2.4 Плоттеры**

Графопостроители (плоттеры) - это устройства вывода графической информации в виде твёрдых копий на бумажные или некоторые другие виды носителей.

Классифицировать плоттеры можно по нескольким признакам. По способу формирования копий можно выделить: перьевые, струйные, лазерные. По принципу построения изображения: векторные и растровые. По конструкции: планшетные, рулонные.

В плоттерах векторного типа пишущий элемент перемещается по двум (планшетное исполнение) или по одной (барабанное исполнение) координате. Типичный представитель - перьевой плоттер.

В плоттерах растрового типа используется принцип создания изображения заполнением поверхности твёрдой копии точками красителя. К ним относятся струйные, лазерные и ряд других плоттеров.

Перьевые плоттеры (ПП) являются электромеханическими устройствами. В ПП планшетного типа бумага (носитель) неподвижна, перо (пишущий узел) перемещается по двум координатам по всей плоскости изображения. Они обеспечивают высокую точность вывода информации, но занимают большую площадь. Применяются для вывода чертежей формата А3. Поэтому при выводе информации на большие форматы (А1, А0) доминируют барабанные (рулонные) плоттеры. Эти плоттеры более компактны и удобны в работе. Они обеспечивают точность, удовлетворяющую требованиям подавляющего большинства задач. Эти плоттеры позволяют отрезать от рулона лист необходимого размера автоматически, а также выводить чертежи очень большой длины (более 10 м).

Бумага перемещается транспортным валом за счёт сил трения. Перо может быть в виде одноразовых или заправляемых фломастеров, а также в виде автоматически выдвигаемых цанговых карандашей.

Достоинством ПП является высокое качество изображения.

Недостаток - низкая скорость вывода изображения и повышенный уровень шума.

Струйные плоттеры (СП) используют ту же технологию печати, что и струйные принтеры. При этом наибольшее распространение получила пузырьковая технология нанесения микрокапель чернил на носитель. Достоинствами этой технологии являются: возможность расположения сопел очень близко друг к другу (это увеличивает разрешающую способность); высокая надёжность и отсутствие шума при работе печатающей головки.

Струйные плоттеры обеспечивают достаточно высокую производительность при разрешении для чёрно-белого варианта 600 x 300 точек на дюйм. Выводимая информация сначала помещается в буфер (стандартный объём 4 Мбайт), затем передаётся на вычерчивание.

Для создания полноцветных изображений используется трёх- или четырёхцветная печатающая головка. Цветные СП имеют меньшую разрешающую способность.

Лазерные плоттеры (ЛП) обладают наибольшей производительностью. Лист формата А1 выводится на современных ЛП меньше чем за полминуты.

В первых конструкциях ЛП создание лазером скрытого изображения на барабане осуществлялось с помощью сложной оптико-механической системы. Эта система требовала тончайшей настройки, которая сбивалась при сотрясениях и ударах. При дальнейшем совершенствовании плоттеров вместо сложной оптико-механической системы управления лазерным лучом были применены линейки (гребёнки) точечных полупроводниковых светодиодов (LED), расположенных вдоль образующих печатающего барабана. Это сделало всю систему проще, легче и надёжнее.

Лазерные и LED-плоттеры удобно использовать как сетевые устройства. Достоинством их является то, что они могут работать на обычной бумаге. Недостаток - относительно высокая цена и монохромное изображение.

### **3.5.3 Устройства ввода информации и управления**

Основным устройством ввода символьной информации в компьютер является клавиатура. Клавиатура обеспечивает также ввод команд управления в ПК.

Для ввода графической информации используются сканеры и планшеты (дигитайзеры).

Для дистанционного управления курсором используется мышь и шаровой манипулятор (Trackball).

В компьютерных играх в качестве устройства управления используются джойстики.

К менее распространённым устройствам ввода информации относятся световое перо, сенсорный экран и др.

### 3.5.3.1 Клавиатура

Клавиатура – это унифицированное устройство ввода со стандартным разъёмом и последовательным интерфейсом связи с системной платой.

Последовательный интерфейс - это канал передачи данных между внешним устройством и компьютером, в котором данные передаются последовательно, один бит за другим.

Клавиатура подключается к компьютеру через разъём PS/2 или USB.

В настоящее время наибольшее применение нашла клавиатура со 101 клавишей.

Рассмотрим основные группы клавиш клавиатуры.

Алфавитно-цифровые клавиши расположены в средней части клавиатуры. Они обеспечивают ввод цифр, букв и знаков пунктуации. Большинство клавиатур относится к типу QWERTY (по расположению первого ряда буквенных клавиш латинского алфавита). Для русского алфавита порядок следования первых шести буквенных клавиш - ЙЦУКЕН (стандарт пишущих машинок с русским шрифтом).

Функциональные клавиши расположены в верхнем ряду клавиатуры и обозначены от F1 до F12. В большинстве программ клавиша F1 связана с вызовом подсказки (HELP). Остальные клавиши программируются и для каждого программного продукта имеют свое назначение.

Клавиши управления курсором включают, прежде всего, 4 клавиши - стрелки (на клавиатуре - внизу справа).

Над ними находятся еще шесть клавиш управления курсором, предназначенные для просмотра и редактирования текста. Это клавиши <INSERT>-вставка, <DELETE> - удаление, <HOME> - в начало, <END> - в конец, <PgUp> - на страницу вверх и <PgDn > - на страницу вниз. Кроме того, курсором можно управлять с помощью вспомогательных цифровых клавиш, которые расположены в правой части клавиатуры.

Вспомогательные цифровые клавиши включают, прежде всего, цифры от 0 до 9 и знаки арифметических операций. Режим ввода цифр и математических знаков работает после нажатия клавиши <NUM LOCK> и загорания лампочки индикатора NUM LOCK. Для перехода в режим редактирования с помощью этой же группы клавиш необходимо повторно нажать клавишу <NUM LOCK>. При этом лампочка индикатора NUM LOCK погаснет.

Кроме того, можно выделить несколько клавиш, которые можно назвать клавишами состояния. Так, клавиша <Shift> позволяет менять регистры печати. Например, при нажатой клавише будут выводиться прописные буквы, при опущенной клавише - строчные буквы. Клавиша <Ctrl> используется с другими клавишами, изменяя их действие. Например, при одновременном нажатии клавиши <Ctrl> и клавиши <C> (обычно говорят «нажмите <Ctrl + C>») даётся команда на прекращение работы выполняемой программы. Иногда сочетание <Ctrl + Alt> используется для перехода с ввода латинских букв на ввод кирил-

лицы и наоборот. Применение клавиши <Alt> аналогично применению клавиши <Ctrl>.

Рассмотрим назначение ещё нескольких важных клавиш. Клавиша <ENTER> осуществляет ввод информации. Обычно эта клавиша дублируется в дополнительной цифровой клавиатуре и используется для быстрого ввода чисел. При работе с диалоговыми окнами, в которых есть кнопка  нажатие <ENTER> обычно выполняет то же действие, что и щелчок на кнопке .

Клавиша <ESC> служит для отказа от выполняемой команды. Клавиша <TAB> иногда обозначается двумя противоположными стрелками <⇔>. В диалоговых окнах она служит для перехода от одного поля к другому. В текстовых процессорах клавиша <TAB> используется для абзацных отступов.

Комбинация клавиш <CTRL+ALT+DELETE> применяется для перезагрузки операционной системы.

Для работы с Windows фирма Microsoft добавила три дополнительные клавиши, расположив их по обеим сторонам от клавиши пробела. Такую клавиатуру называют иногда расширенной клавиатурой со 104 клавишами. Две одинаковые клавиши <Windows> (правая и левая) открывают меню "Пуск". Кроме того, они используются в комбинации с клавишами <D>, <E>, <F>, <R> для быстрого включения некоторых функций Windows [11]. Третья клавиша - это клавиша контекстного меню, которая отображает на экране контекстное меню для выбранного элемента. Её нажатие аналогично щелчку правой кнопки мыши на выбранном элементе.

Беспроводная клавиатура имеет интерфейс инфракрасного порта. Наибольшее удаление клавиатуры от системного блока в этом случае не должно превышать двух метров.

Существуют и другие типы клавиатур среди которых можно выделить следующие:

- интернет-клавиатура, обладающая дополнительными клавишами, облегчающими взаимодействие с программами просмотра Интернета;
- встроенная клавиатура, являющаяся неотъемлемым атрибутом ноутбуков;
- беспроводная клавиатура не подключается к компьютеру проводом, вместо этого взаимодействие с системным блоком происходит по одному из беспроводных протоколов (IrDA, Wi-Fi или Blue Tooth).

### 3.5.3.2 Мышь

По мере развития компьютерной техники и программного обеспечения, особенно с появлением графических оконных оболочек, крайне актуальным стали указывающие устройства, позволяющие задавать определённые точки или объекты на экране, выбирать (путём щелчка), а также захватывать и перемещать экранные объекты (окна). Наиболее распространённым указывающим устройством сегодня является мышь.

Мышь - это ручной манипулятор, позволяющий оптимизировать работу с программами, имеющими развитый графический интерфейс. Это, прежде всего, относится к такой операционной системе, как Windows. Применение мыши при

работе с современными программными пакетами графических редакторов, САПР и др. позволяет исключить непроизводительное многократное нажатие некоторых клавиш.

Принципиальное устройство мыши основано на преобразовании вращательного движения шара по двум осям через специальные датчики в серию цифровых импульсов, передаваемых в компьютер. Шарик мыши при катании по коврику передаёт вращение двум роликам, оси которых взаимно перпендикулярны. Вращение роликов фиксируется цифровыми датчиками. Кроме того, на мыши предусмотрены две или три кнопки. Нажатие на эти кнопки преобразуется в сигналы, передаваемые в ПК.

По принципу действия большинство распространённых в настоящее время мышей относится к классу оптико-механических.

В последнее время мыши, кроме кнопок, снабжаются одним или двумя колёсиками для управления скроллингом (прокруткой). Мышь с двумя колёсиками может управлять полосой прокрутки, как по горизонтали, так и по вертикали.

По способу передачи данных в компьютер мыши делятся на проводные и беспроводные. Большинство мышей подключается к компьютеру с помощью тонкого многоканального кабеля. Однако наличие провода на рабочем столе создаёт значительные неудобства. При работе с беспроводной мышью связь с компьютером осуществляется через специальный приёмник. Для связи с приёмником применяются либо инфракрасные лучи, либо радиоволны высокой частоты. Максимальное удаление мыши от приёмника до 4 метров.

Сообщения о движении, передаваемые мышью в компьютер, не содержат информации об абсолютных координатах расположения мыши. Чувствительность мыши (разрешающая способность) зависит от минимального расстояния, которое могут зафиксировать ролики и цифровые датчики мыши. Чем больше разрешающая способность, тем выше цена мыши.

Альтернативой манипулятору мышь является трекбол. Это, по сути, та же мышь, перевёрнутая вверх ногами. При этом управление курсором производится вращением шарика довольно большого размера, а само устройство остаётся неподвижным. Прокручивая шар в разных направлениях, пользователь перемещает указатель на экране.

Трекболу не требуется свободное пространство на рабочем столе. В этом - одно из его основных достоинств. К недостаткам трекбола следует отнести сложность одновременного управления кнопками и шариком.

### **3.5.3.3 Графические планшеты**

Графический планшет (дигитайзер) - это периферийное устройство, служащее для оцифровки чертежей и рисунков. Основное назначение дигитайзера в системах автоматизированного проектирования - ввод в компьютер чертежей. На плоскости планшета располагаются цифровые датчики, которые реагируют на прикосновение. Чертёж закрепляется на планшете. При прикосновении пером (или другим управляющим приспособлением) к точкам чертежа цифровые

датчики дигитайзера фиксируют координаты этих точек. Таким образом, происходит оцифровка чертежа. В компьютер посылается набор координат, однозначно определяющих вводимую графическую информацию.

Современные дигитайзеры позволяют оцифровать чертежи форматом до А0. Например, дигитайзер модели CalComp DrawingBoard III, 34480-N4 А0 имеет планшет размером 914 x 1219 мм, точность 0,1 мм.

С появлением графических редакторов, имитирующих "живое" рисование, и мощных САПР графические планшеты стали использовать для свободного рисования и черчения. Дизайнеры, художники и компьютерные инженеры используют в своей работе дигитайзеры профессионально, применяя те же приемы работы, как с карандашом и бумагой.

Управляющее приспособление в виде беспроводного многокнопочного курсора (до 16 кнопок) и беспроводного пера способно заменить целый набор кистей, красок и т. п.

Выпускаются также и непрофессиональные компактные модели дигитайзеров, доступные среднему пользователю.

### **3.5.3.4 Сканеры**

Сканером называется устройство, позволяющее вводить в компьютер образы изображений, представленных в виде текста, рисунков, слайдов, фотографий или другой графической информации. Сканеры, прежде всего, можно классифицировать по следующим признакам. Во-первых, по принципу подачи документа (механизму движения): планшетные, рулонные (протяжные) и ручные. Во-вторых, по типу вводимого изображения - на черно-белые и цветные. В-третьих, по степени прозрачности вводимого оригинала изображения на две группы: для работы с непрозрачными оригиналами; для работы с прозрачными оригиналами. С чертежами, страницами текста, рисунками, фотографиями (непрозрачными оригиналами) сканер работает в отраженном свете. Со слайдами и негативами (прозрачными оригиналами) - в проходящем свете.

Определяющим фактором для механизма движения является способ перемещения считывающей головки сканера и бумаги относительно друг друга.

Ручные сканеры конструктивно самые простые. Их необходимо вручную перемещать по оригиналу. Ширина захвата обычно не превышает 105 мм. Несмотря на малые габариты и низкую стоимость, имеют ограниченное применение, так как получить качественный результат очень трудно. Рулонные сканеры работают только с листовыми оригиналами. При этом оригинал автоматически перемещается относительно неподвижной сканирующей головки. Для удобства работы такие сканеры оснащаются устройствами для автоматической подачи оригиналов.

Планшетные сканеры являются наиболее распространенными. В них сканирующая головка перемещается относительно оригинала автоматически с помощью шагового двигателя. Преимуществом планшетного сканера является возможность сканирования и листовых и сброшюрованных (книг, журналов) документов. Скорость сканирования одной страницы (формат А4) от 2 до 10

сек. Управление процессом сканирования осуществляется с помощью мыши и клавиатуры - при работе с одной из специальных программ, поставляемых вместе со сканером.

Существуют еще проекционные настольные сканеры, напоминающие по внешнему виду фотоувеличитель. Внизу лежит сканируемый документ (изображением вверх), а сверху находится сканирующая головка. Принцип сканирования - оптический. После обработки полученная информация в виде файла вводится в память компьютера.

Все сканеры работают в растровом формате представления графической информации. При этом файл полученного изображения нельзя редактировать средствами стандартных текстовых и графических процессоров, так как эти процессоры не работают с мозаичным представлением информации.

Для сканирования чертежей применяются черно-белые штриховые сканеры, которые работают только в двухуровневом режиме, воспринимая или черный, или белый цвет. Существуют черно-белые полутоновые сканеры, которые воспринимают оттенки серого цвета. Разрешающая способность современных сканеров - 400-800 точек на дюйм. Следует помнить, что растровое изображение требует большого объема памяти для своего хранения. Так, один лист документа формата А4 (штриховое изображение) занимает около 1 Мбайта памяти.

### 3.5.4 Устройства обмена данными

**Модем.** Устройство, предназначенное для обмена информацией между удаленными компьютерами по каналам связи, принято называть модемом (МОдулятор + ДЕМОдулятор). При этом под каналом связи понимают физические линии (проводные, оптоволоконные, кабельные, радиочастотные), способ их использования (коммутируемые и выделенные) и способ передачи данных (цифровые или аналоговые сигналы). В зависимости от типа канала связи устройства приема-передачи подразделяют на радиомодемы, кабельные модемы и прочие. Наиболее широкое применение нашли модемы, ориентированные на подключение к коммутируемым телефонным каналам связи.

Цифровые данные, поступающие в модем из компьютера, преобразуются в нем путем модуляции (по амплитуде, частоте, фазе) в соответствии с избранным стандартом (протоколом) и направляются в телефонную линию. Модем-приемник, понимающий данный протокол, осуществляет обратное преобразование (демодуляцию) и пересылает восстановленные цифровые данные в свой компьютер. Таким образом обеспечивается удаленная связь между компьютерами и обмен данными между ними.

К основным потребительским параметрам модемов относятся:

- производительность (бит/с);
- поддерживаемые протоколы связи и коррекции ошибок;
- шинный интерфейс, если модем внутренний (*ISA* или *PCI*).

От производительности модема зависит объем данных, передаваемых в единицу времени. От поддерживаемых протоколов зависит эффективность вза-

имодействия данного модема с сопредельными модемами (вероятность того, что они вступят во взаимодействие друг с другом при оптимальных настройках). От шинного интерфейса в настоящее время пока зависит только простота установки и настройки модема (в дальнейшем при общем совершенствовании каналов связи шинный интерфейс начнет оказывать влияние и на производительность).

### **3.6 Комплексы технических средств**

Под комплексом технических средств САПР (КТС САПР) понимают объединение отдельных ЭВМ в сетевую или иерархическую структуру для решения поставленных задач.

#### **3.6.1 Принципы построения и виды КТС**

Развитие КТС прошло путь от одноуровневых и однопользовательских систем на основании универсальных ЭВМ до многоуровневых и многопользовательских систем и локальных вычислительных сетей (ЛВС).

К основным принципам построения КТС можно отнести:

- создание удобств для пользователя (дружественный диалог);
- специализация (объединения ЭВМ с учетом специфики проектных задач);
- обеспечение равномерной загрузки вычислительных средств; разделение ресурсов вычислительной системы между пользователями; совместимость аппаратных средств.

Разнообразные конфигурации КТС можно разделить на две основные группы: централизованные и распределенные.

Централизованные системы могут быть реализованы в двух вариантах: традиционная схема и многопользовательская система.

Традиционная схема включает центральную ЭВМ и несколько "неинтеллектуальных" терминалов, подсоединенных к этой ЭВМ. В состав "неинтеллектуального" терминала входят клавиатура и дисплей без процессора и накопителей для хранения информации. Назначение такого терминала - ввод и вывод (на экран дисплея) информации. Обработка информации ведётся на мощной центральной ЭВМ (mainframe). Обычно терминалы находятся в отдельном помещении (дисплейном зале), изолированном от шумного машинного зала, где работает центральная ЭВМ.

Многопользовательская система отличается от традиционной схемы тем, что в качестве терминалов используются недорогие ПК. При этом пользователь может работать как в автономном режиме, так и получать доступ к ресурсам центральной ЭВМ. Для этого необходимы дополнительные аппаратные программные средства, обеспечивающие связь ПК и центральной ЭВМ.

Многопользовательская система может быть построена также на основе мощного ПК. В этом случае система включает в себя центральный (мощный) ПК, терминальные ПК, коммуникационную плату, соединительный кабель и



многопользовательскую операционную систему. Коммуникационная плата может содержать процессор, управляющий обменом данными между центральным ПК и терминальными ПК. Это повышает эффективность системы.

### 3.6.2 Локальные вычислительные сети

Под распределенными КТС понимают компьютерные сети, в частности локальные вычислительные сети. Локальная вычислительная сеть (ЛВС) объединяет, как правило, абонентов одной организации (предприятия, фирмы и т.д.), расположенных в пределах небольшой территории [15]. В нее может входить до десятка и даже сотен ЭВМ, расстояние между которыми может быть от нескольких метров до 8-10 километров. Основное назначение ЛВС - предоставление информационных вычислительных ресурсов подключенным к ней пользователям. ЛВС можно рассматривать как совокупность серверов и рабочих станций.

**Рабочая станция** - это ПК, который должен иметь помимо стандартной архитектуры сетевую карту, сетевую операционную систему (ОС), специальное программное обеспечение. Через рабочую станцию пользователь получает доступ к ресурсам ЛВС. При этом сохраняется возможность работы в автономном режиме.

**Сервер** - это компьютер, подключенный к сети, который обеспечивает ее пользователей определенными услугами. К этим услугам относятся: хранение данных, обмен информацией, печать на принтере и графопостроителе и др.

Сервер - это источник ресурсов сети. Сервер может быть выделенным, если он предназначен только для обслуживания сети, или совмещенным, если используется для обслуживания сети и в качестве рабочей станции.

Выделенный сервер называют иногда файл-сервером. Он должен иметь большую емкость оперативной памяти, жесткие диски большой емкости и дополнительные накопители на магнитной ленте (стриммеры).

Если в ЛВС нет выделенного сервера, то такая сеть называется одноранговой сетью. В ней сетевая операционная система распределена по всем рабочим станциям. Каждая рабочая станция может обслуживать запросы от других рабочих станций и направлять свои запросы на обслуживание в сеть. Каждому пользователю сети доступны все устройства, подключенные к другим станциям.

Низкая стоимость и высокая надежность являются достоинствами одноранговых сетей.

Недостатки этих сетей связаны, прежде всего, со сложностью управления сетью и с трудностью защиты информации. Кроме того, существуют ограничения на число рабочих станций в сети.

В сети с выделенным сервером одному из компьютеров (серверу сети) поручены функции управления сетью и хранения данных. На нем устанавливается сетевая операционная система. Все разделяемые внешние устройства (жесткие диски, плоттеры, принтеры и модемы) подключаются к серверу сети. Возмож-

ности выделенного сервера определяют быстродействие и надежность такой сети.

Эти сети свободны от недостатков одноранговых сетей, но являются более дорогими и имеют меньшую гибкость по сравнению с ними. Кроме рабочих станций и серверов в состав ЛВС входят сетевая операционная система, кабели, сетевая карта и другие аппаратные средства. Кабель определяет физическую среду передачи информации между абонентами сети. Можно выделить 3 типа кабелей: витая пара проводов, коаксиальный кабель, оптоволоконный кабель.

**Витая пара** - самый дешевый вариант кабеля - получила своё название от того, что внутри такого кабеля каждая пара изолированных проводов скручена с большим шагом (причём с разным). Подобная конструкция кабеля позволяет обеспечить хорошую помехозащищённость. Однако скорость передачи данных низкая - до 1 Мбит/с. Стандартный кабель содержит в себе 4 витые пары (то есть 8 проводников), что соответствует количеству контактов в разъёме 8P8C, используемому для подключения кабеля к сетевому адаптеру. Есть несколько категорий и типов кабеля «витая пара», отличающихся друг от друга максимальной пропускной способностью [8].

Кабели типа «витая пара» могут быть экранированными или неэкранированными. Лучшей помехозащищённостью обладает экранированный кабель. Чаще всего витая пара применяется при построении звездообразной топологии.

**Коаксиальный кабель** представляет собой кабель с медной жилой в центре в толстой изоляционной оболочке с экранирующей оплёткой. Изначально кабели такого рода были предназначены для передачи сигналов радиочастоты (таким, например, является кабель телевизионной антенны). Кабель, применяемый в компьютерных сетях, внешне напоминает телевизионный, но его технологические параметры (например, волновое сопротивление) другие, поэтому эти два кабеля не являются взаимозаменяемыми [8].

Коаксиальный (телевизионный) кабель обладает более высокой помехозащищённостью и обеспечивает скорость передачи данных - до 50 Мбит/с.

Передача данных через **оптоволоконный кабель** происходит посредством световых импульсов. Принцип действия оптоволоконного кабеля основан на способности света распространяться в некоторых средах, практически не теряя интенсивности, если в среде отсутствует преломление, а есть только отражение (то есть нет выхода сигнала за границы среды) [8].

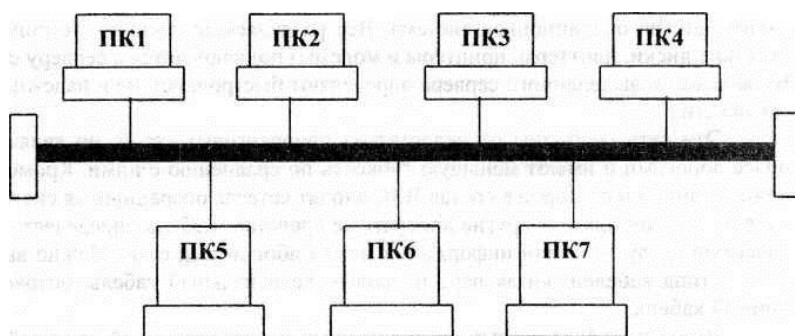
Оптоволоконный кабель является идеальной передающей средой, т.к. не воспринимает помехи и сам практически не имеет излучения, что обеспечивает секретность передаваемой информации. Скорость передачи данных до 2 Гбит/с. По сравнению с предыдущими кабелями оптоволоконный кабель более дорог и менее технологичен в эксплуатации.

**Сетевая карта**, или *сетевой адаптер* обеспечивает взаимодействие процессора и сети. Сетевая карта – это устройство, которое вставляется в свободный слот материнской платы компьютера и имеет разъём для подключения витой пары или коаксиального кабеля. Некоторые сетевые карты оснащены разъёмами обоих типов. Модель сетевой карты определяется топологией сети. С помощью специального устройства (конвертора) к сетевой карте подсоединяет-

ся кабель. Каждая сетевая карта имеет уникальный адрес, по которому посланные данные находят соответствующий компьютер сети.

Топология сети - это взаимное расположение узлов ЛВС и способ соединения между ними. Для ЛВС существуют 3 типичные топологии: шинная, кольцевая и звездообразная [8].

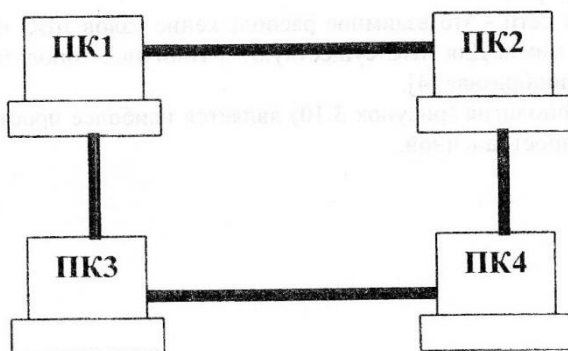
Шинная топология (рисунок 3.10) является наиболее простой и поэтому наиболее распространенной.



**Рисунок 3.10 - Шинная топология**

Персональные компьютеры (рабочие станции) через определенные интервалы подсоединены к кабелю (шине). Данные от передающего ПК сети распространяются по шине в обе стороны. Информация поступает на все ПК, но принимает данные только тот, которому они адресованы. Передачу ведет только один ПК. Неисправность отдельных ПК не отражается на работе остальных. На концах кабеля для поглощения отраженного сигнала устанавливаются заглушки-терминаторы. Следует отметить, что сети с шинной топологией имеют малую протяженность.

При кольцевой топологии (рис.3.11) компьютеры с помощью кабелей соединены в замкнутое кольцо. Выход одного ПК соединен с входом другого ПК.

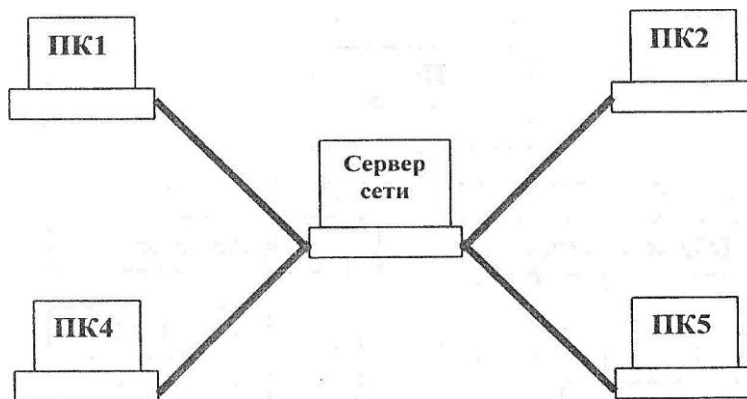


**Рисунок 3.11 – Кольцевая топология**

Адресованная принимающему компьютеру информация передается по кольцу. Она распознается и воспринимается только принимающим компьютером. Компьютеры, расположенные между передающим и принимающим ПК,

ретранслируют (усиливают) посланное сообщение. Выход из строя одного ПК приводит к поломке сети.

Звездообразная топология (рисунок 3.12) применяется, например, в сети с выделенным сервером. Роль центрального устройства играет сервер сети, к которому линиями связи (кабелями) подключаются все ПК.



**Рисунок 3.12** - Звездообразная топология

Вся информация передается через сервер сети, который управляет информационными потоками в сети. Простота взаимодействия между ПК в сети позволяет использовать более простые сетевые карты. Выход из строя одного из ПК не отражается на работе сети.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Техническое обеспечение САПР. Дайте определение. Назовите центральные и периферийные технические средства.
2. Перечислите функции, выполняемые техническими средствами САПР.
3. Перечислите основные поколения компьютеров. Дайте их краткую характеристику.
4. Назовите группы на которые делятся ЭВМ по своим размерам и функциональным возможностям.
5. Какие компьютеры называются «мэйнфрейм»? Назовите сферу их использования.
6. Дайте характеристику малым ЭВМ (Мини-ЭВМ). Назовите области их применения.
7. Перечислите существующие разновидности микроЭВМ по уровню специализации.
8. Приведите классификацию компьютеров по типоразмерам и совместимости.
9. Какое оборудование находится внутри системного блока персонального компьютера?
10. Что такое микропроцессор персонального компьютера и для чего он предназначен? Что понимается под разрядностью микропроцессора?

11. Какими факторами определяется быстродействие персонального компьютера?
12. Назовите основные типы внутренней памяти современного компьютера?
13. Каково назначение регистровой памяти и КЭШ-памяти в составе внутривидеопроцессорной памяти?
14. Какие существуют рекомендации по выбору необходимого объёма оперативной памяти при покупке нового компьютера?
15. Назовите основные характеристики модулей оперативной памяти.
16. Назовите назначение комплекта программ, находящихся в постоянном запоминающем устройстве, образующих базовую систему ввода-вывода (BIOS). На какие основные типы подразделяются микросхемы BIOS?
17. Какие компоненты персонального компьютера размещены на материнской (системной) плате?
18. Назовите основные характеристики системных шин PCI, FSB и USB на материнской плате.
19. На какие устройства подразделяются периферийные устройства персонального компьютера?
20. В каких случаях возникает необходимость во внешних устройствах хранения данных?
21. Назовите основные характеристики твердотельных накопителей SSD. В чём их отличие от жёстких дисков HDD?
22. Твердотельные накопители RAM SSD. Их достоинства и недостатки.
23. Назовите преимущества SSD-накопителей с использованием технологии 3D XPoint.
24. Компакт диски CD-ROM, CD-R и CD-RW. Назовите их назначение, достоинства и недостатки.
25. Диски DVD-ROM и DVD-RAM. Укажите сферу их применения, преимущества и недостатки.
26. USB-флэш-накопители. Назовите их основное назначение. В чём их преимущества?
27. Blu-ray диски. Назовите их технические особенности. Укажите их вариации и размеры.
28. Назовите технические особенности Blu-ray дисков. Лазер и оптика. Технология твёрдого покрытия. Кодеки.
29. Назовите основные устройства вывода информации персонального компьютера.
30. Дайте классификацию компьютерных мониторов: по размерности отображения, по типу видеоадаптера, по количеству отображаемых цветов, по виду управляющего видеосигнала.
31. Объясните принцип работы плоских жидкокристаллических мониторов и мониторов с плазменной панелью.
32. Назовите основные потребительские параметры мониторов персональных компьютеров и дайте краткую характеристику каждому параметру.

33. Для чего служит видеоадаптер? Что понимается под «разрешением экрана»?
34. Объясните понятие «графический ускоритель». Какие функции выполняют эти ускорители?
35. 3D-ускорители. Для чего они служат? Охарактеризуйте профессиональные видеоускорители.
36. Как устроены современные видеокарты? Из каких частей они состоят?
37. Назовите наиболее распространённые разновидности принтеров. Дайте их основные характеристики.
38. Поясните принципы работы струйных и лазерных принтеров. Назовите их достоинства и недостатки.
39. Для чего служат графопостроители (плоттеры). Какие бывают плоттеры по способу формирования копий, по принципу построения изображения и по конструкции.
40. Перечислите устройства ввода информации и управления в персональном компьютере.
41. Назовите основные группы клавиш клавиатуры персонального компьютера. Какие типы клавиатур вы знаете?
42. Мышь и трекбол. В чём заключается принципиальное устройство этих основных указывающих средств персонального компьютера?
43. Для чего служат графические планшеты (дигитайзеры)? В чём заключается принцип их работы?
44. Для чего предназначены сканеры? По каким признакам классифицируются сканеры?
45. Модем. Его предназначение и принцип работы. Основные потребительские параметры модема?
46. Назовите основные принципы построения и виды комплекса технических средств (КТС).
47. Локальные вычислительные сети (ЛВС). Основное назначение.
48. Рабочие станции и серверы в составе ЛВС. Дайте им краткую характеристику.
49. Кабель типа «витая пара», коаксиальный кабель, оптоволоконный кабель. Охарактеризуйте их особенности.
50. Что такое «топология сети»? Назовите типичные топологии. Как в них передается информация и назовите принципиальные отличия между ними.

## ГЛАВА 4 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР

Логический интерфейс аппаратной среды с пользователем реализуется с помощью программного обеспечения (программ).

**Программа** - это упорядоченная последовательность команд, подлежащих обработке, для решения задач. **Программное обеспечение (ПО) САПР** - это совокупность программ, обеспечивающих необходимый порядок выполнения операций проектирования, реализуемых аппаратными средствами. ПО САПР можно разделить на две части: общесистемное ПО и прикладное ПО (рисунок 4.1).



Рисунок 4.4 - Состав программного обеспечения САПР

### 4.1 Общесистемное программное обеспечение

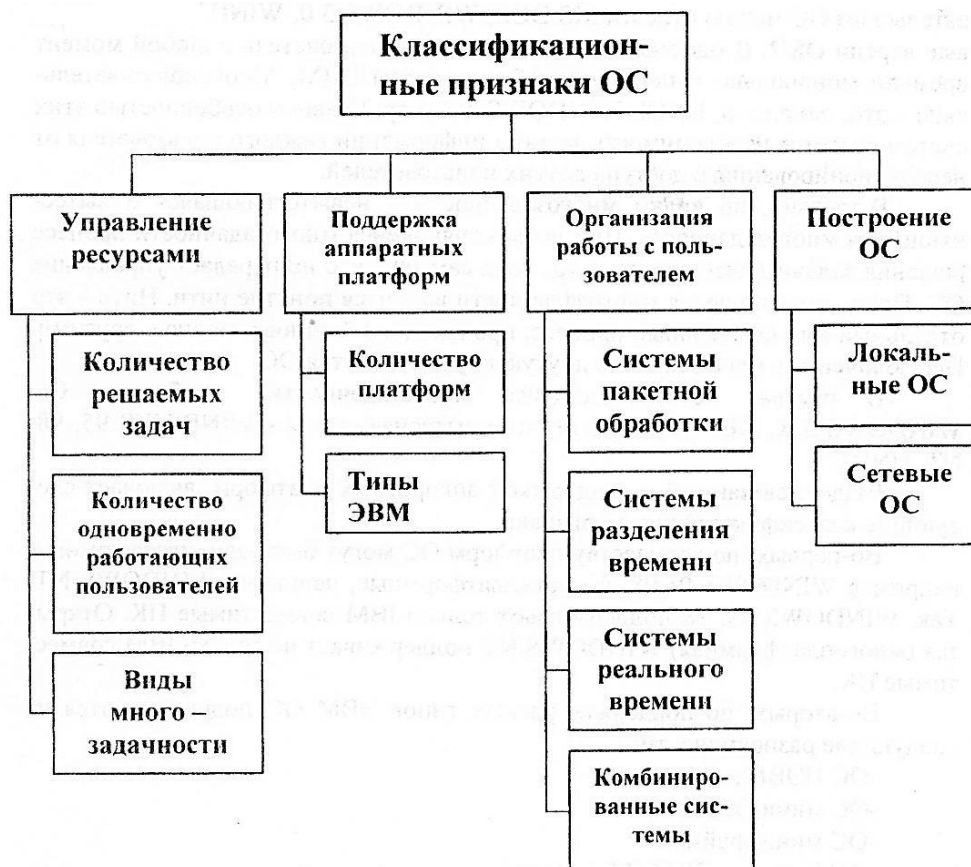
Общесистемное программное обеспечение носит универсальный характер и не отражает специфики САПР. В состав общесистемного ПО входят:

- операционная система (ОС);
- операционные оболочки;
- системы программирования;
- обслуживающие программы (утилиты).

#### 4.1.1 Операционные системы

**Операционная система** - это программные средства, обеспечивающие управление выполнением пользовательских программ и управление вычислительными ресурсами ЭВМ.

Одна из возможных классификаций операционных систем приведена на рисунке 4.2.



**Рисунок 4.2** - Классификация операционных систем

Классифицировать операционные системы (ОС) можно по нескольким укрупнённым разделам [16].

Раздел управления ресурсами включает следующие классификационные признаки.

Во-первых, по количеству решаемых задач ОС могут быть однозадачными и многозадачными. Примером однозадачных ОС является MS DOS. Многозадачные системы WINDOWS 95, WINDOWS 98 и др. разделяют процессорное время, оперативную память, время работы внешних устройств между несколькими задачами.

Во-вторых, по числу одновременно работающих пользователей ОС могут быть однопользовательскими и многопользовательскими. К однопользовательским ОС можно отнести MS DOS, WINDOWS 3.0, WINDOWS 3.X, первые версии OS/2. В однопользовательских ОС пользователь в любой момент времени монополюно использует любые ресурсы ЭВМ. Многопользовательские - это, например, UNIX, WINDOWS NT и др. Главной особенностью этих систем является необходимость защиты информации каждого пользователя от несанкционированного доступа других пользователей.

В-третьих, по видам многозадачности - невытесняющаяся и вытесняющаяся многозадачность. При невытесняющейся многозадачности процесс решения задачи длится до тех пор, пока сам процесс не передаст управление



ОС. При вытесняющейся многозадачности вводится понятие нити. Нить - это отдельный вычислительный процесс, происходящий одновременно с другими. Переключение с одной нити на другую осуществляется ОС.

В режиме невытесняющейся многозадачности работают ОС WINDOW 3.X, NETWARE. В режиме вытесняющейся - WINDOWS 95, 98, NT, UNIX.

Раздел, связанный с поддержкой аппаратных платформ, включает следующие классификационные признаки.

Во-первых, по количеству платформ ОС могут быть одноплатформные, например WINDOWS 95, 98 и многоплатформные, например WINDOWS NT. Так, WINDOWS 95, 98 поддерживают только IBM совместимые ПК. Открытая (многоплатформная) WINDOWS NT поддерживает не только IBM совместимые ПК.

Во-вторых, по поддержке разных типов ЭВМ ОС подразделяются на следующие разновидности:

- ОС ПЭВМ;
- ОС мини-ЭВМ;
- ОС минифреймов;
- ОС больших ЭВМ (Mainframe).

Раздел, связанный с организацией работы пользователей, позволяет выделить следующие ОС. Во-первых, системы пакетной обработки. Применяются для решения задач вычислительного характера. Обеспечивают максимальную пропускную способность. Широко используются в ОС для больших ЭВМ. Во-вторых, системы разделения времени. Это, например, ОС типа UNIX. Пропускная способность этих систем ниже, но достоинством является удобство для конечного пользователя. При одновременном выполнении нескольких программ (задач) каждой из программ циклически выделяется квант времени центрального процессора, т.е. осуществляется периодическое переключение с одной задачи на другую. Каждый пользователь при этом имеет отдельный канал связи. У пользователя создается иллюзия единоличной работы. В-третьих, системы реального времени. Используются для управления такими объектами, как атомный реактор, спутник, самолет и т.д. Решаемые задачи в этих ОС ранжированы. Система решает в первую очередь важнейшие задачи. В-четвертых, комбинированные системы. Они комбинируют пакетную обработку с другими системами. Пакетная обработка идет в фоновом режиме (длительный расчет, передача электронной почты по модему и др. задачи). Это, например, WINDOWS 95, 98, OS/2.

Раздел, связанный с построением ОС, включает следующие ОС. Во-первых, локальные ОС, которые обслуживают одно рабочее место. Во-вторых, сетевые ОС, которые кроме многозадачности управляют работой сети, управляют очередностью доступа к ресурсам, обеспечивают защищенность ресурсов.

Сетевые системы подразделяют по следующим признакам. Во-первых, по построению:

- сетевые оболочки над локальной ОС (рисунок 4.3);
- изначально созданные сетевые системы.

ЛОС - система управления локальными ресурсами, например MS DOS.



**Рисунок 4.3** - Сетевая оболочка

Клиентская часть работает по запросам с других узлов сети.

Серверная часть обслуживает все узлы сети.

Сервер-машина - это часть операционной сети, которая работает с файлами, ведет обработку запросов с других машин в собственной базе данных и в собственной файловой системе, управляет очередностью запросов других пользователей к собственным операционным ресурсам.

Задачи клиентской части: распознавание и направление в сеть запросов к удалённым ресурсам; переработка запроса из локальной формы в форму, которую требует сервер (по сетевому протоколу); приём ответа от сервера и преобразование его в локальную форму.

Коммуникационные средства выполняют следующие функции: адресация и буферизация сообщений; выбор маршрута передачи по сети; контроль надёжности передачи сообщений.

Изначально созданные как сетевые, ОС имеют максимум встроенных сетевых функций. Такие системы проще в эксплуатации и обеспечивают более высокую производительность. К ним относятся, например, UNIX, WINDOWS NT.

Во-вторых, сетевые системы различаются по рангу:

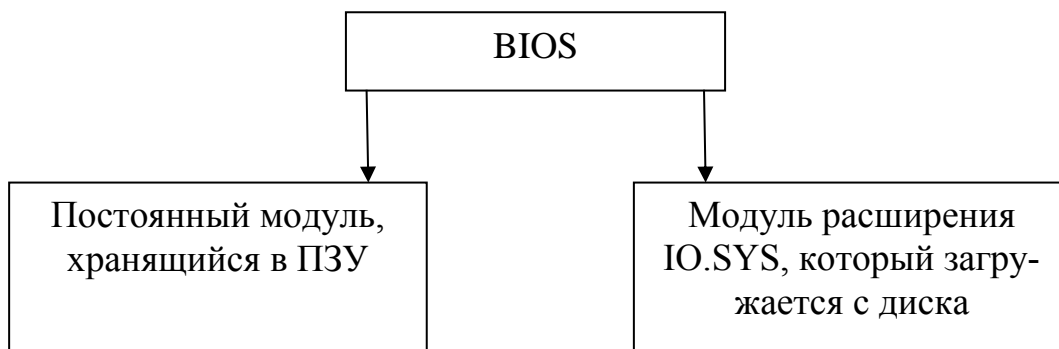
- одноранговые - все машины одинакового ранга;
- двухранговые сети - объединены машины с более и менее высоким рангом.

В одноранговых сетях все машины потенциально одинаковы. Каждая машина может быть и клиентом, и сервером. В двухранговых сетях обязательно предусматриваются выделенные серверы для выполнения определенных функций. Это файл-сервер; принт-сервер; факс-сервер и др. Примером двухранговой сети может служить WINDOWS NT. Одноранговые ОС проще в эксплуатации, но имеют меньшую скорость передачи данных.

Примером однозадачной однопользовательской ОС является дисковая операционная система MS DOS.

Ядро этой системы обычно загружается для работы в ОП с жесткого диска. В состав ядра входят следующие программы (рисунок 4.4):

- базовая система ввода/вывода (BIOS);
- программа начальной загрузки (загрузчик);
- системные файлы IO.SYS, MS DOS.SYS, COMMAND.COM.



**Рисунок 4.4** - Загрузка ядра ОС

При включении компьютера программа начальной загрузки загружается с жесткого диска постоянным модулем BIOS. Управление передается загрузчику, который проверяет наличие на жестком диске модуля расширения IO.SYS и базового модуля MS DOS.SYS.

При наличии этих модулей они загружаются в оперативную память. После успешного выполнения этой операции загружается командный процессор COMMAND.COM и файл CONFIG.SYS. Последний содержит команды подключения необходимых драйверов.

Командный процессор загружает на выполнение системный командный пакет AUTOEXEC.BAT. После выполнения команд этого пакета внизу экрана появляется строка ввода управления операционной системы с мигающим курсором ввода. Это приглашение к работе. Система готова к диалогу с пользователем.

Базовый модуль MS DOS.SYS отвечает за работу файловой системы.

Файл - это участок на жестком диске для постоянного хранения программ, данных, результатов, рисунков, документов и др. Дисковая ОС посредством программы MS DOS.SYS следит за тем, где на диске физически располагаются файлы, обеспечивает доступ к ним пользователю или прикладной программе для чтения записи. Каждый файл имеет имя и расширение, которые разделяются точкой. Имя может иметь до восьми символов в ОС MS DOS и более в ОС WINDOWS, OS/2. Расширение содержит три символа и служит для безошибочного определения предназначения того или иного файла.

Файлы с расширением EXE, COM, BAT - являются исполняемыми. Достаточно набрать имя такого файла в качестве команды в командной строке ОС, нажать ENTER, и ОС загрузит его в оперативную память и запустит на выполнение.

Файл с разрешения TXT содержит текстовую информацию, а с расширением DWG содержит файлы рисунков. Файл с расширением XLS относится к табличному процессору EXCEL, а с расширением DOC - к текстовому процессору WORD. Файл с расширением DBP - файл СУБД dBASE или FOX PRO.

Обычно файлы объединяются в каталоги или папки. В свою очередь, каталоги и папки могут быть частью более общих каталогов и папок. Таким образом создается иерархическая структура файлов на жестком диске. Каталоги

пишутся прописными буквами латинского или русского алфавитов, а файлы - строчными с расширением или без него. Например, C:\WIN\win.exe.

Особая роль отводится файлу AUTOEXEC.BAT, который в отличие от других файлов с расширением BAT автоматически запускается на выполнение сразу после загрузки операционной системы.

Командный файл COMMAND.COM обеспечивает загрузку и выполнение команд, полученных с клавиатуры, исполнение внутренних и внешних команд.

#### 4.1.2 Операционные оболочки

Операционные оболочки (ОО) - это комплекс программ, работающий под управлением ОС и представляющий пользователю дополнительные диалоговые возможности. Сюда можно отнести следующие функции:

- просмотр содержимого каталогов на дисках;
- быстрый переход из одного каталога в другой;
- быстрое выполнение функций копирования, переименования, переноса, удаления файлов, а также форматирования гибких магнитных дисков и обмен информацией с ними;
- запуск программ на выполнение.

Наиболее распространенные ОО:

- NORTON COMMANDER (NC);
- VOLKOV COMMANDER (VC);
- WINDOWS 3.X.

В NC и VC реализован текстовый интерфейс, а в WINDOWS 3.X. - графический.

Интерфейс - это программное средство, обеспечивающее взаимодействие пользователя и ЭВМ.

Рассмотрим в качестве примера операционную оболочку WINDOWS 3.X.

Операционная оболочка WINDOWS загружается в оперативную память, "поверх" ОС MS DOS и принимает управление на себя.

Знание принципов построения этого программного продукта позволяет без особого труда эксплуатировать операционные системы, основанные на использовании графического интерфейса, такие как WINDOWS 95, WINDOWS 98, WINDOWS NT, а в системе OS/2 имеется эмулятор этой операционной оболочки.

Для загрузки операционной оболочки WINDOWS, если она имеется на диске C, необходимо набрать в командной строке NC команду C:\WIN\win.exe и нажать ENTER.

При активизации оболочки WINDOWS обращение с ней пользователей происходит посредством многооконного интерфейса - через систему окон. Окна или представляющие их пиктограммы (пиктограмма - это свернутое до минимальных размеров окно, работающего в данный момент приложения) расположены на поле экрана (Desktop), как бумаги на рабочем столе. Посредством окон и пиктограмм выполняются все манипуляции с программами и файлами документов в среде WINDOWS.

В WINDOWS действует правило, которое гласит, что открывающееся окно или окно, на котором фиксируется курсор, становится активным. Оно автоматически выходит на передний план, а его заголовок отличается темным фоном. У неактивного окна заголовок имеет светлый фон. Для обращения к конкретному приложению необходимо сделать его окно активным, а для этого необходимо щелкнуть мышью где-либо на территории этого окна.

Окно может существовать в полноэкранном представлении, занимая все поле экрана, или в нормальном представлении, занимая только его часть, или в виде пиктограммы.

Если активно всего одно приложение, то целесообразно представить соответствующее окно в полноэкранном варианте. Работа одновременно с двумя приложениями предполагает наличие двух окон нормального размера. При работе с большим числом приложений удобно часть приложений, в которых пользователь не испытывает острой необходимости, представить пиктограммами.

Таким образом, окно представляет собой пространство для размещения объектов (текста, рисунков, других окон и т.д.) и для выполнения действий (написание текста, создание графического объекта и др.)

Правую и нижнюю стороны окна окаймляют сервисные средства, называемые линиями прокруток. Они позволяют прокручивать (в вертикальном и горизонтальном направлении) в окне документ подобно рулону. В этом появляется необходимость, когда размер документа превышает размер окна.

### 4.1.3 Системы программирования

Для ОС разрабатываются системы программирования (СП), предназначенные для создания и отладки прикладных программ на алгоритмических языках высокого уровня (ЯВУ).

СП включает язык и транслятор в виде специальной программы, преобразующей исходный текст на ЯВУ в машинные коды, необходимые для загрузки в ОП. Наиболее известны ЯВУ Паскаль, С и др.

Трансляторы делятся на два вида: компиляторы и интерпретаторы.

Компиляторы транслируют всю программу сразу. При компиляции перевод программы с ЯВУ в загрузочный модуль и выполнение программы разделены во времени. Преобразование программы на ЯВУ в машинные коды выполняется в два этапа (рисунок 4.5).



**Рисунок 4.5** - Этапы создания исполняемого модуля

На первом этапе исходный модуль (ИМ) подвергается компиляции и создается объектный модуль (ОМ). На втором этапе ОМ обрабатывается про-

граммой «редактор», который объединяет все ОМ и создаёт загрузочный модуль (ЗМ), т.е. программу, готовую к загрузке в ОП на выполнение.

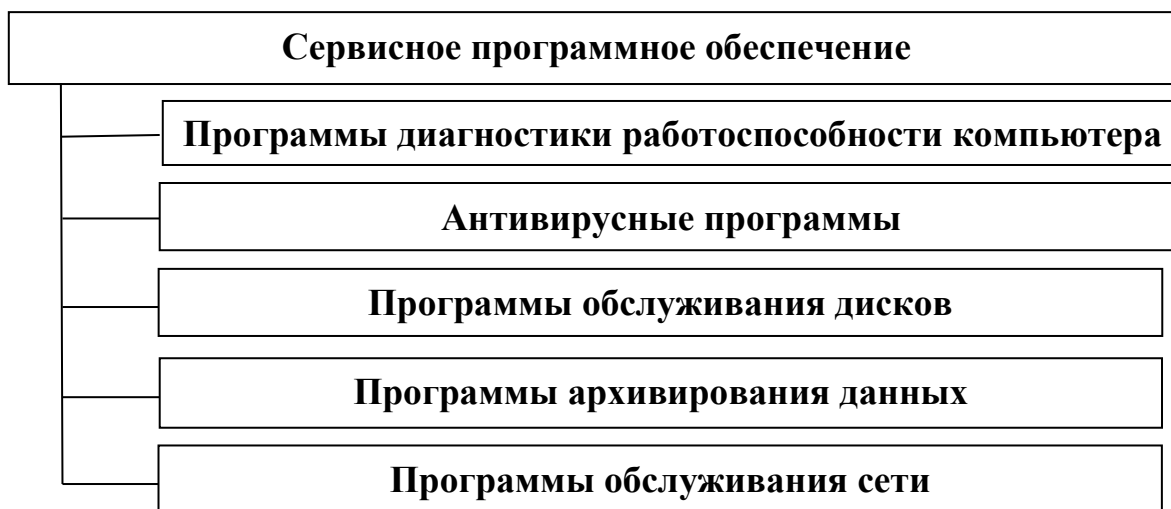
Трансляторы различаются скоростью и объёмом получаемого загрузочного модуля.

Наиболее удобны СП TURBO C++, TURBO PASCAL, представляющие интегрированные среды программирования. Не покидая эту среду возможны ввод, редактирование текста программы и получение диагностики об ошибках.

Интерпретаторы работают следующим образом. Исходный текст построчно переводится в машинные коды и сразу выполняется. При загрузке очередной строки в память машины производится её проверка на наличие синтаксических ошибок. Эти обстоятельства существенно снижают быстродействие программ особенно при больших объёмах вычислений.

#### 4.1.4 Утилиты

Утилиты - это внешние программы, которые дополнительно устанавливаются в виде отдельных загрузочных файлов для выполнения сервисных функций. Поэтому их называют ещё сервисным программным обеспечением [8]. Состав и назначение ряда компонентов этого обеспечения показаны на рисунке 4.6.



**Рисунок 4.6** - Программные модули сервисного программного обеспечения

Антивирусные программы обеспечивают защиту компьютера, обнаруживают и восстанавливают заражённые файлы.

Программы обслуживания дисков обеспечивают контроль сохранности файловой системы на логическом и физических уровнях, создание страховых копий дисков и др.

Программы архивирования данных обеспечивают процесс сжатия данных информации в файлах с целью уменьшения объёма памяти для её хранения.

Кроме того, есть ряд специализированных антивирусных продуктов. Широко известны продукты фирмы «Лаборатория Касперского». Например, анти-

вирус Касперского BUSINESS OPTIMAL для WINDOWS «Защита рабочих станций».

## 4.2 Прикладное программное обеспечение

ППО составляют программы, предназначенные для решения задач, имеющих профессиональную ориентацию. ППО может состоять из:

- отдельной программы;
- пакета прикладных программ (ППП).

ППП подразделяется на ППП общего назначения, ППП методо-ориентированный, ППП проблемно-ориентированный.

ППП общего назначения - это универсальные комплексы программ, которые используются в любой сфере деятельности (текстовые процессоры, табличные процессоры, СУБД, пакеты машинной графики).

ППП методо-ориентированный предназначен для решения инженерных, математических, бухгалтерских и др. задач с использованием определённых методов. Это, например, математические пакеты MATHCAD, EURECA; диалоговые пакеты статистического анализа STADIA; оптимизационный пакет OPTINET для решения сетевых и транспортных задач.

ППП проблемно-ориентированный - это программный продукт, ориентированный на решение определённых проблем. Сюда относятся отдельные пакеты, которые автоматизируют один из этапов процесса проектирования (расчёт режимов резания), а также пакеты, представляющие КСАП (комплекс средств автоматизированного проектирования) и автоматизирующие совокупность этапов решения какой-либо проблемы в области конструирования или технологии. Для создания этого ППП нередко используются ППП общего назначения и системы программирования.

### 4.2.1 Пакеты прикладных программ общего назначения

Можно выделить, прежде всего, два наиболее употребляемых пакета - текстовый процессор и табличный процессор.

Современные текстовые процессоры оснащены мощными средствами форматирования и графики. Примером таких процессоров может служить **MS-WORD**.

#### *Текстовый процессор MS-WORD*

Текстовый процессор - это прикладное программное обеспечение, обеспечивающее выполнение следующих функций:

- создание и редактирование текстовых документов;
- форматирование и распечатку документов с выбором размеров бумаги, числа копий и т.д.;
- выравнивание документа и его частей по указанным границам с автоматической обработкой переносов строк;
- возможность создания документа по шаблону;
- размещение в документе таблиц, диаграмм, рисунков;

- возможность макропрограммирования для автоматизации работы с текстовыми документами.

Создание и обработка текстовых документов производится в рабочем окне, расположенном внутри главного окна, которые открываются после запуска текстового процессора.

В состав главного окна входят: строка заголовка создаваемого документа, строка меню, часть пиктограмм панели инструментов и строка состояния в нижней части окна. В строке заголовка в левом углу помещается кнопка системного меню WORD, при активизации которой открывается падающее меню второго уровня с набором опций. Последняя опция «X» **Заккрыть** позволяет выгрузить пакет из ОП. В правом углу заголовка размещаются три кнопки:

- сворачивания активного главного окна до пиктограммы без выгрузки из ОП;
- представления главного окна в полноэкранный и оконный варианты;
- выгрузки главного окна из ОП компьютера.

Рабочее окно включает в себя горизонтальную и вертикальную линейки, горизонтальную и вертикальную полосы прокрутки документа, панель инструментов с полным набором пиктограмм и поле ввода текста документа. Это окно также содержит кнопки системного меню, сворачивания активного рабочего окна до пиктограммы, представления окна в двух режимах, закрытия окна, команды которых распространяются только на элементы этого рабочего окна.

Для работы в поле ввода текстовой информации необходимо провести минимальную настройку рабочего окна. Для этого устанавливается рабочий шрифт Times New Roman, размер букв и их начертание (обычные, курсив, подчёркнутые и т.д.). Эти параметры выставляются в меню **Формат** → **шрифт**. В меню **Вид** выставить разметку страницы и масштаб представления документа на экране монитора. В меню **Файл** → **Параметры страницы** выбрать представление страницы в книжном или альбомном вариантах, размер формата документа, а также установить величины отступов текста от всех краёв листа. Далее можно вводить текст поабзацно. При этом необходимо помнить, что до завершения ввода абзаца клавишу **ENTER** нажимать не надо при завершении ввода очередной строки. Переход же на новую строку программа выполнит автоматически.

После завершения работы с документом необходимо его сохранить под определённым именем на логическом диске винчестера. Для этого используется меню **Файл** → **Сохранить (Сохранить как...)**.

Для выхода из пакета после сохранения используются рассмотренные выше кнопки в строке заголовка, а также меню **Файл** → **Выход**.

### ***Табличный процессор EXCEL***

Табличный процессор - это комплекс программ для обработки электронных таблиц. Электронная таблица, кроме строк и столбцов, из которых состоит обычная таблица, включает ещё листы. Горизонтальные строки и вертикальные столбы образуют двухмерную таблицу, а листы добавляют третью составляющую к имеющимся двум измерениям, и таблица может рассматриваться как трехмерная.



Табличный процессор **EXCEL** - один из наиболее распространённых табличных процессоров. Он позволяет решать научно-технические, планово-экономические, статистические и другие задачи, в которых исходные данные и результаты представлены в табличной форме [17].

Таблица состоит из строк и столбцов, на пересечении которых располагаются ячейки как основные носители информации. В них может располагаться число, формула, текст. Ячейки состоят из номера строки (число) и номера столбца (латинская буква) **A1, C10, B32** и т.д. Такая запись называется абсолютным адресом ячейки.

Для запуска пакета необходимо активизировать пиктограмму **EXCEL** в виде голубого крестика, что вызовет загрузку резидентной части пакета в ОП компьютера. Поиск пиктограммы запуска аналогичен поиску пиктограммы запуска **WORD**. В результате выполнения этой операции на экране появится главное окно табличного процессора, внутри которого располагается окно рабочей книги. Книга состоит из отдельных листов в количестве 256 штук (по умолчанию устанавливается 16 листов). Можно удалять ненужные листы и вставлять новые. Для перехода на другой лист книги необходимо щелкнуть по ярлыку листа левой клавишей мыши. Любой ярлык листа имеет своё имя, которое можно изменять по усмотрению пользователя. Кнопки в строке заголовка главного окна и в окне рабочей книги выполняют те же функции, что и кнопки в главном и рабочем окнах **MS-WORD**. Состав меню **MS-EXCEL** подобен составу меню **MS-WORD**, но вместо команды **Таблица** в табличном процессоре присутствует команда **Данные**, опции которой позволяют работать со списками и базами данных.

В окне рабочей книги **MS-EXCEL** следует выделить следующие информационные объекты:

- строка заголовка, в которой указывается название работающего приложения;
- главное меню, расположенное под строкой заголовка;
- панель инструментов в виде набора пиктограмм (третья строка);
- панель форматирования объектов (под панелью инструментов);
- строка ввода информации в активную ячейку (активной является ячейка в которой находится курсор в виде выделенного прямоугольника);
- заголовки столбцов и строк в виде латинских букв и арабских цифр; рабочее поле электронной таблицы в виде совокупности ячеек, разделенных сеткой, которую можно сделать невидимой;
- ярлыки листов, расположенные под рабочим полем книги;
- блок прокрутки ярлыков листов рабочей книги;
- полосы прокрутки листа, расположенные по его краям;
- горизонтальный и вертикальный делители рабочего окна книги;
- строка состояния, расположенная внизу экрана.

В **MS-EXCEL** информация вводится в активную ячейку, размеры которой можно изменять по ширине и высоте. Для перехода из ячейки в ячейку используются клавиши управления курсором. При вводе в ячейку формулы или внутренней функции пакета сначала необходимо ввести знак равенства, а далее па-

раметры, содержащиеся в формуле. В противном случае вычисление в этой ячейке производиться не будет. В остальных случаях знак равенства не указывается. Для редактирования содержимого активной ячейки используется два режима:

- редактирование непосредственно в ячейке;
- редактирование в строке формул.

При использовании первого случая необходимо для активной ячейки нажать клавишу F2. После этого можно изменять содержимое ячейки и по окончании редактирования обязательно нажать клавишу ENTER.

Во втором случае необходимо щелкнуть левой клавишей мыши в строке формул, где появится курсор в виде вертикального штриха. В этой строке всегда отражается содержимое активной ячейки, доступное для редактирования. По завершении исправлений нажимается клавиша ENTER и курсор снова возвращается в рабочее поле.

Структура строки формул представляет из себя три части. В правой происходит отображение содержимого активной ячейки, доступное для редактирования с помощью кнопок, расположенных в средней части строки. Кнопка с изображением крестика служит для отмены последнего действия при редактировании. Кнопка с изображением галочки служит для подтверждения ввода данных. С помощью третьей кнопки можно активизировать программу Мастер функций для работы с внутренними функциями пакета. В левой части строки указывается адрес активной ячейки.

Для сохранения введенной информации и выхода из пакета используются те же действия, что и в MS-WORD.

## 4.2.2 Методо-ориентированные ППП

### 4.2.2.1 Математический пакет *MathCAD*

Математические и научно-технические расчеты являются важной сферой применения персональных компьютеров. Часто они выполняются с помощью программ, написанных на языке высокого уровня, например Бейсике или Паскале. Сегодня эту работу нередко выполняет обычный пользователь ПК. Для этого он вынужден изучать языки программирования и многочисленные, подчас весьма тонкие капризные численные методы математических расчетов. Нередко при этом из под руки способного физика, химика или инженера выходят далёкие от совершенства программы.

Это не вполне нормальное положение может изменить к лучшему применение интегрированных программных систем автоматизации математических расчетов (*MathCAD*, *MatLab*, *Eureka* и др.). Рассмотрим возможности и эволюцию одной из таких систем - *MathCAD*.

**MathCAD** - универсальный математический пакет, предназначенный для выполнения инженерных и научных расчетов. Основное преимущество пакета - естественный математический язык, на котором формируются решаемые задачи. Объединение текстового редактора с возможностью использования обще-

принятого математического языка позволяет пользователю получить готовый итоговый документ. Пакет обладает широкими графическими возможностями, расширяемыми от версии к версии. Практическое применение пакета существенно повышает эффективность интеллектуального труда.

От других продуктов аналогичного назначения MathCAD отличается ориентацией на создание высококачественных документов (докладов, отчетов, статей) в режиме WYSIWYG (What You See Is What You Get). Это означает, что, внося изменения, пользователь немедленно видит их результаты и в любой момент может распечатать документ во всем блеске. Работа с пакетом за экраном компьютера практически совпадает с работой на бумаге с одной лишь разницей - она более эффективна. Преимущества MathCAD состоит в том, что он не только позволяет пользователю провести необходимые расчеты, но и оформить свою работу с помощью графиков, рисунков, таблиц и математических формул. А эта часть работы является наиболее рутинной и мало творческой, к тому же она и времяземкая и малопривлекательная.

**MathCAD** является интегрированной системой программирования, ориентированной на проведение математических и инженерно-технических расчетов. Система MathCAD содержит текстовый редактор, вычислитель и графический процессор.

**Текстовый редактор** - служит для ввода и редактирования текстов. Тексты являются комментариями и входящие в них математические выражения не выполняются. Текст может состоять из слов, математических выражений и формул, спецзнаков. Отличительная черта системы - использование общепринятой в математике символики (деление, умножение, квадратный корень).

**Вычислитель** - обеспечивает вычисление по сложным математическим формулам, имеет большой набор встроенных математических функций, позволяет вычислять ряды, суммы, произведения, определенный интеграл, производные, работать с комплексными числами, решать линейные и нелинейные уравнения, проводить минимизацию функции, выполнять векторные и матричные операции и т.д.. Легко можно менять разрядность чисел и погрешность интеграционных методов.

**Графический процессор** - служит для создания графиков. Он сочетает простоту общения с пользователем и большими возможностями графических средств. Графика ориентирована на решение типичных математических задач. Возможно быстрое изменение размеров графиков, наложение их на текстовые надписи и перемещение их в любое место документа. MathCAD автоматически поддерживает работу с математическим процессором. Последний заметно повышает скорость расчетов и вывода графиков, что существенно в связи с тем, что MathCAD всегда работает в графическом режиме. Это связано с тем, что только в этом режиме можно формировать на экране специальные математические символы и одновременно применять их вместе с графиками и текстом. MathCAD поддерживает работу со многими типами принтеров, а так же с плоттерами.

MathCAD - система универсальная, т.е. она может использоваться в любой области науки и техники, везде, где применяются математические методы.

Запись команд в системе MathCAD на языке, очень близком к стандартному языку математических расчетов, упрощает постановку и решение задач.

#### **4.2.2.2 Диалоговый пакет статистического анализа STADIA**

Пакет STADIA (Statistical Dialogue System) – универсальный статистический пакет, разработанный специалистами Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова совместно с НПО "Информатика и компьютеры". Первая версия пакета была выпущена в 1989 году. На сегодняшний день разработана 7-я версия пакета STADIA 7.0.

По мнению разработчиков, пакет ориентирован на массового пользователя, имеющего небольшой опыт как в статистическом анализе, так и в общении с персональным компьютером, но нуждающегося в быстром и удобном средстве оформления и обработки данных.

Пакет предоставляет пользователям широкий набор методов статистического анализа данных: описательная статистика, дисперсионный, корреляционный и спектральный анализ, сглаживание, прогнозирование, простая, нелинейная регрессия, кластерный и факторный анализ, методы контроля качества, анализ и замена пропущенных значений. Также возможно построение и редактирование 2-х, 3-х и многомерной графики: зависимости, прогнозы, диаграммы рассеяния, карты, гистограммы, столбиковые, башенные и круговые диаграммы, установка размеров, надписей по осям и под рисунком и пр.

##### **Достоинства STADIA:**

- наличие системы контекстной экранной помощи, включающей объемный гипертекстовый справочник и экспертную систему по выбору метода статистического анализа;
- обработка больших объемов данных (до 32 000 наблюдений);
- наличие режима выдачи оглавления архива данных с комментариями;
- селективный поиск файлов по контексту комментариев, присвоенных архиву с данными;
- для работы программы требуется лишь 8 МВ оперативной памяти, сама программа занимает 4.1 МВ на жестком диске компьютера;
- экспорт данных и результатов.

##### **Недостатки STADIA:**

- наличие только русскоязычной версии;
- несовместимость с операционными системами, отличными от Windows.

Пакет **STADIA** простой в освоении, недорогой и очень мощный инструмент статистического анализа данных ограниченных объемов. Он учитывает уровень статистической подготовки российского пользователя, позволяет быстро найти необходимый метод обработки данных, представить результаты анализа в табличной и графической формах и продолжить их оформление в других средствах среды Windows (текстовых и графических редакторах).

### 4.2.3 Проблемно-ориентированные ППП

Проблемно-ориентированные проектирующие подсистемы называют иногда объектно-ориентированными (объектно-зависимыми). Объектом может быть машина, деталь, технологический процесс и др.

#### 4.2.3.1 Многоуровневые программно-методические комплексы (ПМК)

Среди САД-систем в машиностроении различают системы нижнего, среднего и верхнего уровней. Это разделение возникло на рубеже 80-90-х годов прошлого века. Системами нижнего уровня (или «лёгкими» системами) стали называть сравнительно дешевые САПР, ориентированные на 2D-графику, т.е. на автоматизацию преимущественно чертежных работ. Техническим обеспечением легких САПР были персональные ЭВМ, в то время значительно уступавшие по своим возможностям рабочим станциям.

Системы верхнего уровня, называемые также «тяжелыми» САПР разрабатывались для реализации на рабочих станциях или мейнфреймах. Эти системы были более универсальными, но и дорогими, ориентированными на геометрическое твердотельное и поверхностное моделирование. Оформление чертежной документации в них обычно осуществляется с помощью предварительной разработки трехмерных геометрических моделей. В дальнейшем системы, в которых 3D-моделирование ограничивалось лишь твердотельными моделями, т.е. занимавшие промежуточное положение между "легкими" и "тяжелыми" САПР, стали называть системами среднего уровня.

В настоящее время развитие САПР привело к тому, что во многих системах среднего уровня появились средства поверхностного моделирования, а возможности персональных ЭВМ стали приемлемыми для систем верхнего уровня. В результате изменились принципы, по которым различают тяжелые и средние системы. Тяжелыми теперь называют системы CAD/CAM/CAE/PDM, т.е. системы с возможностями конструкторского и технологического проектирования, инженерного анализа, управления проектными данными и с расширенным составом специализированных программных модулей в подсистемах CAD и CAM. В отличие от них, системы среднего уровня теперь называют также серийными, mainstream или mid-range.

В машиностроительных решениях основным проектным инструментом инженера стало твердотельное моделирование. Это обусловлено преимуществами трехмерного твердотельного моделирования:

- увязка всех деталей в узле и их автоматический учет в спецификации;
- визуальная оценка узла;
- все необходимые расчеты с последующей оптимизацией конструкции;
- создание чертежей в автоматическом режиме с использованием 3D-модели;
- быстрое внесение изменений в модель и их автоматическое отслеживание в чертежах;

- создание технологических документов, программ для оборудования с ЧПУ по 3D-моделям и др.

Комплектация рабочих мест ПМК должна учитывать сложность проектируемых изделий, стоимость аппаратных средств и программного обеспечения.

В САПР крупных предприятий обычно используют программы разных уровней. Связано это с тем, что более 80% всех процедур конструирования можно выполнить на САД-системах нижнего и среднего уровней, кроме того, "тяжелые" системы дороги. Поэтому предприятие приобретает лишь ограниченное число экземпляров (лицензий) программы верхнего уровня, а большинство клиентских рабочих мест обеспечивается экземплярами программ нижнего или среднего уровней.

Трехуровневое построение ПМК целесообразно для проектирования очень сложных и крупных изделий, таких, например, как самолет. На верхнем уровне для выполнения проекта рационально иметь несколько рабочих мест типа UNIGRAPHICS NX, CATIA или ProEngineer.

На среднем уровне для разработки узлов и агрегатов должно быть предусмотрено большее количество рабочих мест типа AUTODESK MECHANICAL DESKTOP, Solid Works, SolidEdge, Inventor и ряд других.

На нижнем уровне необходимо уже несколько десятков рабочих мест типа AUTOCAD MECHANICAL 2000 или AUTOCAD LT 2000 для детализации и оформления чертежей и другой документации.

При этом возникает проблема обмена информацией между разнотипными САД-системами. Она решается путем использования языков и форматов, принятых в САЛС-технологиях, хотя для неискаженной передачи геометрических данных с помощью промежуточных унифицированных языков приходится преодолевать определенные трудности.

Системы одного уровня по своим функциональным возможностям приблизительно равноценны, новые достижения, появившиеся в одном из программно-методических комплексов САПР, в скором времени реализуются в новых версиях других комплексов.

При проектировании более простых изделий, таких, например, как автомобильный или авиационный двигатель, можно отказаться от применения дорогостоящих систем типа UNIGRAPHICS NX и сквозное проектирование строить на базе пакетов среднего уровня. В этом случае соотношение вложенные средства/производительность будет наилучшим. В таком ПМК за основу может быть принята система типа SOLID WORKS. Тогда программные продукты более низких уровней должны работать в среде SOLID WORKS. Эти программы разрабатываются, как правило, сторонними фирмами. Открытая архитектура системы позволяет легко интегрировать ее с ведущими расчетными и технологическими системами. То, что SOLID WORKS создана специально для ПЭВМ под управлением WINDOWS 9X или WINDOWS NT, позволяет работать в режиме многооконности и разрабатывать одновременно несколько деталей или сборок.

#### 4.2.3.2 Программные продукты фирмы AUTODESK

При создании ПМК на базе программных продуктов среднего уровня могут быть эффективно использованы разработки фирмы AUTODESK: MECHANICAL DESKTOP R4, AUTOCAD MECHANICAL 2000 и AUTOCAD LT 2000. Эти разработки построены на базе популярного пакета AUTOCAD 2000 и снижают затраты на внедрение такого мощного ПМК [1].

##### *Базовый программный продукт AUTOCAD 2000*

На основе этого пакета создано целое семейство специализированных программ автоматизированного проектирования. В результате развития известного пакета AUTOCAD в него было внесено более 400 дополнений и изменений. Следует отметить ряд важных свойств AUTOCAD 2000:

- новые команды для работы с 3D-объектами. Это мощное средство для разработки твердотельных моделей и серьезная база для AUTOCAD MECHANICAL DESKTOP R4;
- возможности визуализации создаваемых трехмерных объектов, аналогичные работе в пакете 3D STUDIO VIZ;
- команды простановки размеров на чертежах (автоматическое обмеривание) входят в ядро AUTOCAD и не требуют вызова дополнительного пакета;
- для разработки приложений предусмотрен встроенный VISUALLISP;
- возможность создания неограниченного количества листов (Layout) в пространстве листа (PAPERSPACE) для выполнения чертежей, видов, выносок и т.д. В одном файле может храниться 3D модель (MODELSPACE) и несколько плоских чертежей (Layout 1, Layout 2,...) с различными настройками для чертежей на разные внешние устройства;
- редактирование внешних ссылок и блоков, находящихся во внешних файлах, без их загрузки, прямо на листе (In-place Xref and Block Edit).

##### *Система параметрического твердотельного моделирования MECHANICAL DESKTOP R4*

Это один из самых мощных продуктов фирмы AUTODESK для машиностроительного проектирования, построенный на базе пакета AUTOCAD 2000.

Отметим некоторые возможности системы MECHANICAL DESKTOP R4:

- создание трехмерной параметрической модели проектируемого изделия и ассоциативно связанных с ней видов, разрезов и сечений;
- проектирование крупных сборок и анализ сборок на взаимное пересечение деталей;
- редактирование файлов внешних ссылок деталей непосредственно из сборочного чертежа;
- одновременная работа с несколькими узлами;
- создание и редактирование оболочек;

- сборка узлов с использованием «интеллектуальных» зависимостей; автоматическое создание и обновление спецификаций сборочных единиц;
- вычисление площади поверхности, массы, моментов инерции и объёма для деталей и сборок;
- передача данных в другие системы в более чем десяти форматах, включая DWG, DXF, DWF.

Программа поставляется в двух вариантах:

- MECHANICAL DESKTOP R4 только система параметрического твёрдотельного моделирования;
- MECHANICAL DESKTOP R4 POWER PACK включает кроме самой системы ещё 2D и 3D библиотеки стандартных деталей (более 800000 деталей); пространственные инженерные расчёты (подбор подшипников, проектирование тел вращения и др.).

MECHANICAL DESKTOP R4 предполагает использование систем более низкого уровня для дальнейшей разработки проекта. На этапе выпуска чертёжно-конструкторской документации для ускорения работы и снижения стоимости аппаратно-программного обеспечения рекомендуется использовать AUTOCAD MECHANICAL 2000 POWER PACK.

### ***Программный продукт AUTOCAD MECHANICAL 2000***

Для создания и оформления плоских машиностроительных чертежей. Скорость, надёжность и продуктивность базового пакета AUTOCAD 2000 дополнена новыми функциями для машиностроительного проектирования.

Это, например, автоматическая детализовка AUTO DETAILING, которая позволяет создавать чертежи отдельных деталей из чертежа сборочной единицы. Специальные команды для создания позиций на сборочных чертежах и спецификаций. Включены команды для создания символов шероховатости, допусков формы и расположения поверхностей, символов установочных баз и др. Функция штриховки сводит теперь выполнение этой операции к двум простым указаниям мышью без необходимости использования диалогового окна. Встроенный языковой конвертор для перевода надписей в чертежах, включающий 17 языков, и ряд других функций.

Рассматриваемый программный продукт поставляется в двух вариантах:

- AUTOCAD MECHANICAL 2000 - для быстрого создания и редактирования машиностроительных чертежей;
- AUTOCAD MECHANICAL 2000 POWER PACK - тот же программный продукт, дополненный 2D библиотеками стандартных деталей (более 800000 деталей) и простыми инженерными расчётами, что значительно ускоряет создание и редактирование машиностроительных чертежей.

AUTOCAD MECHANICAL 2000 составная часть семейства продуктов AUTODESK для машиностроительного проектирования. Выше уровнем стоит MECHANICAL DESKTOP R4, но для эффективного применения с точки зрения показателя стоимость/производительность рационально использовать еще и продукты более низкого уровня.



Экономически целесообразно на одно рабочее место AUTOCAD MECHANICAL 2000 POWER PACK иметь как минимум одно, а то и несколько рабочих мест на базе пакета AUTOCAD LT 2000.

### ***Программный продукт AUTOCAD LT 2000***

Это универсальный двухмерный чертежный программный продукт нижней ценовой категории. В его функции входят процессы подготовки к печати и печать, аннотирование и оформление чертежей, просмотр и анализ чертежей главным специалистом проекта или ведущим конструктором.

Интерфейс AUTOCAD LT 2000 в точности повторяет строение рабочего окна AUTOCAD 2000, почти полностью воспроизведены структура падающего и контекстных меню, набор и состав панели инструментов, окна диалогов и др. Существенно облегчает работу и повышает ее производительность доступ к работе с неограниченным числом двухмерных пространств листа LAYOUT, который используется для формирования чертежей из отдельных видов и фрагментов и для вывода на печать.

### **4.2.3.3 Программные продукты T-FLEX**

Российский продукт, созданный на базе нескольких фирм-разработчиков САПР, объединенных в фирму «Топ Системы» [2].

**T-FLEX** – это целый комплекс *интегрированных* программных средств автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства. Передача информации между системами осуществляется за счет внутренней связи между модулями.

**CAD – модуль** состоит из 5-ти систем, которые позволяют охватить все уровни автоматизации конструкторских работ различных подразделений предприятия:

1) **T-FLEX CAD LT. Система автоматизированного черчения.** Предназначена для создания графических и текстовых документов. Позволяет работать с библиотеками текстов и 2D элементов, импортировать и экспортировать чертежи.

2) **T-FLEX CAD 2D. Система автоматизированного проектирования.** Предназначена для двухмерного проектирования деталей и сборок. Чертеж создается (не в виде набора линий) в виде математической модели с параметрами, при изменении которых происходит изменение конфигурации деталей, взаимное перемещение деталей и сборок, выполняются различные расчеты, может изменяться состав изделия (моделируются варианты исполнений).

3) **T-FLEX CAD 3D SE. Система для подготовки чертежей по готовым 3D моделям,** созданным либо в T-FLEX CAD 3D, либо в другой системе. Система содержит все возможности системы T-FLEX CAD 2D. Позволяет поддерживать связь между импортированной 3-х мерной моделью и чертежами, полученными на ее основе. Вследствие этого при изменении параметров 3-х мерной модели в исходной системе (3D) чертежи в системе 3D SE будут автоматически скорректированы.

4) **T-FLEX CAD 3D. Система для создания трехмерной модели проектируемого изделия.** Является развитием системы 2-х мерного проектирования только для 3-х мерного проектирования и включает все возможности T-FLEX CAD 3D SE. Использование системы позволяет существенно сократить затраты на проектирование, выпуск и испытание опытных образцов и дорогостоящей оснастки на пробные партии изделий. Это достигается за счет моделирования деталей и сборок в их естественном виде, проверки собираемости. В конечном итоге приводит к снижению производственного брака и себестоимости выпускаемых изделий.

5) **T-FLEX CAD Viewer.** Система предназначена *для создания, просмотра и печати 2-х мерных чертежей* в соответствии с ЕСКД и международными стандартами (ISO, DIN, ANSI). Позволяет работать со сборочными моделями и на основе данных о составляющих сборки автоматически формировать спецификации. Поддерживает работу с библиотеками стандартных элементов и библиотеками пользователя. Позволяет передавать конструкторско-технологическую документацию в электронном виде без конвертации в универсальные формы. Данная система может быть использована в системах технического документооборота.

**САМ – модуль** – это модули подготовки программ для станков с ЧПУ: T-FLEX ЧПУ, T-FLEX NC Tracer.

1) Модуль **T-FLEX ЧПУ** является встраиваемым модулем для системы T-FLEX CAD и функционирует совместно с ней. Он включает в себя модули:

- **T-FLEX ЧПУ 2D.** Состоит из базового модуля, модуля сверления и модулей электроэрозионной, токарной, лазерной, 2,5-ой координатной фрезерной обработки.

- **T-FLEX ЧПУ 3D.** Состоит из базового модуля и модулей 3-х и 5-ти координатной фрезерной обработки. В базе данных постпроцессоров около 150 постпроцессоров.

2) Модуль **T-FLEX NC Tracer** предназначен для имитации обработки детали по готовой управляющей программе со съемом материала. Поддерживает различные типы систем управления 2D, 2,5D, 3D и 5D.

**CAE – модуль** – это модуль динамического и кинематического анализа и инженерных расчетов. Состоит из 7-ми систем:

1) **T-FLEX/Эйлер.** Это комплекс динамического анализа многокомпонентных механических систем. В системе 3D создается пространственная твердотельная модель механической системы. Затем она передается в комплекс Эйлер, где на геометрическую модель накладываются кинематические и динамические связи (шарниры, кинематические пары, силы, моменты и т. д), начальные условия, гравитация и др. Затем проводится моделирование динамического поведения механической системы в 3-х мерном пространстве, то есть проверка системы на прочность.

2) **T-FLEX Расчеты/Зубчатые передачи.** Расчет и проектирование зубчатых передач.

3) **T-FLEX/Пружины.** Расчет и конструирование упругих элементов.

4) **T-FLEX/Раскрой.** Оптимизация листового раскроя.

- 5) **T-FLEX/Штампы.** Автоматизированное проектирование штампов.
- 6) **T-FLEX/Пресс-формы.** Автоматизированное проектирование пресс-форм для литья термопластов под давлением на термопластавтоматах.
- 7) **T-FLEX/Планировка.** Автоматизация проектирования технологических планировок предприятия. Автоматизированное проектирование плана участков, цехов, рабочих мест и других помещений предприятия проводится на базе функций САД и ТехноПро.

**САРР – модуль** – это модуль для автоматизированной технологической подготовки производства.

**T-FLEX/ТехноПро**– система технологической подготовки производства. Предназначена для проектирования технологии изготовления механообработки, сборки, сварки, покрытий, термообработки, электромонтажа, изготовления печатных плат.

Позволяет проектировать операционные, маршрутно-операционные и маршрутные ТП, включая формирование маршрута, операций и переходов, с выбором оборудования, приспособлений, подбором инструментов, формированием текстов переходов, расчетом технологических размерных цепей, режимов обработки и норм изготовления.

Система поддерживает проектирование на основе общих ТП, по типовому процессу, групповому процессу, процессу аналогу, позволяет делать синтез ТП. Обеспечивает взаимодействие с пользователем в автоматическом, полуавтоматическом и диалоговом режиме, а также их сочетание. Пользователи могут выбирать метод проектирования и вид взаимодействия с системой в зависимости от решаемых задач, например: могут проектировать сборочные ТП в диалоге, технологию изготовления корпусных деталей в полуавтоматическом режиме, тел вращения в автоматическом режиме.

Входная информация для проектирования ТП может быть получена из чертежей, выполненных в электронном виде. Выходная информация может быть представлена в виде разнообразных технологических документов: карт ТП, карт контроля, карт эскизов, ведомостей и других документов, форма и содержание которых может определяться самими пользователями.

**PDM – модуль.** Модуль поддержки жизненного цикла изделия.

1) Комплекс T-FLEX работает под управлением единой профессиональной системы документооборота **T-FLEX DOCS**. Это система управления проектами, составом изделия и технологического документооборота.

2) **Симас.** Система для создания технологической и нормативно-сметной документации. Позволяет вводить данные о сборочных единицах и деталях, а далее на основе этих данных делать расчеты и выдавать документацию.

3) **ТехноПро/Производство.** Система подготовки данных для календарного планирования производства. Позволяет:

- планировать производство с учетом поступающих заказов на изготовление продукции;
- осуществлять технико-экономическое оперативное планирование и анализ экономической деятельности;
- управлять процессами материально-технического обеспечения;

- формировать и контролировать оперативные планы работ по этапам.

Каждая из систем может работать в комплексе, в любой комбинации или автономном режиме.

#### 4.2.3.4 Программные продукты фирмы АСКОН

##### *САПР технологических процессов ВЕРТИКАЛЬ*

САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ – это сетевая лицензионная система фирмы АСКОН. АСКОН разработал сквозную 3D-технологию. Основа технологии – это система ЛОЦМАН:PLM для управления инженерными данными и жизненным циклом изделия, аккумулирующая всю инженерную информацию об изделиях в единой информационной среде. Автоматизация конструкторской подготовки производства обеспечивается САД-системой КОМПАС-3D [2].

Разработка ТП изготовления изделий осуществляется в системе автоматизированного проектирования ТП ВЕРТИКАЛЬ с использованием Универсального технологического справочника (УТС). УТС представляет пользователям всю необходимую справочную информацию, позволяет организовывать и развивать базы данных предприятия.

Спроектированный ТП сохраняется в ЛОЦМАН:PLM в виде объектной модели и привязан к тому изделию, для которого был разработан. Объектный подход позволяет учитывать основные и вспомогательные материалы, оснастку, оборудование, инструмент и т.п., а также формулировать по данным ЛОЦМАН:PLM актуальные технологические отчеты.

##### *Система ЛОЦМАН:PLM*

Система ЛОЦМАН:PLM является центральным компонентом комплекса решений АСКОН и обеспечивает [2]:

- централизованное структурированное хранение технической документации на изделие;
- управление информацией о структуре, вариантах конфигурации изделий и входимости компонентов в различные изделия;
- управление процессом разработки изделия, интеграцию компонентов технологии: САПР, САПР ТП, корпоративных справочников.

На этапе конструкторской подготовки производства в ЛОЦМАН:PLM определяется укрупненный состав разрабатываемого изделия в виде перечня основных узлов. При помощи интегрированной в ЛОЦМАН:PLM Системы планирования и управления подготовкой производства формируются календарные план-графики работ и специалистам поступают задания на проработку узлов. При использовании ЛОЦМАН Work Flow автоматизируются ключевые процессы и этапы выполнения подготовки производства. В КОМПАС-3D и КОМПАС-График создаются 3D-модели деталей, сборочных единиц и комплекты конструкторской документации. В итоге в ЛОЦМАН:PLM формируется окончательный состав изделия, включающий чертежи и спецификации [2].

По мере наполнения состава изделия конструкторскими данными технологи, используя САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ, начинают технологическую проработку конструкции, определяют маршрут изготовления в ЛОЦМАН-Расцеховщик,

согласуют конструкторскую документацию и оценивают потребность в средствах технологического оснащения.

По окончании работы технологических служб предприятия в системе ЛОЦМАН формируется набор данных: разработанный и утвержденный технологический процесс, нормы расхода основных и вспомогательных материалов, нормы времени на изготовление деталей и сборку узлов, спроектированные чертежи вспомогательной оснастки и инструмента.

Система ЛОЦМАН:PLM аккумулирует всю информацию, необходимую для конструкторско-технологической подготовки производства продукции машиностроительного предприятия.

На этапе подготовки производства система обеспечивает накопление данных о результатах конструкторско-технологического проектирования и обмен информацией между инженерными службами.

Электронные данные, полученные на этапе конструкторско-технологической подготовки производства, передаются в применяемую на предприятии систему управления предприятием (ERP) или в систему автоматизированного управления производством ГОЛЬФСТ-РИМ, при ее наличии, для оценки себестоимости изделия, формирования план-графика производства и решения множества производственных задач.

Утвержденные данные и документация передаются в соответствующие службы предприятия для материально-технического обеспечения, производства и поддержки эксплуатации выпускаемых изделий заказчиком. При помощи ЛОЦМАН:PLM организуется управление изменениями производственной документации.

### ***Универсальный технологический справочник***

Универсальный технологический справочник представляет собой полномасштабную систему управления нормативно-справочной технологической информацией. Справочник может работать как автономно, так и в составе сквозной 3D-технологии АСКОН для решения задач автоматизации конструкторско-технологической подготовки машиностроительных производств [2].

Справочник является единой средой для хранения, доступа и обработки технологических данных, используемых в ТП, и обеспечивает полноценное централизованное или коллективное управление справочными данными и документами в соответствии с настроенной политикой безопасности. Вся информация, хранящаяся в базе данных Универсального технологического справочника, имеет иерархическую структуру.

В процессе поиска и выбора данных можно использовать графическую информацию (изображения), различные фильтры и операции сортировки данных по нескольким критериям. Универсальный механизм автоматического подбора данных, реализованный в справочнике, а также режим его работы в качестве встроенного в ВЕРТИКАЛЬ окна позволяют технологу с легкостью разрабатывать технологические процессы.

Универсальный технологический справочник обеспечивает оперативный доступ более чем к 70 специализированным технологическим базам данных. Представлены паспортные данные на различные модели оборудования для ме-

ханообработки, штамповки, термообработки, сварки и др. В работе можно использовать классификатор технологических операций и переходов, инструментов и марок материала его режущей части, станочных приспособлений, грузоподъемных приспособлений, классификатор профессий, СОЖ и вспомогательного материала, средства индивидуальной защиты и многое другое. Большинство баз данных имеют идентичную структуру за исключением некоторых специализированных справочников, таких, как «Инструментальные сборки» и «Карточка учета обозначений документации». Первый обеспечивает проектирование операций, выполняемых на станках с ЧПУ, а второй предназначен для хранения обозначений технологических документов ВЕРТИКАЛЬ, созданных автоматически по ГОСТ 3.1201-85 «Система обозначения технологической документации» при утверждении техпроцесса.

Универсальный технологический справочник предоставляет администратору широкие возможности как для доработки структуры преднастроенных справочников, так и для создания и подключения новых баз данных. Если на предприятии уже существуют собственные базы данных, их легко подключить к Справочнику и использовать в дальнейшей работе.

В контексте управления данными обеспечивается поддержка следующих процедур:

- формирование и централизованная обработка заявок на изменение справочных данных. В рамках этой процедуры реализована возможность обмена сообщениями между пользователями с помощью специальных средств Универсального технологического справочника;

- доступ к истории изменения любого справочного объекта. В истории хранятся сведения о каждом проведенном действии над объектом, пользователе, выполнившем действие; времени выполнения действия и прочая уточняющая информация;

- просмотр и редактирование документов, подключенных к объектам справочников, с учетом стандартных правил коллективного доступа к файлам документов. Как и в случае с объектами справочников, ведется подробная история изменения каждого нормативного документа, доступная для просмотра пользователями Универсального технологического справочника.

#### 4.2.3.5 Облачные технологии в САПР

2012-й стал годом начала распространения облачных технологий в области САПР/PLM [18,19]. Начнем с определений: что такое “облако”. Существует множество всяких определений. Самое простое и понятное из них: **“облако” – это большая компьютерная сеть.** Как и все сети, “облако” состоит из серверов, которые могут располагаться где угодно, и клиентских компьютеров таких, как ПК читателей этого пособия, объединенных интернетом или локальными сетями. Таким образом, “облако” – просто метафорическое обозначение глобальной сети компьютеров, которые могут общаться друг с другом с помощью интернет-протоколов.

#### *SaaS, или Облачная САПР*

Одним из новых ключевых понятий облачной технологии является SaaS (Software as a service – программное обеспечение как услуга). Смысл его заключается в том, что теперь, вместо того чтобы покупать программу и затем устанавливать её на своем компьютере, вы подписываетесь на удаленное её использование через Интернет. Таким образом, заплатив за право использования ПО компании-провайдеру, поддерживающей облачную САПР, вы будете решать свои задачи на сервере этого провайдера с помощью установленного на нём ПО, связываясь с сервером посредством Интернета.

Есть несколько сценариев, когда облачные САПР могут иметь смысл. Предположим, что время от времени у вас возникает потребность в очень сложном инженерном анализе, визуализации или анимации. Для выполнения этих редко повторяющихся работ потребуются высокопроизводительные рабочие станции, графические карты, программное обеспечение, услуги интеграции – то, что увеличит затраты, но будет задействовано недостаточно часто, чтобы окупить инвестиции. Избавиться от таких задач можно с помощью “облака”.

В настоящее время большинство организаций и компаний имеет быстрые, качественные локальные вычислительные сети (ЛВС). Им приходится делать выбор, куда установить программное обеспечение САПР: на сервер или на локальные компьютеры. Преимущество инсталляции на локальном компьютере – более высокая производительность. С другой стороны, при установке на сервере потребуется только одна копия САПР вместо инсталляции множества копий на локальных компьютерах, и это означает снижение затрат на поддержку программного обеспечения. Вот вам ещё один аргумент в пользу “облака”.

Для развития облачных технологий в равной степени важно решить ряд организационных, юридических и технических вопросов типа: кто является собственником тех или иных данных; как будет осуществляться обновление программного обеспечения; как отразится на клиентах ситуация, если поставщик сервиса выйдет из бизнеса и др.

Движение в сторону облаков возглавила компания *Autodesk*, которая в 2010 году запустила общедоступный облачный сервис PLM 360, а потом дополнила его другими облачными услугами, в том числе для инженерных расчетов, информационного моделирования зданий и др. Остальные ведущие игроки рынка САПР/PLM действуют в том же русле. Так, *Dassault Systemes* запустила сервисы *n!Fuse* и *n!Volve* для коллективной работы и совместного использования файлов с проектными данными, *3DSWYM* для организации социальных сетей и онлайн-магазин 3DStore. *Siemens PLM Software* в том же 2010 году анонсировала облачный вариант своей PLM-платформы *Teamcenter*.

Но не только киты отрасли предлагают облачные сервисы. По такой модели уже давно работают компании *Aras* и *ArenaSolutions*, а недавно к ним присоединился целый ряд стартапов, включая *GrabCAD*, *Sunglass*, *TinkerCAD*, *Kenesto*, которые продвигают различные облачные услуги пользователям САПР/PLM. Российские компании не отстают от зарубежных. Так, фирма АСКОН недавно запустила облачный PLM-сервис *Dexma*, создав для этого одноименный стартап.

Кроме того, доступ к облаку означает работу через Интернет. Когда вам потребуется за короткий промежуток времени выполнить большой объем вычислений, связанных с рендерингом или анализом, вряд ли у вас под рукой окажутся достаточные для этого вычислительные мощности.

#### 4.2.3.6 Особенности облачных САД-приложений

В числе приложений, переносимых сегодня в облачную инфраструктуру, чаще упоминаются легкие приложения: почта, офис, CRM, бухгалтерия, а как дело обстоит с тяжелыми, ресурсоемкими приложениями, такими как САД/САМ/САЕ?

Одна из главных статей расходов ИТ-отдела промышленного предприятия – закупка и обновление оборудования для поддержки САПР, которые с каждой новой версией предъявляют все более высокие требования к аппаратному обеспечению [18,19]. Другая статья – покупка постоянных лицензий для сотрудников на все используемое ПО, независимо от режима его использования, хотя многие узкоспециализированные модули, например фотореалистический рендеринг и расчеты кинематики, нужны лишь время от времени, но сегодня нельзя платить за них по факту использования. Еще хуже обстоит дело, если предприятие привлекает внештатных сотрудников для временных проектов — сейчас для них приходится закупать постоянные лицензии и высокопроизводительное оборудование и нельзя приобрести лицензию на ПО только на время выполнения проекта. А что делать с этими лицензиями после окончания работ? Обычно лицензионное соглашение не позволяет перепродавать программное обеспечение третьей стороне.

Современный рынок САПР имеет еще одно слабое место — большинство популярных систем поддерживают только платформы Windows. На мировом рынке наметилась тенденция к появлению Linux-версий САПР, например, Bricscad компании Bricsys или ARES от Graebert, но в России они не представлены по причине отсутствия локализации и адаптации под местные стандарты. Имеются, правда, примеры решений по запуску приложений автоматизированного проектирования для Windows на Unix-системах (WINE@Etersoft CAD российской компании Etersoft), однако здесь речь идет о дополнительном буфере, а не о полноценной САПР на альтернативной платформе.

Говоря о вопросах, решаемых ИТ-отделом по обеспечению работоспособности продуктов САПР, следует отметить актуальность проблемы поддержки мобильности инженерного персонала. Сегодня сотрудники все больше времени проводят в командировках: демонстрируют решения заказчикам, выезжают на промышленные предприятия для контроля или работают вне офиса, и необходимое им ПО должно быть доступно на любом имеющемся под рукой оборудовании.

С этими задачами сегодня сталкиваются многие предприятия, использующие САПР, и облака способны их решить [18,19].

Учитывая структуру российской промышленности с большой долей предприятий оборонно-промышленного комплекса, логично предположить, что



наибольшую популярность получают частные облака для размещения в них САПР. Недоверие к внешним провайдерам, вопросы безопасности и надежности пока будут превалировать при принятии решений. С точки зрения функционирования инженерного подразделения разницы при работе в частном или публичном облаке нет, поэтому не имеет смысла акцентировать внимание на типе облака — без учета менталитета их преимущества аналогичны для обоих типов. На рисунке 4.1 приведены две основные схемы работы с облаками, анонсированные производителями САПР.



*Рисунок 4.1-Две основные схемы работы с облаками*

К *достоинствам* работы с облаками можно отнести следующие факторы [18,19]:

- *отсутствие необходимости установки ПО на клиентских местах.* Все, что необходимо для работы, – это доступ в Интернет. При обновлении версии САПР не надо переустанавливать ПО на стороне клиента и соответственно оплачивать обновления, причем все модернизации будут выполнены в день их выхода. Сегодня процесс переустановки сотен лицензий САПР проходит весьма болезненно, растягивается во времени и создает неудобства из-за необходимости работы с разными версиями ПО. Облака избавляют от этой проблемы, причем если облако публичное, то вообще исчезает необходимость содержать в штате компании специалиста по поддержке САПР;

- *производительность.* Сама САПР в облачной модели работает на удаленном сервере, а значит, больше не нужно наращивать мощности клиента и уже установленное оборудование может дольше выполнять свои функции. Работа даже с «тяжелыми», графическими приложениями становится возможной практически с любого устройства, независимо от его характеристик: сложные вычисления и рендеринг выполняются на сервере, а на компьютер пользователя передается лишь слайд-шоу, обработка которого не составляет труда для любой видеоподсистемы;

- **независимость от ОС на клиентских рабочих местах.** При работе в облаке сотрудники на своих рабочих местах могут использовать Windows, Linux, Mac OS, Windows Mobile, iOS или Android. Потенциально облака могут стимулировать Linux-сообщество, инициировав новый виток конкуренции среди ОС, например, благодаря появлению облачных операционных систем;
- **мобильность.** При работе с облаком сотрудник уже не привязан к офису и конкретному компьютеру, необходимые файлы и каталоги размещаются централизованно, что упорядочивает процесс выполнения проекта.
- **защищенность.** Доступ к приложениям в облаке осуществляется по защищенным каналам, а данные на сервере, как правило, защищены более надежно, чем на персональном компьютере сотрудника.

**Недостатки.** Главная проблема перехода к облачной модели — сложившееся предубеждение. Многим, к примеру, кажется, что данные в облаке обязательно украдут либо конкуренты, либо недобросовестный провайдер с целью перепродажи их заинтересованным сторонам. И хотя украсть данные с рабочего компьютера сотрудника сегодня проще, чем из облака, боязнь передачи своих данных на сторону будет еще долго сдерживать развитие САПР в сторону облаков. Решить эту проблему могут только положительные примеры перехода на облачные технологии, например, сегодня мало кто задумывается о безопасности публичных почтовых сервисов, да и деньги большинство граждан страны уже предпочитает хранить в публичных банках, а не дома.

Следующая проблема, актуальная для отечественного пользователя САПР, — отсутствие повсеместного качественного доступа к Сети. Развитие облаков сдерживается из-за медленного проникновения широкополосного доступа и существующих сегодня на многих предприятиях запретов на использование Интернет. Однако, даже если будет обеспечен быстрый доступ к Сети, не исключен риск остаться без рабочего инструмента и данных, как сегодня имеется риск остаться без электричества.

Проблема обеспечения надежной работы с конфиденциальными данными может быть решена в частных облаках, для их построения даже для предприятий оборонно-промышленного комплекса имеются сертифицированные ФСТЭК операционные системы, которые можно установить на рабочих местах (например, AltLinux 4.0), САПР (КОМПАС-3D V11) и системы виртуализации (CitrixXenApp 4.5).

В целом технических проблем работы с частными облаками нет, однако остается вопрос экономической целесообразности переноса САПР в облака. Если на предприятии имеется работоспособный парк современной техники, закуплены постоянные лицензии на ПО, то разрушать инфраструктуру бессмысленно. Момент расширения бизнеса, преодоления критической точки износа компьютерного парка или перехода на новое ПО – это самое лучшее время задуматься о переносе САПР в облака.

Индустрия САПР достаточно консервативна и вряд ли быстро перейдет к облачной модели, однако все ведущие производители решений САПР (кроме, пожалуй, компании РТС) в той или иной степени уже работают над собственными облачными проектами [18,19].

Компания Siemens PLM Software адаптирует свое решение по управлению качеством Tecnomatix DPV Quality для платформы Azure с целью обеспечения поддержки замкнутого цикла процессов управления и анализа. Система выполняет сбор, управление и анализ результатов работы производства в режиме реального времени. Перенос ее в облако позволит заказчикам сократить расходы на поддержку собственной инфраструктуры. Компания также продемонстрировала работу своей флагманской САПР NX на AppleiPad и объявила о совместных с Microsoft планах по созданию среды разработки изделий на платформе Azure и инструментов просмотра данных в формате JT.

Компания Autodesk через исследовательское подразделение AutodeskLabs предоставила открытый тестовый доступ ко множеству своих приложений, способных работать в облаках. Всего таких приложений пока 16, в их числе ProjectButterfly – среда для просмотра и рецензирования проектов онлайн, Project Neon – облачный фотореалистичный рендеринг, Inventor Optimization – оптимизация проектов, ProjectTwitch – предоставление через Интернет рабочих сессий AutoCAD, Revit и Inventor. Фактически Twitch — это полноценная САПР в облаке, и, если проект будет признан успешным, то компании не составит труда предоставить к нему и коммерческий доступ. В России похожий проект (AutoCADonline) был запущен вместе с компанией Softkey, однако вскоре был закрыт.

Активно движется в направлении облаков и компания Dassault Systemes. В 2010 году широкой общественности был показан прототип нового поколения САПР Solidworks, работающий из облака на компьютере под управлением Mac OS. В 2011 году в компании подтвердили, что следующее поколение системы действительно будет во многом ориентировано на работу в облаке, заметив, что и настольные версии будут существовать, пока на них сохранится рыночный спрос. Другой продукт компании, ENOVIA, – основа коллективной PLM — также явно движется в сторону облачного сервиса. На базе ENOVIA создаются облачные средства коллективной разработки, а также входящие в PLM-решение Dassault инструменты инженерного анализа, работающие через сеть.

Компания АСКОН предлагает заказчикам систему КОМПАС-3D по облачной модели с ежемесячной оплатой. Заказчики могут получить доступ к системе с любых устройств к публичному облаку, на котором размещены различные конфигурации САПР. Сервис-провайдером выступила российская компания Cloud IT, предоставившая свой ЦОД. Проект стал развитием существующего с 2008 года проекта CAD-Online, который до осени 2010 года работал в деморежиме.

Выходят на этот рынок и новые игроки. Английская компания ieDezine запустила глобальный проект Web-сервис Dezine Forge для облачной обработки данных — заказчики могут арендовать средства CAE-анализа (ANSYS, MSC Software и LS-DYNA) и запускать их на высокопроизводительном кластере. Услуги продаются на основе годовой подписки с включенным количеством часов работы сервиса.

Рынок САПР начал свой путь в облака, однако этот процесс не может развиваться изолированно от других сегментов ИТ-рынка, и чем быстрее будет

происходить переход на облачные сервисы, тем ближе к облакам будут и инженерные подразделения.

#### 4.2.3.7 Особенности облачных САМ-приложений

В феврале 2017 года компания MegSoftCorp анонсировала выход облачной САМ-системы под названием shapeCAM, продемонстрировала ее прототип на нескольких выставках в США и разместила демонстрационный ролик на YouTube, который в принципе дает общее представление о функционале будущего продукта: «Мы считаем, что «облако» – это жизнеспособная платформа не только для САД, но и для САМ, поэтому стали работать в этой области, – заявил Джо Ананд (Joe Anand), президент MegSoftCorp. – И поэтому я рад объявить о релизе облачной САМ-системы для Onshape, которая выведет производство на новый уровень».

Тем временем, появившийся также в начале 2017 года стартап OnCreate3D, перехватывая пальму первенства, уже приглашает всех желающих к бета-тестированию на одноименном веб-ресурсе. Проект OnCreate3D был инициирован индийской компанией Machining Software Pvt. Ltd. India, причем не на пустом месте – судя по всему за основу была взята собственная десктопная система EagleCAM. Директор компании, г-н Abhijit Kumthekar имеет опыт разработки и необходимый багаж знаний в области САМ. Прежде чем начать собственное дело, он успел поработать в PTC, CNC Software (Mastercam) и Geometric (CAMWorks).

Из описания на сайте следует, что система OnCreate3D способна импортировать множество различных форматов, в том числе STL, STEP, IGES для 3D фрезерования, DXF, DWG для токарной и листовой обработки, генерировать управляющие программы как на ПК и ноутбуках, так и при помощи смартфонов и планшетных компьютеров. Традиционная и сильная сторона облачных САПР – пользователи могут делиться между собой проектами, включающими модель детали и созданные траектории. Просматриваются и первые сложности, которые могут возникнуть у разработчиков облачных САМ и стать преградой на пути к коммерческому успеху их продуктов. Первая проблема заключается в симуляции обработки: пользователю нужно видеть процесс обработки в динамике, а не в статике (как сейчас), еще лучше – в среде виртуального станка. Кроме того, не стоит забывать, что облачный САПР должен не только располагаться в Облаке, но и его интерфейс следует адаптировать для работы, например, на планшете или смартфоне с тач-скрином [20,21].

Всем, кто ждет появления облачных САМ, следует запастись терпением – они будут, но приемлемый уровень функционала и качества появится лишь через 2-3 года. Хотя вполне возможно, что большего прогресса добьются не первопроходцы из MegSoftCorp. и Machining Software Pvt. Ltd. India, а другой, более авторитетный, опытный и богатый вендор САПР.

В начале 2000-х годов отечественные промышленные предприятия начали активно заменять изношенное и морально устаревшее металлорежущее оборудование на современные, в основном импортные станки с числовым про-

граммным управлением (ЧПУ). И тогда часто возникали курьезные ситуации, связанные с непониманием заводчанами современных ЧПУ-технологий и принципов работы в САМ. Вспоминается случай, когда начальник производства одного из предприятий сразу же после завершения пуско-наладки оборудования высказал идею о том, что теперь достаточно “скормить” чертеж станку, который без посторонней помощи “выдаст” готовую деталь.

Сегодня приходит осознание, что та мысль была не такой уж наивной или фантастической. Вычислительные возможности современных стоек не уступают мощным персональным компьютерам, постоянное подключение к глобальной сети обеспечивает удаленную диагностику, а программное обеспечение предлагает небывалый уровень автоматизации и скорости разработки управляющих программ (УП).

Согласно классическому определению, САМ - это автоматизированная система, либо модуль автоматизированной системы, предназначенный для подготовки УП для станков с ЧПУ. Под термином понимаются как сам процесс компьютеризированной подготовки производства, так и программно-вычислительные комплексы, используемые инженерами-технологами. Таким образом, любая САМ-система непосредственно связана с двумя объектами — персональным компьютером и станком с ЧПУ [20,21].

В отличие от известной дилеммы курицы и яйца можно однозначно утверждать, что ЭВМ и станок появились раньше, чем инженерное ПО, и, как минимум, на начальном этапе они в одностороннем порядке влияли на становление и развитие САМ-систем. Проследив путь эволюции вычислительной техники и производственных технологий и совместив его с данными развития программного обеспечения, можно нарисовать некий вектор в завтрашний день и для САМ. Кроме того, если мы знаем, над какими задачами прямо сейчас трудятся разработчики САМ, то легко спрогнозировать что именно получат пользователи через 1-2-3 года, которые обычно требуются для вывода на рынок обновленного продукта или реализации абсолютно нового проекта.

Разрабатываемый функционал программных продуктов и маркетинг САМ-систем отражает следующие особенности:

- если в конце 20 века функционал и окружение программного продукта играли важную роль, то в начале 21 века стремление потребителя получить большую степень автоматизации и опыта сместили акценты при разработке функционала;

- маркетинговая стратегия вендоров САМ подразумевает тесное партнерство с производителями и поставщиками станков с ЧПУ. Поставляются наборы: станок + САД/САМ - система + режущий инструмент и приспособления, либо решение для обработки одной детали: станок + управляющая программа + набор инструментов для обработки конкретной детали;

- новый тренд: полное решение, система «под ключ»: заказчики хотят получить знания и опыт для производства множества различных деталей в пределах одной специализации (отрасли);

- пользователи САМ-систем хотят получить больше автоматизации, знаний и опыта;

- даже несмотря на появление облачной САМ системы на базе Fusion 360 от Autodesk и работающей в браузере САД-системы Onshape, нельзя сказать, что разработчики САПР ринулись переносить свои инженерные разработки в облака. Наиболее перспективная для них тема в ближайшем будущем — это размещение в облаках баз данных, например, режущего инструмента, технологий, виртуальных моделей станков и оснастки.

- базовые уровни САМ-систем становятся бесплатными или условно-бесплатными. Так, Autodesk предлагает HSMXPRESS и Inventor HSM Express для 2,5-осевой обработки совершенно бесплатно (требуется соответствующая САД-система). Основная прибыль вендоров будет достигаться за счет годовой поддержки (SMC) или подписки, а также продаж САМ и специализированных решений в высокотехнологичных областях, к которым относятся, в том числе, токарно-фрезерная, многозадачная и многоосевая обработка.

Резюмируя вышесказанное следует отметить: системы становятся сложнее внутри, но одновременно более доступными и простыми в использовании, автоматизированными и даже самообучающимися. Программное обеспечение, знания и опыт непосредственно влияют на эволюцию технологий механической обработки и ЧПУ. Интернет и облачные решения как проводники знаний и опыта, также начинают играть активную роль в развитии САМ-систем [20,21].

### *Интерфейс*

Раньше удобство пользовательского интерфейса не было решающим фактором при выборе программного продукта. Ценилась больше функциональность. Это было связано с тем, что программы были не столь функциональны, а инструментарий программиста был не такой мощный. В результате программирование одной функции было огромной работой. Если продукт имел на 2-3 функции больше, чем у конкурента, то были большие шансы на успех.

Сегодня практически любой функционал легко и быстро повторяется конкурентами. Получить длительное по времени конкурентное преимущество можно, внедрив более интеллектуальный функционал, разработав хороший интерфейс пользователя. Создать удачный интерфейс — это большая работа. Фактически, действительно мощный инструментарий для создания пользовательских интерфейсов начал появляться совсем недавно.

Нельзя сказать, что появление планшетных и компьютеров-трансформеров с сенсорными дисплеями обрело большую популярность и востребованность на современном производстве. Тем не менее, предпринимаются попытки адаптировать процесс работы в САД и САМ-системах к мобильным электронным устройствам. Примеры работы с Onshape и Edgcam наглядно демонстрируют прогресс в развитии тач-интерфейсов. Оказывается, что создавать 3D модели или разрабатывать УП можно с достаточным удобством не только на ПК.

Инженеры не останавливаются и продолжают изобретать новые устройства ввода информации. Управление голосом и жестами постепенно внедряется в бытовую технику — даже телевизор переключает каналы, распознавая взмах руки. Не исключено, что работа технолога будет напоминать действия Тома

Круза в фильме “Особое мнение”, ну или хотя бы походить на эксперимент ESPRIT с контроллером Kinect [20,21].

Ведущие мировые производители оборудования и режущего инструмента первыми предложили решения для использования новой технологии. Разработчикам САМ понадобилось достаточно продолжительное время, чтобы адаптироваться к новым потребностям рынка и приступить к разработке функционала.

Основные игроки на рынке САМ предлагают “брендируемые” и запатентованные стратегии обработки - на слуху Vortex от DELCAM, ProfitMilling в ESPRIT, iMachining в SolidCAM, Dynamic Motion в Mastercam, AdaptiveClearing от Autodesk (HSM series). Новые стратегии сочетают традиционную с эквидистантной траекториями и обладают довольно сложными алгоритмами, обеспечивающими постоянство съема материала и нагрузки на инструмент.

### ***Интеллект и автоматизация***

Степень автоматизации является одной из самых интересных и многообещающих характеристик САМ-систем. Речь прежде всего идет о FBM и KBM. FBM или Feature Based Machining — технология, подразумевающая распознавание конструктивных элементов 3D модели детали и автоматическое применение к ним стратегий обработки. KBM или Knowledge Based Machining отличается лишь тем, что к распознанным конструктивным элементам применяются стратегии, учитывающие пользовательский опыт. Можно сказать, что KBM является дальнейшим развитием FBM. На практике это означает, что пользователь способен “тонко” настроить процесс обработки, а также ему доступны варианты обработки, предложенные ранее другими пользователями системы.

Пользователи одной из популярных САМ-систем среднего класса, имеющей в своем составе модуль KBM, выполняют следующие действия для автоматического получения операций обработки:

- загружают 3D модель детали и устанавливают базовые параметры, такие как материал детали, тип детали (вал, втулка, фланец, зубчатое колесо и др.), выбирают библиотеку технологий (их может быть несколько);
- распознают в ручном или автоматическом режиме конструктивные элементы детали, система строит дерево элементов или так называемых “фичерсов”;
- назначают элементы, подлежащие обработке, и система предлагает один или несколько вариантов, отличающихся, например, количеством или последовательностью операций;
- выбирают один из вариантов и система создает операции обработки, содержащие траектории, инструмент и режимы резания. Созданные таким способом операции обработки обычно доступны для дальнейшего редактирования.

Самое интересное происходит на этапе, когда система предлагает один или несколько вариантов (маршрутов) обработки. Конечно же, здесь нет никакого чуда или работы искусственного интеллекта — секрет во взаимодействии нескольких баз данных.

Одна база содержит описание конструктивных элементов, например, элементу “карман” с размерами 10×10×5 присвоен тип “малый”, с размерами

30×30×10 - “средний” и т. д. Другая база содержит стандартные операции обработки в параметрическом виде, шаблоны, которые, например, определяют расчет диаметра инструмента. Между ними есть логическая связь: если карман “малый”, то подходит такой-то набор операций, если “средний”, то такой-то. Разумеется, как элементов, так и условий может быть бесконечно много.

Когда конструктивные элементы, подлежащие обработке, определены, система сравнивает их с эталонными элементами в базе. Найдя совпадения, модуль КВМ “тянет” из базы рассчитанные операции и “накладывает” их на выбранные конструктивные элементы. Учитывая, что в нашем случае все элементы могут редактироваться, а сами базы (SQL) доступны сразу множеству пользователей, то получается, что при желании и должном терпении коллектив технологов-программистов может заполнить систему таким количеством данных, что та “научится” автоматически генерировать УП приемлемого качества на определенный класс деталей, пусть и не самых сложных.

Достаточно взглянуть на проект Machining Cloud (Облако обработки), чтобы факт предстоящей миграции инструментальных баз данных в облака стал очевидным. Платформа Machining Cloud обеспечивает кроссплатформенный доступ к обширным производственным данным в облаке, в первую очередь — к данным о режущем инструменте и оснастке. При этом ключевая ценность для пользователей состоит в том, что ответственность за наполнение актуальным и детализированным контентом, ложится на самого производителя, а не разработчика САМ-системы или сторонние компании, занимающиеся наполнением и “переводом” баз данных. Для реализации такой концепции необходимо решить две непростые задачи: во-первых, договориться с производителями о регулярной работе по наполнению облака данными о своей продукции, и, во-вторых, создать набор приложений для доступа к облаку из различных операционных систем, как десктопных, так и мобильных.

Одним из наиболее перспективных аспектов применения MachiningCloud является автоматизация подбора инструмента и режимов резания непосредственно из САМ-системы, которая передает параметры распознанных конструктивных элементов 3D модели обрабатываемой детали в облако, а обратно получает список инструментов и рекомендованные значения режимов обработки. Причем нужно отметить, что импортированные инструменты служат не только для последующего расчета траекторий и верификации, но и снабжены каталожными номерами, что значительно облегчает работу технолога, отвечающего за выбор и приобретение инструмента, необходимого для выполнения текущего производственного задания.

Примечательно, что Machining Cloud уже наполняется данными со стороны таких известных производителей как Iscar, KENNAMETAL, Mitsubishi, HORN, WIDIA. Виртуальные инструменты и оснастка, в свою очередь, доступны пользователям программных продуктов Vericut, ESPRIT, NCSIMUL, IMSverify, Mastercam, NX и TopSolid.



#### 4.2.3.8 Особенности облачных CAE-приложений

Новые бизнес-модели предоставления программного обеспечения инженерного анализа как облачного сервиса, позволят существенно изменить CAE рынок в ближайшие 5 лет и обеспечить доступ инженеров и исследователей к доступным высокопроизводительным ресурсам для расчетов и анализа.

Многодисциплинарные инженерные расчеты в программных CAE-системах зачастую требуют интенсивного применения параллельных вычислений, параметрической оптимизации и многовариантных исследований. При этом инженеры-расчетчики, использующие CAE-системы, зачастую оказываются ограниченными в использовании высокопроизводительных ресурсов по причине отсутствия оборудования или лицензий на ПО. Закупку данных ресурсов сложно обосновать при выполнении кратковременного проекта и пиковой потребности.

За счет появления компаний, практикующих новые бизнес-модели, данная проблема может быть снята. Технологии облачного проектирования, гибкого лицензирования (pay-as-you-go), доступа к инженерным системам с мобильных устройств обладают потенциалом наиболее интенсивного роста в ближайшие 5 лет и могут существенно изменить рынок программного обеспечения и услуг в области инженерного анализа. На рынке появляются новые компании, предлагающие обновленные схемы работы с системами инженерного анализа в облаке по системе «программное обеспечение как сервис»[22,23].

**SimScale** созданная в 2012 г. платформа для выполнения инженерных расчетов в облаке с доступом через интернет-браузер. Компания заявляет о поставленной цели применения облачных вычислений и передовых технологий не для создания еще одного традиционного пакета решения инженерных задач, а для образования экосистемы, в которой программное обеспечение, инженерные задачи и эксперты соединены для эффективной работы и создания лучших образцов продукции. SimScale поддерживает полный цикл проведения инженерных расчетов, начиная от загрузки CAD модели и работы с ней, создания расчетной сетки, выполнение многодисциплинарных расчетов и пост-процессинг. Платформа также предлагает доступ к библиотеке проектов, которая позволяет пользователям проводить поиск по общедоступным моделям. Доступен сервис он-лайн управления проектами. Плата взимается только за фактически использованные ресурсы [22,23].

**AweSim** - партнерский альянс между суперкомпьютерным центром Огайо, экспертным сообществом в области компьютерного инжиниринга и промышленными компаниями. Целью альянса является предоставление доступа малому и среднему бизнесу к возможностям математического моделирования, для разработки инновационных продуктов. AweSim предлагает интегрированные коммерческие решения в части программного обеспечения для инженерного анализа и услуг для малого и среднего бизнеса [22,23].

**Rescale** – основанная в 2011 г. компания предлагает облачную платформу для инженерного анализа, для выполнения научных и практических расчетов. Пользователям предлагается широкий выбор программного обеспечения и вы-

числительных систем в рамках единой виртуальной среды. Платформа доступна в трех вариантах – для исследователей, разработчиков и компаний.

**UberCloud** – онлайн сообщество, основанное в 2012 г., в котором инженеры и ученые могут попробовать применение высокопроизводительных вычислений как услуги в облаке, с использованием ведущих коммерческих программных продуктов. Сообщество предлагает бесплатные примеры, вебинары и форум. Области решаемых задач – аэродинамика, прочность, химия, междисциплинарные расчеты, естественные науки. UberCloud предлагает воспользоваться пробными бесплатными ресурсами в объеме 1000 часов CPU при условии открытой публикации проекта [22,23].

**FidesysOnline** - бесплатная облачная система автоматизированных инженерных расчетов, анонсированная Российским разработчиком ПО для инженерного анализа. Сервис позволяет производить расчет напряженно-деформированного состояния конструкций при статическом нагружении. Возможен расчет моделей, содержащих до 100 тысяч узлов сетки. Сервис содержит ряд готовых примеров деталей с заданными параметрами расчета и подробное пошаговое руководство для ознакомления с возможностями пакета.

#### ***4.2.3.9 Комплексный облачный инструмент AUTODESK FUSION 360***

**Autodesk Fusion 360** – это комплексный облачный CAD/CAM/CAE инструмент. Объединяет все процессы разработки проекта в рамках одного программного продукта на основе облачных технологий, совместимых и с Windows, и с macOS. Совместная работа с коллегами, управление версиями, визуализация моделей, публикация проектов и общий доступ к ним— все выполняется в облаке.

Добавление облачных служб позволяет ускорить такие процессы, как работа над макетом с другими пользователями или визуализация 3D-изображения.

Преимущества облачных систем над платформенными:

- выполнение задач, требующих большой вычислительной мощности, занимает несколько минут или часов, а не дней;
- визуализацию 3D-изображений и разнообразные расчеты можно выполнять практически в любое время и в любом месте;
- мобильные устройства позволяют мгновенно обмениваться последними версиями планов проекта с коллегами;
- возможности управления расширяются до уровня проектной группы;
- можно повысить качество выполняемых работ, обеспечить повышенную безопасность и оптимизировать процессы ввода в эксплуатацию на месте.

Понимание того, как изделие будет вести себя в реальной среде до того, как оно пойдет в производство, может сэкономить время и деньги. Инструменты инженерного анализа позволяют выявить наиболее уязвимые места будущего продукта и исправить их на стадии проектирования. Имеется возможность применить прочностной и модальный анализ, расчет теплообмена и усталостной прочности.

Поддерживается импорт более 50 различных CAD-форматов. Fusion 360 сохранит исходный файл и создаст на его основе собственный комплексный формат F3D. Экспортируются файлы на локальный компьютер или в облако. Как только модель экспортируется и будет готова к скачиванию, вы получите e-mail уведомление. Локальный экспорт включает в себя форматы IGES, SAT, SMT, STEP, F3D и DXF. Облачный экспорт включает в себя Inventor, IGES, SAT, SMT, STEP, DWG, DXF, STL, FBX, и F3D.

Выполнение сборки деталей возможно прямо в той же среде, в которой они моделировались. Соединения деталей можно сделать жесткими, например, так, как они построены в данный момент, или указать более детальную специфику подвижного соединения: вращательное, поступательное, плоскостное, сферическое, винтовое и др. Так же можно указать пределы движения, чтобы добиться именно такого типа соединения, которое должно быть в реальности и тут же предварительно просмотреть любые изменения кинематики.

Возможно узнать, как вела бы себя сборка в реальности, активировав все соединения в среде *MotionStudy*. Установить порядок и способ взаимодействия подвижных соединений и оценить итоговую картину кинематики. Просмотреть анимацию динамического движения или проиграть ее в реверсе.

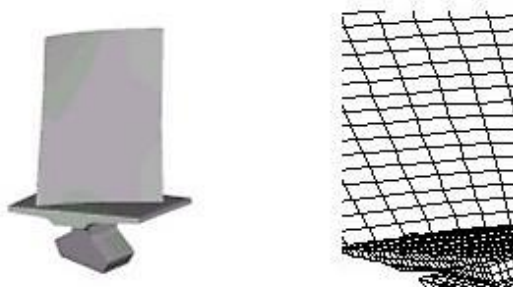
Fusion 360 поддерживает создание фотореалистичных изображений при помощи мощи облачных серверов Autodesk. Есть возможность воспользоваться огромной библиотекой доступных материалов, такими как, полупрозрачные пластики, дерево, металл, стекло и композиты; редактировать существующие материалы и подстраивать их под проект; настраивать параметры камеры, такие как фокусное расстояние, глубина резкости, тип освещения и окружающая среда; создавать анимацию для сборки, используя гибкие инструменты настройки камеры, переходов, появления/исчезновения деталей, ручного или автоматического «взрыва» сборки, информационных текстовых выносок и т.д.; делиться анимацией, предварительно экспортировав ее в MP4 видеоролик.

#### **4.2.3.10 Технологическая подготовка производства с интеграцией CAD/CAM/CAE-систем**

Сущность интеграции состоит в способности создавать данные в одном приложении и при малых изменениях использовать их для другого приложения. CAD/CAM/CAE являются интегрированными системами. Интеграция в них осуществляется через геометрические модели объектов, которые подвергаются соответствующим преобразованиям [23]. Компьютерные геометрические модели – это способ представления данных о проектируемом объекте, его форме, размерах, ориентации в пространстве, связях с другими деталями и пр.

#### ***Интеграция геометрических и конечно-элементных моделей***

Интеграция CAD и CAE систем заключается в том, что конечно-элементная модель, необходимая для инженерного расчёта в CAE-системе, строится по геометрической модели в CAD системе. Для такого построения в CAD системах используется приложение FEM (**Finite Element Modeling** – конечно-элементное моделирование). При преобразовании геометрической модели в модель конечных элементов пользователь наносит на геометрическую модель сетку, то есть разбивает её на конечное число элементов, каждый из которых идентифицируется координатами своих узлов  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и взаимосвязью с соседними элементами (рисунок 4.2).



*Рисунок 4.2- Преобразование геометрической модели в модель конечных элементов*

Для представления высоких нагрузок в соответствующих областях элементы сетки измельчаются, что означает размещение в них большего числа элементов, чем это предполагается равномерным разбиением. Затем указываются места закрепления детали и точки приложения векторов сил. Эта информация воспринимается программой, которая имитирует возникновение нагрузок на модель. Затем по модели конечных элементов создаются данные, представляющие координаты узлов сетки и другую информацию, которая необходима для программ анализа (ANSYS, STAR-CD и др.). Эти программы осуществляют анализ. В зависимости от запросов результаты анализа могут представлять данные о давлении и напряжении на каждый элемент, температуре, видах колебаний, деформации модели. Информацию о результатах можно представить графически.

На рисунке 4.2 приведена геометрическая интерпретация результатов расчёта статической прочности лопатки «блиска» компрессора (рабочего колеса компрессора, у которого лопатки изготавливаются заодно с диском). Лопатка моделировалась объёмными 8-ми узловыми элементами. Число элементов по максимальной толщине профиля – 4. Лопатка была жёстко закреплена по корневому сечению. Показаны главные максимальные напряжения.

Процесс анализа часто является итерационным – тем самым оптимизируется проект. В результате анализа, например, может быть выявлена концентрация напряжений, которая выходит за пределы допустимых характеристик материала детали. Эти факты, обнаруживаемые в процессе анализа, обуславливают конструкторские изменения, такие, как размещение добавочных опор, утолщение, переопределение нагрузки, изменение типа материала или другие коррек-

тирующие действия. После выполнения этих исправлений геометрия модели может измениться.

Интеграция **CAD/CAM-систем** заключается в том, что геометрическая модель объекта используется для разработки технологических процессов изготовления и контроля реальной детали, для проектирования заготовки – путём добавления к ней технологических припусков и расчёта размерных технологических цепей, для проектирования литейной и штамповой технологической оснастки.

При проектировании литейной и штамповой технологической оснастки на первом этапе осуществляется доработка геометрической модели детали с учётом термодинамических свойств материала детали, т.е. конструктор определяет усадку материала, в соответствии с которой вводятся различные коэффициенты масштаба по осям координат. На втором этапе производится назначение литейных или штамповочных припусков на механическую обработку и вновь корректируется геометрическая модель. Таким образом производится переход от геометрической модели детали к геометрической модели заготовки – отливки или штамповки. На третьем этапе в CAD/CAM системах, например, в PowerMill, по полученным геометрическим моделям заготовки конструируется технологическая оснастка:

- строятся поверхности и линии разъемов;
- определяются формирующие элементы - полуформы для отливок, вставки для пресс-форм, комплекты «матрица – пуансон» для штамповок;
- формируются управляющие программы для станков с ЧПУ для изготовления оснастки;
- производится изготовление оснастки, причём формообразующие поверхности изготавливаются либо механической обработкой на станках с ЧПУ, либо электроэрозионной обработкой также на станках с ЧПУ;
- производится получение изделия в соответствии с разработанным технологическим процессом, контроль на контрольно – измерительных машинах и сравнение полученных контуров с геометрической моделью детали. При удовлетворительных результатах следует изготовление опытно – промышленной партии деталей, сборка и испытание изделия.

Одним из современных способов использования геометрических моделей в технологической подготовке производства является стереолитография (технология **QuickCast**). Этот метод предполагает получение в CAD/CAM системе по геометрической модели стереолитографической модели (файл типа .stl) и выращивание тела детали из жидкого полимера под воздействием луча лазера, движение которого осуществляется на основе .stl - модели. Точность такого макета  $\pm 0,05$  мм. Такие макеты могут использоваться как слепки для последующего литья восковых моделей, применяемых в литейном производстве. Для лопаток, например, полимерные модели, полученные методом стереолитографии, можно использовать для аэродинамических испытаний, предварительных прочностных испытаний и проверки на собираемость лопаточных решёток.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Программа и программное обеспечение САПР. Дать определения.
2. Назовите состав программного обеспечения САПР.
3. Назовите состав общесистемного программного обеспечения САПР.
4. Операционная система. Дать определение
5. По каким укрупнённым разделам можно классифицировать операционные системы
6. Операционные оболочки. Определение. Какие функции выполняют операционные оболочки?
7. Системы программирования. Их назначение и состав.
8. Утилиты. Определение. Назовите состав и назначение компонентов утилит.
9. Прикладное программное обеспечение. Назначение и разновидности.
10. Текстовый процессор MS-Word. Выполняемые функции. Минимальная настройка рабочего окна.
11. Табличный процессор MS-Excel. Назначение. Какие информационные объекты выделяют в окне рабочей книги этого процессора?
12. Математический пакет MathCAD. Назначение и состав.
13. Диалоговый пакет статистического анализа STADIA. Назначение. Какие используются методы анализа данных?
14. Многоуровневые программно-методические комплексы (ПМК). Их назначение. Какие программные продукты используются на разных уровнях в ПМК?
15. Назовите программные продукты фирмы AUTODESK, используемые при создании ПМК. Дайте им краткую характеристику.
16. Назовите программные продукты фирмы AUTODESK, создающие трёхмерные параметрические объекты проектируемого изделия.
17. Назовите системы входящие в CAD- модуль программного продукта T-FLEX. Для каких проектных работ предназначены эти системы?
18. Какие вы знаете системы входящие в САМ-модуль программного продукта T-FLEX. Дайте им краткую характеристику.
19. С использованием каких систем из числа программных продуктов фирмы АСКОН обеспечивается автоматизация конструкторского и технологического проектирования? Дайте краткую характеристику этим системам.
20. Универсальный технологический справочник (УТС) в составе САПР ТП «Вертикаль». Каковы возможности этого УТС для повышения эффективности автоматизированного проектирования?
21. Какими преимуществами обладают облачные технологии в САПР? В каких случаях целесообразно использовать эти технологии?
22. Какими причинами вызван перенос ресурсоёмких приложений CAD/CAM/CAE в облачную инфраструктуру?
23. Назовите особенности облачных САД-приложений. Достоинства и недостатки.
24. Какие особенности отражает разрабатываемый функционал программных продуктов и маркетинг САМ-систем?

25. В чём заключается прогресс в развитии интерфейса в облачных САМ-приложениях?

26. На чём основан высокий уровень искусственного интеллекта и автоматизации в облачных САМ-приложениях?

27. Особенности облачных САЕ-приложений. Назовите современные системы для инженерного анализа в облаке и сферы их применения.

28. Назовите преимущества облачных систем над платформенными на примере комплексного облачного инструмента FUSION 360.

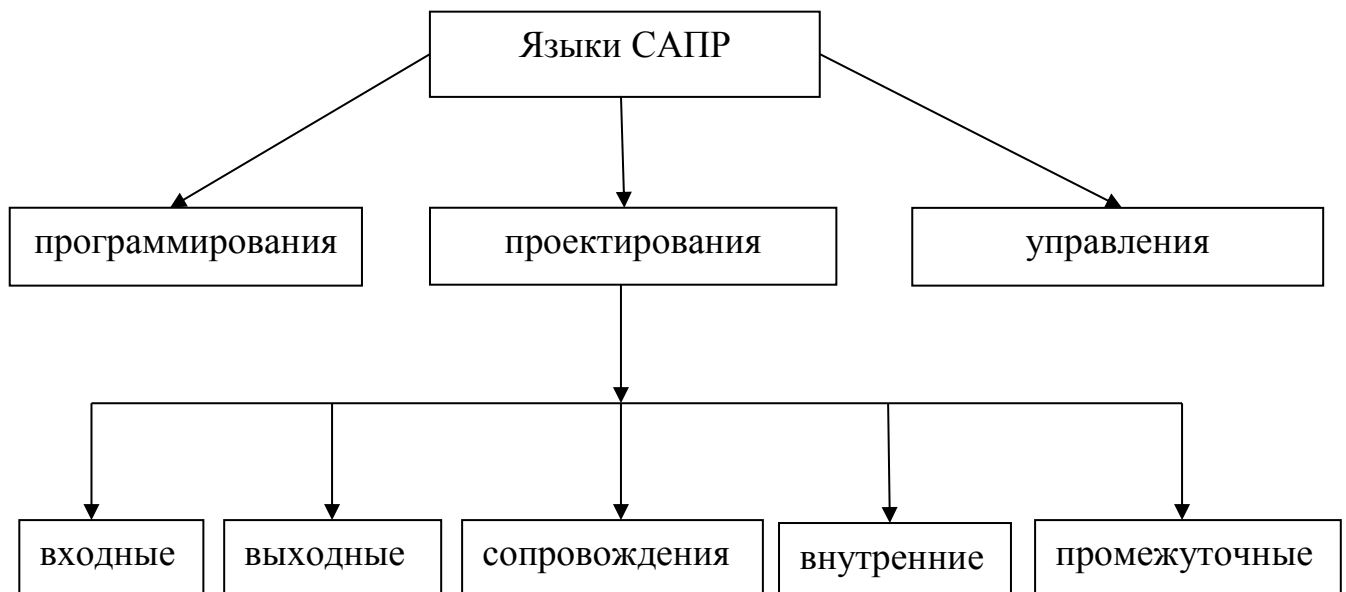
29. В чём заключается сущность интеграции САД/САЕ-систем?

## ГЛАВА 5 ЛИНГВИСТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР

### 5.1 Разновидности языков САПР

Лингвистическое обеспечение САПР - совокупность языков, используемых в процессе разработки и эксплуатации САПР для обмена информацией между человеком и ЭВМ.

Разделение указанной совокупности языков на группы показано на рисунке 5.1.



**Рисунок 5.1** - Языки САПР

Дадим определения некоторым разновидностям языков.

Язык программирования - язык для записи программ.

Язык программирования - это средство для записи алгоритмов. Им пользуются в основном разработчики программного обеспечения. К этим языкам относятся такие широко распространенные алгоритмические языки, как ФОРТРАН, ПАСКАЛЬ, С и др.

Языки управления служат для представления управляющей информации для программно-управляемого технологического оборудования и периферийных устройств ЭВМ.

Пользователю САПР необходимо ознакомиться более детально с языками проектирования. Большинство этих языков являются инструментом пользователя САПР.

Язык проектирования - язык, используемый в САПР для представления сведений о задачах и объектах проектирования.

По характеру использования выделяют две разновидности языков проектирования: языки, связывающие пользователя с ЭВМ, и языки представления информации внутри ЭВМ. К последним относятся внутренние и проме-



жужочные языки. К языкам, связывающим пользователя с ЭВМ, относятся входные, выходные и языки сопровождения.

Входные языки служат для задания исходной информации об объектах и задачах проектирования.

Далее подробно остановимся на входном языке для технологического проектирования, т.к. этот язык, прежде всего, необходим пользователю САПР ТП.

Выходные языки служат для представления результатов выполнения проектных процедур на ЭВМ.

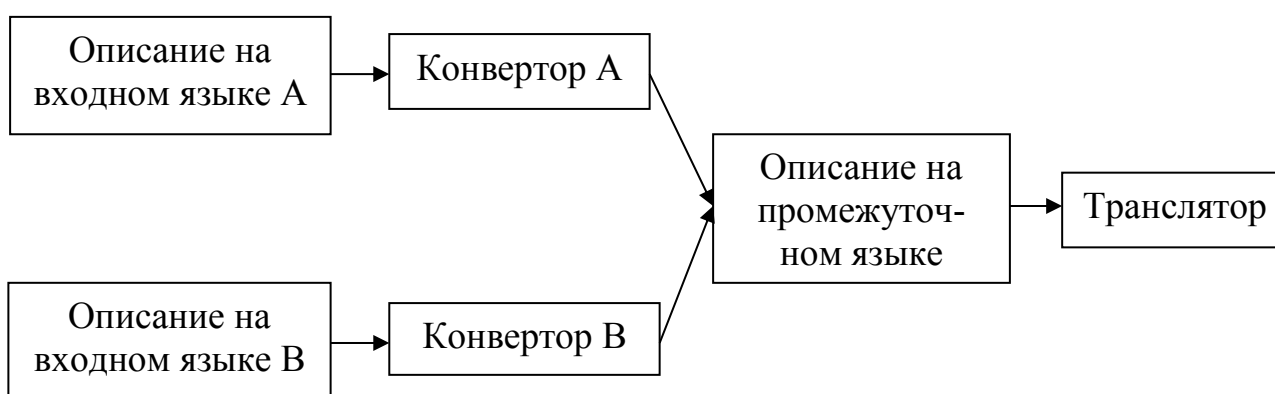
Выходные языки должны представлять результаты в удобном для пользователя виде. Для САПР ТП - это документы, в соответствии с требованиями ЕСТД (маршрутные карты, операционные карты и др.).

Языки сопровождения служат для непосредственного общения пользователя с ЭВМ в процессе решения задачи.

С помощью языков сопровождения производится корректировка и редактирование данных при выполнении проектных процедур.

Промежуточные и внутренние языки предназначены для представления информации на определенных стадиях ее переработки в ЭВМ.

Появление этих языков связано со стремлением унифицировать формы представления информации в ЭВМ. Внутренние и промежуточные языки проектирования обычно ориентированы на конкретную ЭВМ, операционную систему и базу данных. Наличие этих языков позволяет в качестве входных применять языки высокого уровня (проблемно-ориентированные), инвариантные относительно вычислительных средств. Промежуточный язык является универсальным. Он отражает особенности широкого класса проектируемых объектов (рисунок 5.2).



**Рисунок 5.2** - *Представление информации на промежуточном языке*

Пользователь САПР, прежде всего, имеет дело с входным языком САПР.

Остановимся подробнее на входном языке для технологического проектирования.

## 5.2 Входные языки для технологического проектирования

Входной язык для технологического проектирования (ВХЯ) используется для описания информации о предметах и процессах технологического проектирования.

При этом исходная технологическая информация должна быть формализована, т.е. описана при помощи набора формальных правил, позволяющих представить ее в виде, пригодном для ввода в ЭВМ.

От входного языка зависит время подготовки данных, объем памяти ЭВМ, занимаемый исходной технологической информацией, сложность алгоритмов и программ проектирования, время счета (решения задачи на ЭВМ).

Основным объектом для входного языка является информация о детали. Эта информация описывается с помощью языка описания детали (ЯОД). При этом наибольшую сложность представляет описание геометрического образа детали. Структура ЯОД соответствует структуре ВХЯ.

Рассмотрим грамматику входного языка.

Грамматика ВХЯ включает в себя знаки алфавита, правила построения слов языка из этих знаков и правил образования синтаксических единиц языка. Знаки алфавита - это буквы русского алфавита от *А* до *Я*, буквы латинского алфавита от *A* до *Z*, цифры от 0 до 9, специальные знаки =, <, > и др.

Основными синтаксическими единицами являются слова, словосочетания, выражения, предложения, описания. Остановимся на некоторых из них.

**Слово** входного языка САПР ТП представляет собой конечную последовательность букв, цифр и специальных знаков. Слово, как правило, начинается с буквы. В общем случае словами могут быть целые числа, действительные числа. Примеры слов: ФАС; Ra3,2; D60.

**Словосочетание** (выражение) - это соединение двух или более слов по правилам грамматики языка, служащее для выражения единого понятия. Например, в языке ОПОС, который будет рассмотрен позже, для характеристики размерных, точностных параметров и параметров шероховатости цилиндрической поверхности применяется такое словосочетание: D45H7Ra1,6.

**Предложение**-это организованная по правилам грамматики последовательность слов, выражающая законченную мысль об объекте. Например, в языке ОПОС сведения об основной цилиндрической наружной поверхности, имеющей номер 3, записываются предложением:

ЗЦИН/D60h10Ra3,2/5/L56J512Ra6,3.

Приведенное предложение на этом языке можно расшифровать так: «Поверхность №3, цилиндрическая наружная, диаметром 60h10 с шероховатостью Ra3,2 с линейным размером до пятой поверхности 56j512 и с шероховатостью правого торца Ra6,3».

**Описание** - это организованная по правилам грамматики совокупность языковых единиц предшествующих уровней, полностью отражающая исходные данные об объекте проектирования.

**Лексика входного языка** - совокупность слов языка данной предметной области, представленная словарем.

Остановимся подробнее на языке описания детали.

### **5.3 Язык описания детали**

Язык описания детали (ЯОД) - совокупность знаковых средств и правил их построения, предназначенных для описания информационной модели детали, представленной чертежом.

Разные технологические задачи требуют разного уровня детализации ЯОД. В связи с этим говорят о нескольких уровнях детализации описания детали [24].

Можно отметить три уровня такой детализации:

1. Описание общих сведений о детали в целом с использованием конструкторского кода детали по ЕСКД и технологического кода по технологическому классификатору. Такой уровень детализации ЯОД позволяет решать задачу отнесения конкретной детали к той или иной комплексной детали, для которой разработан и заложен в ЭВМ унифицированный технологический процесс (УТП). Далее на основе найденного УТП разрабатывается рабочий технологический процесс на заданную деталь.

2. Второй уровень детализации предполагает дополнение описания общих данных сведениями о поверхностях детали и о взаимном расположении этих поверхностей. Второй уровень детализации необходим для автоматизированного проектирования рабочих технологических процессов методом синтеза.

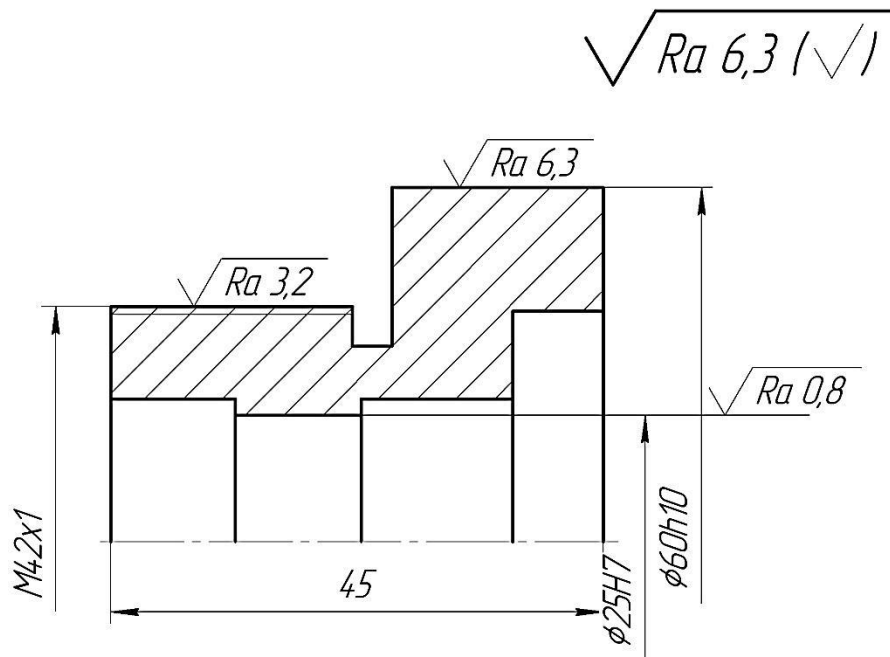
3. Третий уровень предполагает поэлементно-точечное описание конструктивных элементов детали. Третий уровень обычно применяется для входных языков в системах, обеспечивающих получение управляющих программ для станков с ЧПУ. Подробно этот уровень рассматривается в разделе технологии машиностроения, связанном с обработкой на станках с ЧПУ.

#### **5.3.1 Описание общих сведений о детали**

Для автоматизированного проектирования ТП исходную информацию о детали необходимо преобразовать в цифровую форму (закодировать).

На разных предприятиях применяются разные системы кодирования деталей. Это создает большие неудобства с точки зрения взаимодействия предприятий. Поэтому в свое время был разработан общесоюзный классификатор ЕСКД для кодирования конструкторской документации [25]. Рассмотрим кодирование деталей по классификатору ЕСКД. Поскольку этого кода недостаточно для решения технологических задач, шестизначный код ЕСКД дополняется четырнадцатизначным технологическим кодом. Технологический классификатор [26] был разработан вслед за классификатором ЕСКД.

Рассмотрим кодирование общих сведений о детали на примере (рисунок 5.3).



Втулка, сталь 45X, масса 0,2 кг.

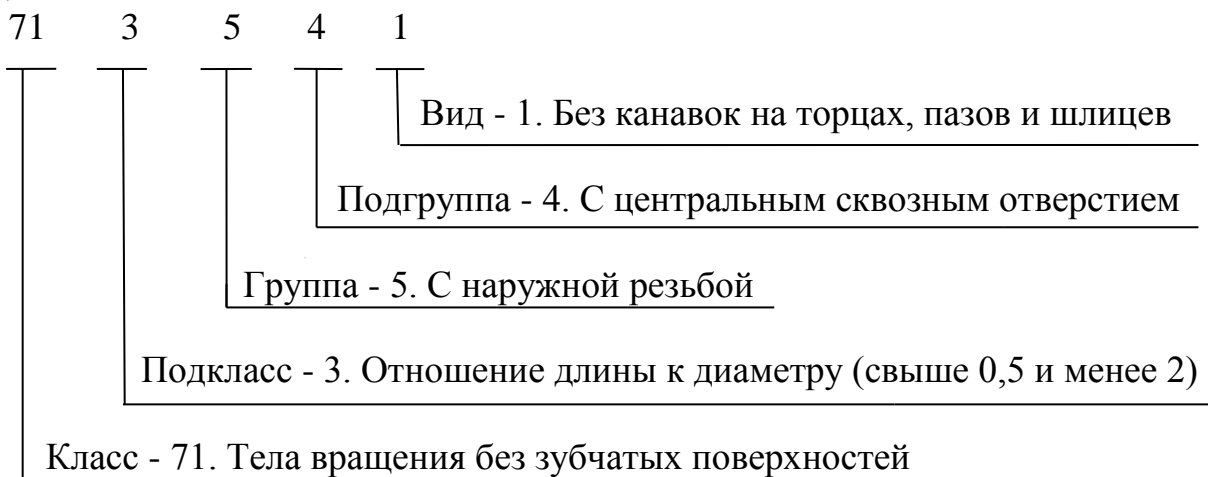
**Рисунок 5.3** - Деталь для кодирования

На эскизе приведены только те сведения, которые необходимы для кодирования. Неуказанные размеры выполнены по 14 качеству.

Для деталей машиностроения предусмотрено шесть классов: 71, 72, 73, 74, 75, 76 [25].

Класс 71 - это детали-тела вращения без зубчатых поверхностей. Рассматриваемая деталь как раз относится к классу 71.

На рисунке 5.4 показана расшифровка кода ЕСКД для рассматриваемой детали.



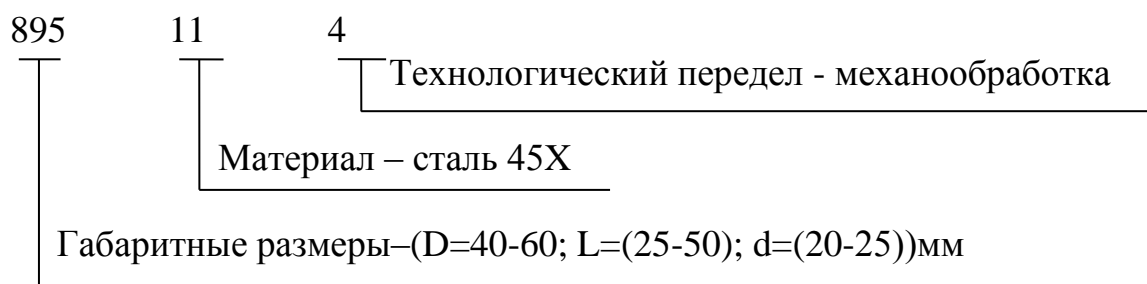
**Рисунок 5.4** - Код ЕСКД

Как видно из расшифровки, в коде ЕСКД не отражены многие параметры детали, которые имеются на чертеже. В нем нет сведений о материале, габаритных размерах детали. В связи с этим данные сведения, прежде всего, необходимо отразить в технологическом коде.

Технологический код разбивается на две части: основной и дополнительный технологический код [26]. Основной код (рисунок 5.5) не зависит от технологического передела (литье, штамповка, обработка резанием и др.), и сведения для него являются, по существу, продолжением характеристики конструкции детали. Только последний символ основного кода указывает, для какого технологического передела необходимо будет составлять дополнительный технологический код.

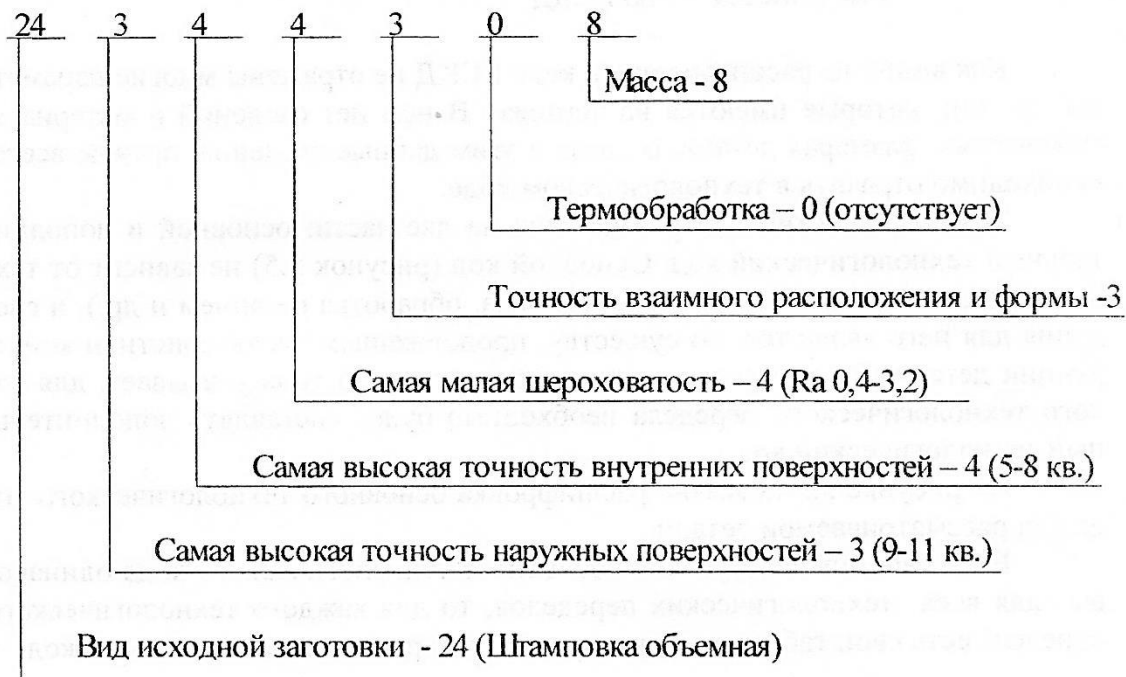
На рисунке 5.5 показана расшифровка основного технологического кода для рассматриваемой детали.

Если таблицы кодирования основного технологического кода одинаковы для всех технологических переделов, то для каждого технологического передела есть свои таблицы, по которым формируется дополнительный код [26].



**Рисунок 5.5 - Основной технологический код**

Расшифровка дополнительного технологического кода для рассматриваемой детали (по таблицам для механообработки) приведена на рисунке 5.6.



**Рисунок 5.6 – Дополнительный технологический код**

Таким образом, полный код рассматриваемой детали, который состоит из 20 позиций, будет: 71354189511424344308.

### 5.3.2 Описание поверхностей детали

Создано множество языков описания поверхностей деталей. Были попытки обобщения информации по этим языкам. Один из стандартов на САПР («Проектирование автоматизированное. Входной язык для технологического проектирования. Язык описания детали») устанавливает две формы представления информационных моделей на ЯОД: табличную и текстовую.

Табличная форма ЯОД должна быть представлена в виде таблиц кодировочных сведений (ТКС), состоящих из ряда строк и содержащих информацию о различных свойствах и отношениях детали.

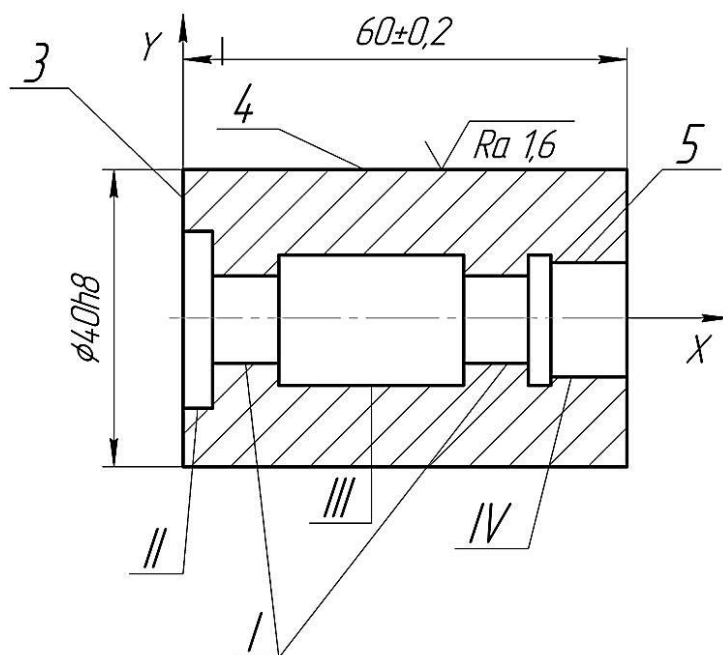
Табличная форма характеризуется жесткой синтаксической конструкцией языка. Поэтому говорят, что в табличной форме реализуется грамматика фиксированного формата. При этом порядок слов во всех строках одного массива должен быть строго определенным.

Таблицы кодировочных сведений о детали содержат информацию, о свойствах детали. Каждая ТКС содержит число кортежей (строк), соответствующее числу элементов детали. Так, например, в ЯОД аксиоматической САПР ТП в ТКС входят две основные таблицы: таблица свойств поверхностей и таблица размерных связей [27]. Каждая строка первой таблицы содержит следующую информацию о свойствах одной поверхности, которые заносятся в соответствующую колонку: 1. Номер; 2. Вид; 3. Код шероховатости; 4. Положение (внешняя, внутренняя); 5. Соотношение (открытая, полузакрытая и т.п.); 6. Ориентация (относительно оси координат); 7. Количество смежных поверхностей; 8. Номера смежных поверхностей.

Поясним понятие «Соотношение» на конкретном примере (рисунок 5.7) для цилиндрических внутренних поверхностей (таблица 5.1).

**Таблица 5.1** - Возможные варианты соотношения поверхностей

| Соотношение поверхностей | Обозначение на рисунке 5.7 |
|--------------------------|----------------------------|
| Открытые                 | I                          |
| Полузакрытые             | II                         |
| Закрытые                 | III                        |
| Полуоткрытые             | IV                         |



**Рисунок 5.7** - Кодирование поверхностей детали

Пример кодирования поверхности 4 (рисунок 5.7) приведен в таблицах 5.2 и 5.3.

Таблица размерных связей включает следующие показатели: 1. Размер; 2. Поле допуска; 3. Квалитет точности; 4. Предельные отклонения; 5. Направленность размера; 6. Вид размера; 7. От какой поверхности; 8. До какой поверхности.

**Таблица 5.2** - Свойства поверхностей

| Номера перечисленных свойств |         |     |         |          |     |     |     |
|------------------------------|---------|-----|---------|----------|-----|-----|-----|
| 1                            | 2       | 3   | 4       | 5        | 6   | 7   | 8   |
| ...                          | ...     | ... | ...     | ...      | ... | ... | ... |
| 4                            | цилиндр | 6   | внешняя | открытая | х   | 2   | 3,5 |
| ...                          | ...     | ... | ...     | ...      | ... | ... | ... |

Например, протяженность вдоль оси X цилиндрической поверхности №4, свойства которой были отражены в вышеприведенной таблице, задана размером  $60\pm 0,2$  мм, а ее диаметральный размер -  $40h8$ .

**Таблица 5.3** - Размерные связи

| 1   | 2   | 3   | 4          | 5   | 6        | 7   | 8   |
|-----|-----|-----|------------|-----|----------|-----|-----|
| ... | ... | ... | ...        | ... | ...      | ... | ... |
| 60  | -   | -   | +0,2; -0,2 | х   | линейный | 3   | 5   |
| 40  | h   | 8   | -          | X*  | диаметр  | 4   | 4   |

\* - для диаметральных размеров задается направление оси поверхности.

Текстовая форма языка описания деталей представляет собой совокупность предложений, организованных по правилам грамматики. Примером такого языка может служить язык описания деталей различных классов, построенный на основе системно-структурного анализа геометрических образов машиностроительных деталей.

Языки, рассмотренные в упомянутом выше стандарте, предназначены для описания полной информационной модели детали, которая характеризует деталь с полнотой, необходимой для решения всей совокупности задач технологического проектирования. Такие языки называют универсальными языками. Но эти языки обладают и рядом недостатков. Например, сложность трансляции во многих случаях, высокой избыточностью при конкретном применении. В связи с этим на данном этапе развития САПР ТП широко применяются специализированные языки, ориентированные на использование в конкретных системах технологического проектирования для решения определенного перечня задач.

Примером специализированного входного языка с текстовой формой описания деталей типа тел вращения является язык «ОПОС», разработанный в Дальневосточном политехническом институте [28].

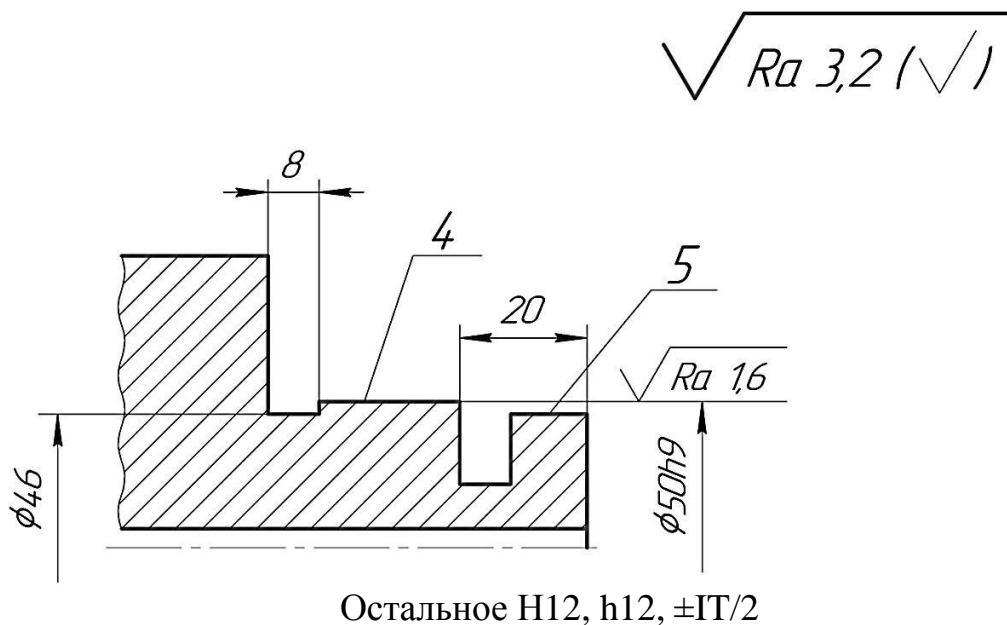
Описание указанных деталей состоит из трех частей: паспорта детали; описания геометрических и точностных параметров готовой детали; описания технических требований к изготовлению детали. Первая и третья части имеют строго определенную последовательность записи элементов. При этом каждый элемент записывается в отдельную строку.

Наибольший интерес представляет вторая часть. Геометрические и точностные параметры записываются отдельно (в свою строку) для каждой элементарной поверхности. Все элементарные поверхности делятся на основные и вспомогательные. К основным поверхностям относятся отдельные ступени детали.

К вспомогательным поверхностям относятся поверхности, которые принадлежат какой-либо основной поверхности и вносят изменение в её геометрическую форму. Например, шпоночные пазы на цилиндрической ступени детали.

Вспомогательные поверхности обязательно описываются вслед за той основной, которой они принадлежат. Пример описания для фрагмента детали (рисунок 5.8) приведен ниже.





**Рисунок 5.8-** Эскиз фрагмента детали

На эскизе показана основная цилиндрическая поверхность №4 ( $\phi 50h9$ ) и вспомогательная поверхность - канавка, расположенная на этой основной поверхности. Запись будет следующая:

4ЦИН/D50h9Ra1,6/5/L20J<sub>s</sub>12Ra3,2  
КАН/D46h12Ra3,2//L8J<sub>s</sub>12.

Запись основной поверхности содержит следующие ее характеристики: 1. Номер; 2. Условное обозначение с учетом положения; 3. Характеристику в диаметральном направлении; 4. Номер «относительной ступени» (от которой задан линейный размер); 5. Характеристика привязки в осевом направлении.

Запись вспомогательной поверхности производится с отступлением слева на два пробела.

На чертеже детали в правом углу была указана шероховатость Ra3,2 и свободные размеры были заданы по 12-му качеству.

#### 5.4 Диалоговые языки проектирования

Диалоговые языки относятся к языкам сопровождения. При этом ведущим в диалоге может быть либо система, либо человек. В первом случае реализуется так называемый режим работы конечного пользователя. Если ведущим является человек, то это обычно режим работы администратора системы. Может быть и смешанный вариант.

Когда в диалоге ведет система, пользователю обычно предлагается меню, в котором он должен выбрать ту или иную строку для использования в своем решении. Например, предлагается меню из списка технологических операций. Выбрав конкретную операцию, пользователь может вставить ее в технологический маршрут или приступить к дальнейшей ее разработке. При разработке операции пользователю предлагается вложенное меню из списка переходов для выбранной операции и т.д.

Администратору системы доступны режимы работы, которые запрещены конечному пользователю. Например, формирование массивов постоянной информации. Поэтому диалог с системой инициирует сам администратор системы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Лингвистическое обеспечение САПР. Дать определение.
2. На какие группы делится совокупность языков, используемых в процессе разработки и эксплуатации САПР?
3. Язык проектирования. Дать определение. Какие бывают разновидности языков проектирования по характеру использования?
4. Словосочетание входного языка для технологического проектирования. Дать определение. Приведите примеры.
5. Предложение входного языка для технологического проектирования. Дать определение. Приведите примеры.
6. Язык описания детали (ЯОД). Дать определение. Почему используются разные уровни детализации ЯОД.
7. Какое описание конструктивных элементов детали предполагает первый, второй и третий уровни детализации ЯОД?
8. Опишите структуру конструкторско-технологического кода детали.
9. Назовите структуру технологического кода и от чего она зависит?
10. Выполнить декодирование и произвести анализ конструкторско-технологических признаков детали, представленных следующим кодом: 71354189511424344308.
11. Какую информацию содержат таблицы кодировочных сведений о детали (ТКС) в случае использования табличной формы ЯОД?
12. Какую информацию о детали отражает специализированный входной язык «ОПОС» с текстовой формой описания деталей типа тел вращения.
13. Какие элементарные поверхности детали относятся к основным, а какие к вспомогательным при их описании на входном языке «ОПОС»?
14. Какие характеристики основной поверхности детали содержит запись на входном языке «ОПОС»?
15. Диалоговые языки проектирования. Как осуществляется проектирование, если ведущим в диалоге является система и если ведущим будет человек?

## ГЛАВА 6 ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР

### 6.1 Информационное обеспечение и информационный фонд САПР

Проектирование - это процесс переработки информации, т.е. это связанная совокупность процессов преобразования одних данных в другие. Поэтому считается, что ключевой проблемой при создании САПР является проблема организации данных. Данными принято называть информацию, преобразованную так, чтобы ее можно было вводить в ЭВМ.

Информационное обеспечение автоматизированного проектирования - это совокупность сведений, необходимых для автоматизированного проектирования, представленных в заданной форме.

Указанные сведения характеризуют связь между САПР и внешней средой, между различными уровнями и этапами проектирования в самой САПР, отражают накопленный опыт проектирования. Пользователю САПР, например, необходимо иметь в своем распоряжении такие сведения, как исходные данные, справочные данные, типовые проектные решения и т.д.

Информационный фонд (ИФ) САПР - это совокупность данных, которая удовлетворяет информационные потребности всех компонентов САПР.

Основная функция информационного обеспечения САПР - ведение информационного фонда, т.е. его создание и поддержание, организация доступа к данным. Таким образом, информационное обеспечение САПР представляет собой совокупность информационного фонда и средств его ведения.

Информацию, входящую в состав ИФ, можно классифицировать следующим образом:

1) По отношению к процессу обработки информации: на входную, промежуточную и выходную. Промежуточная информация - это записываемые временно данные, являющиеся результатом функционирования одной подсистемы САПР, для последующего использования в другой подсистеме.

2) По характеру использования при решении задачи: на переменную и условно-постоянную информацию. Переменная - это та, которая меняется при решении каждой задачи.

К переменной относится входная и выходная информация, например, информация о детали и информация о спроектированном технологическом процессе изготовления этой детали.

Условно-постоянная информация - это информация, которая остается неизменной при решении множества задач данного класса в одних и тех же производственных условиях. При перемене класса задач или производственных условий эта информация может меняться. Например, характеристики используемых станков, инструментов и т.д.

3) По способу ввода в ЭВМ - на количественную и качественную. Количественная - это, например, размеры детали, величина припуска, объем партии деталей и т.п. Качественная информация записывается с помощью кодов,

т.е. ее предварительно кодируют. Это, например, вид поверхности, вид и характер термообработки, способ базирования и т.д.

4) По способу хранения: размещение данных непосредственно в программе, запись данных в файлы, использование баз данных. О способах ведения ИФ подробнее будет сказано ниже.

## **6.2 Информация и структурирование данных**

**Информация** - это любые сведения о каком-либо событии, процессе, являющиеся объектами некоторых операций: восприятия, преобразования, передачи, хранения, использования.

**Данные** - это информация, представленная в определенной форме, пригодной для обработки автоматическими средствами при возможном участии человека.

Рассмотрим некоторые определения, связанные со структурированием данных, которые нам понадобятся при дальнейшем рассмотрении материала.

**Элемент данных** - это наименьшая единица поименованных данных, дальнейшее деление которой невозможно без потери смысла.

Что значит поименованных? Например, «фамилия сотрудника» (Иванов, Петров), «вид станка» (токарный, фрезерный), «месяц года» (февраль, март).

**Запись** - это поименованная совокупность взаимосвязанных элементов данных, относящихся к одному объекту. Если элементы данных могут описывать отдельные свойства объекта, то запись описывает объект в целом (с разной степенью детализации).

Например, запись «Ф.И.О. сотрудника» представляет собой совокупность элементов данных: 1) «фамилия», 2) «имя», 3) «отчество», которые в конкретном экземпляре записи приобретают конкретные значения: 1) Иванов, 2) Николай, 3) Васильевич. «Токарный станок 16К20» включает элементы данных: «вид станка», «модель станка».

**Файл** - поименованная совокупность записей фиксированной структуры, относящихся к одной теме.

Например, файл металлорежущих станков или файл форм технологических документов. При этом имеются в виду станки, используемые при решении конкретной задачи.

## **6.3 Способы ведения информационного фонда САПР**

Существует три подхода к организации ИФ САПР: размещение данных непосредственно в программе, запись данных в файлы, использование баз данных.

Первые два подхода можно назвать децентрализованным способом хранения информации.

### 6.3.1 Децентрализованный способ хранения информации

При размещении данных непосредственно в программе в случае обновления или реорганизации данных неизбежна модификация программы. Это является серьезным недостатком первого подхода.

При использовании файловой системы информация записывается на магнитный диск (МД) отдельно от прикладной программы (ПП). Это обеспечивает относительную независимость ПП от данных, т.е. исключает изменение ПП в случае обновления данных.

Однако при файловой организации данные ориентированы, как правило, на одну программу, в которой жестко предписано, где в файле найти нужные записи. Это обуславливает следующие основные недостатки такой организации данных:

- одни и те же данные (или их фрагменты) могут использоваться различными ПП, в которых они имеют разную структуру и представлены по-разному, что приводит к необоснованному дублированию (избыточности) данных;
- к данным, рассредоточенным по десяткам файлов и организованным так, чтобы удовлетворять только запросы конкретных ПП, нельзя обращаться пользователю, например, в диалоговом режиме.

### 6.3.2 Централизованный способ хранения информации. Банки данных

При работе любой из прикладных программ и при работе пользователей в этом случае обращение идет к единой информации, хранящейся в базе данных. В базе данных хранится основная часть ИФ САПР.

**База данных САПР** - это структурированная совокупность взаимосвязанных данных, хранящихся совместно во внешней памяти ЭВМ.

Очень важные моменты подчеркнуты в приведенном определении. Во-первых, эта совокупность должна иметь определенную структуру. И, во-вторых, между данными должны быть определенные отношения, определенная связь.

Оба эти положения тесно связаны между собой. И еще следует отметить очень важный момент.

В базу данных САПР входят данные, используемые более чем одним программным компонентом или пользователем САПР. Следует подчеркнуть два очень важных требования, которым должна удовлетворять база данных САПР: минимальная избыточность и независимость данных.

Уровень минимальной избыточности определяется возможностью оптимального использования данных для нескольких приложений. Для сравнения можно указать файловую систему, которая обладает избыточностью данных.

Требование независимости данных от прикладных программ также выгодно отличает базу данных от файловой системы. Для организации доступа пользователей к БД служит система управления базой данных - СУБД.

**Система управления базой данных (СУБД)** - это совокупность программных средств, предназначенных для создания и использования баз данных.

Под использованием баз данных понимается извлечение данных, их добавление и корректировка. **Основная функция СУБД** - это выполнение операций по обработке данных для прикладных программ и запросов пользователя.

Совокупность базы данных и системы управления базой данных образует **банк данных**.

Поскольку базы данных составляют основную часть информационного фонда, банки данных соответственно составляют основную часть информационного обеспечения развитых САПР. Существует несколько разновидностей баз данных, которые связаны с определенными моделями данных.

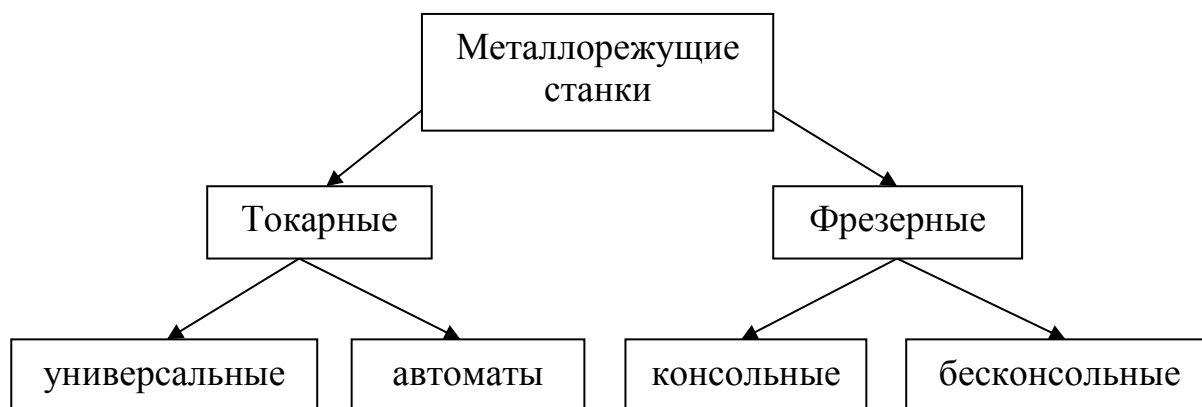
#### 6.4 Модели данных

**Модель данных** - это формализованное описание, отражающее состав и типы данных, а также взаимосвязи между ними.

Различают иерархическую, сетевую и реляционную модели данных, которые являются основой для построения соответствующих баз данных и СУБД. Такое подразделение моделей данных отражает связи между данными [29].

**Иерархической** называют модель данных, в которой структура отражаемых связей между данными представляется в виде перевернутого дерева. При такой модели каждый нижележащий элемент иерархии соединён только с одним расположенным выше элементом [8].

Например, если иерархическая модель данных, положенная в основу БД, - «Металлорежущие станки», то фрагмент этой модели графически можно изобразить так (рисунок 6.1):



**Рисунок 6.1** - Иерархическая модель данных

Вершинами графа являются записи, а ребра отражают связи между данными.

В иерархической модели данных для подчиненной (порожденной) записи может существовать только одна исходная. Таким образом, здесь существует направленность связей между данными (сверху - вниз). Это отражает принципиальное свойство иерархического представления данных - любая запись не может существовать без предшествующей ей записи по иерархии.

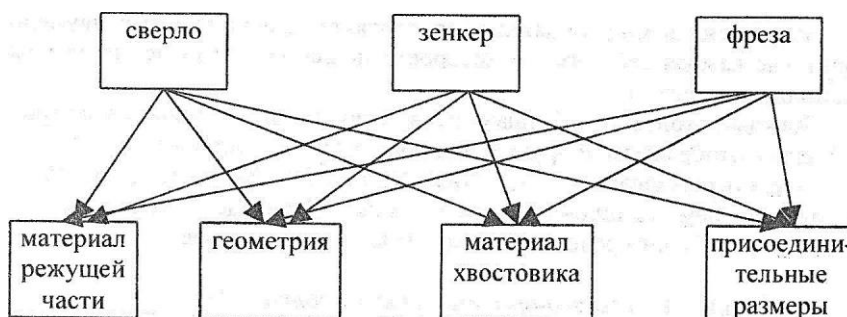
Следовательно, для доступа к любому узлу (любой записи) необходимо пройти все вышестоящие уровни иерархии, начиная с корня дерева, что затрудняет в ряде случаев поиск данных. Это является недостатком иерархических БД. Другим существенным недостатком является то, что удаление исходных узлов (записей) приводит к удалению всех нижестоящих порожденных записей.

Достоинством иерархической модели является простота понимания и использования.

Сетевая модель данных может быть представлена в виде направленного графа типа сеть, в которой связи между объектами данных могут быть установлены в произвольном порядке.

**Сетевая модель данных** - это модель данных, в которой для подчиненной (порожденной) записи может существовать более одной исходной.

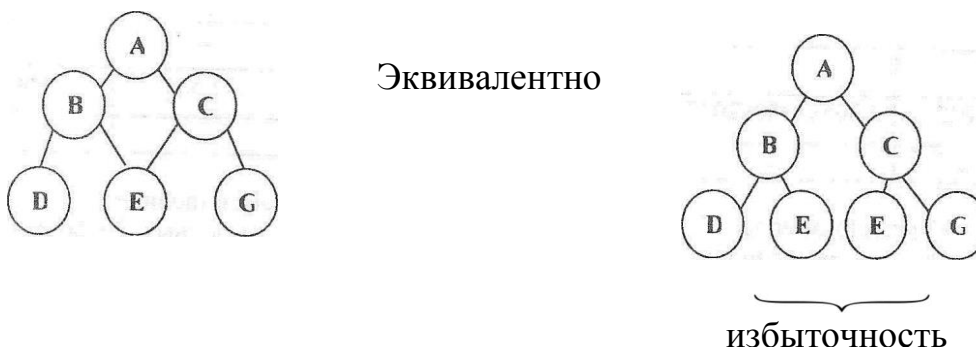
В качестве примера можно привести фрагмент сетевой модели данных о режущем инструменте (рисунок 6.2):



**Рисунок 6.2 - Сетевая модель**

В сетевой модели в общем случае допускаются связи типа «многие ко многим». Для сравнения можно указать, что в иерархической модели реализуются, как правило, связи «один ко многим», которые распространяются в одном направлении - от корня дерева. Достоинством сетевых моделей является возможность любого группирования записей и организация произвольных связей между ними. Однако большая универсальность сетевых БД требует существенного усложнения СУБД.

Любая сетевая структура может быть приведена к более простой структуре введением избыточности. Например, сетевую структуру можно заменить более простой иерархической структурой, как это показано на рисунке 6.3.



### Рисунок 6.3 - Преобразование сетевой модели в иерархическую

Наиболее понятной и привычной для конечного пользователя- специалиста в предметной области является реляционная модель данных.

**Реляционная модель данных** определяется совокупностью двумерных таблиц, где каждая таблица - некоторое отношение, состоящее из кортежей (экземпляров записей) и именем поля.

Каждый столбец в таблицах соответствует той или иной характеристике объектов отображаемой предметной области (тому или иному атрибуту).

Рассмотрим фрагмент БД «ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДА», построенной с использованием реляционной модели данных. Приведем две таблицы, каждая из которых будет представлять определенное отношение.

**Таблица 6.1 - Техничко-организационные данные (T1)**

| Инвентарный номер станка | Номер цеха | Номер участка | Состояние оборудования | Дата установки |
|--------------------------|------------|---------------|------------------------|----------------|
| ИНВ                      | цех        | уч.           | СО                     | ДУ             |
| .....                    | ...        | ...           | ...                    | ...            |
| 000101                   | 5          | 3             | новый                  | 20.03.21       |

**Таблица 6.2 - Паспортные данные (T2)**

| Модель станка | Габариты (мм)  | Масса (кг) | Мощность привода (кВт) | Инвентарный номер |
|---------------|----------------|------------|------------------------|-------------------|
| Мод.          | Габ.           | Мас.       | Мощ.                   | Инв.              |
| ...           | ...            | ...        | ...                    | ...               |
| 6P12          | 2305x1950x2020 | 3120       | 7,5                    | 000101            |
| ...           | ...            | ...        | ...                    | ...               |

Кортеж (экземпляр записи) - это одна строка в таблице.

Отметим особенности реляционной модели данных. Любому отношению (любой таблице) присущи следующие свойства:

1. Отсутствуют одинаковые строки;
2. Порядок строк несущественен;
3. Каждый столбец имеет свое уникальное имя. Порядок столбцов несущественен.

С помощью операций специального математического аппарата (реляционной алгебры) таблицы могут быть видоизменены и приведены к тому или иному виду. В частности - к виду, требуемому в конкретном запросе к БД.



Например, из таблиц T1 и T2 необходимо выбрать все экземпляры записей, такие, чтобы была указана модель станка - 6P12, и номера цеха и участка, где установлены эти станки.

В этом случае формируется новое отношение из таблиц 6.1 и 6.2 (T1 и T2) (таблица 6.3).

**Таблица 6.3 - Отношение T1 - T2**

| Модель станка<br>мод.  | Инвентарный номер<br>инв. | Номер цеха<br>цех.  | № участка<br>№УЧ    |
|------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|
| .....<br>6P12<br>..... | .....<br>000101<br>.....  | .....<br>5<br>..... | .....<br>3<br>..... |

Достоинства реляционной модели данных:

1. Простота. Пользователь работает с обычными таблицами.
2. Независимость данных.
3. Непроцедурность запросов, т.е. запросы не регламентированы. Для сравнения, в иерархической модели данных эффективны запросы только сверху - вниз.
4. Развитость теоретического аппарата, который позволяет описывать различные преобразования данных.

Недостатком является то, что СУБД, основанная на реляционной модели данных, требует достаточно больших ресурсов для ее функционирования.

Поиск записей в реляционной БД производится с использованием ключа (атрибута). Именно с помощью ключей различают экземпляры записей между собой. В каждой таблице может быть один или несколько ключей.

В заключение следует отметить, что с развитием САПР в связи с расширением круга автоматически решаемых задач расширяются и функции банка данных. В нем предполагается хранить не только нормативно-справочную информацию, исходные, промежуточные и итоговые данные. Кроме них, будут храниться и другие сведения, составляющие основы инженерных знаний в соответствующей предметной области. Такие банки данных называют банками знаний.

В сочетании с соответствующим программным обеспечением использование банков знаний позволит в большей степени автоматизировать процесс проектирования.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Информационное обеспечение автоматизированного проектирования. Дать определение. Основная функция информационного обеспечения САПР?
2. Каким образом можно классифицировать информацию, входящую в информационный фонд САПР?
3. Информация. Данные. Дать определения этим понятиям.

4. Элемент данных. Запись. Файл. Дать определения этим понятиям.
5. Какие существуют подходы к организации информационного фонда САПР?
6. Децентрализованный способ хранения информации. Преимущества и недостатки.
7. Централизованный способ хранения информации. В чём заключается сущность этого способа?
8. База данных САПР. Дать определение. Каким требованиям должна удовлетворять эта база?
9. Система управления базой данных (СУБД). Дать определение. В чём заключается основная функция СУБД?
10. Иерархическая модель данных. Дать определение. Назовите достоинства и недостатки этой модели.
11. Сетевая модель данных. Дать определение. Перечислите достоинства и недостатки этой модели.
12. Реляционная модель данных. Дать определение. Назовите особенности этой модели данных.
13. Назовите достоинства и недостатки реляционной модели данных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашихмин В.Н., Алексеев Н.С. Основы САПР: Учебное пособие. Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, 2004. -139 с.
2. Маркова М.И. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования: Учебное пособие. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. - 47 с.
3. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.
4. Заостровский А. А., Лёвкин И. В. Управление проектированием информационных систем (основные понятия): Учебное пособие. Барнаул: Изд-во «Графикс», 2019. – 225 с.
5. Самойлова Е.М. Основы CALS-технологий : учебное пособие / Самойлова Е.М.. — Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 127 с. — ISBN 978-5-4497-0225-8. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/86703.html> (дата обращения: 27.02.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей. - DOI: <https://doi.org/10.23682/86703>
6. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики: Учебное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1987. - 496 с.
7. Ашихмин В.Н. Формирование таблиц соответствий для поиска технологических решений. Свердловск.: УПИ, 1989. - 22 с.
8. Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г.М.. Дискретная математика для инженеров. М.: Энергоатомиздат, 1988. -480 с.
9. Макарова Н.В., Волков В.Б. Информатика: Учебник для вузов. –СПб.: Питер, 2011. – 576 с.
10. Информатика. Базовый курс. 2-е издание/ Под ред. С. В. Симоновича. СПб.: Питер, 2004. -640 с.
11. Мураховский В.И. Сборка, настройка, апгрейд современного компьютера. 2-е изд. Перераб. И доп. М.: ДЕСС КОМ, 2000. 288 с.
12. Ремонт и модернизация ПК. Библия пользователя. 3-е изд. Пер. с англ. М.: Вильямс, 2000. -1120 с.
13. Рудометов Е. А. Современное железо: настольные, мобильные и встраиваемые компьютеры. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 464 с.
14. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. – СПб.: Питер, 2017. – 816 с.
15. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд.. – СПб.: Питер, 2016. – 960 с.
16. Ашихмин В.Н. Программное обеспечение САПР: Методические указания. Екатеринбург.: УГТУ-УПИ, 2001. -28 с.
17. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2016. – 1120 с.
18. 3D в облаке [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: <https://haker.ru/2018/08/14/3d-cad-exchanger/>
19. САПР в облаках [Электронный ресурс] /- Режим доступа URL: <https://www.osp.ru/os/2011/02/13007702/>

20. Облачная САМ система [Электронный ресурс] / parus – Режим доступа URL: <http://integral-russia.ru/2017/05/16/oblachnaya-cam-sistema-pervye-udachnye-shagi/>
21. Будущее САМ систем [Электронный ресурс] /- Режим доступа URL: [http://planetacam.ru/articles/exclusive/the\\_future\\_of\\_cam/](http://planetacam.ru/articles/exclusive/the_future_of_cam/)
22. Интеграция САД, САМ. САРАДЕМ [Электронный ресурс] / parus – Режим доступа URL: <https://multiphysics.ru/stati/blog/inzhenernyi-analiz-kak-oblachnyi-servis.htm>
23. Интеграция в САЕ/САД/САМ системах [Электронный ресурс] /- Режим доступа URL: [http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/Razrabotka\\_SAPR/teory/integ.htm/](http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/Razrabotka_SAPR/teory/integ.htm/)
24. Митрофанов В.Г., Калачёв О.Н., Схиртладзе А.Г. и др. САПР в технологии машиностроения: Учебное пособие. Ярославль.: ЯрГТУ, 1995. -298 с.
25. Классификатор ЕСКД. Иллюстрированный определитель деталей. Класс 71. М.: Издательство стандартов, 1991. - 89 с.
26. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. М.: Издательство стандартов, 2004. - 179 с.
27. Челищев Б.Е., Боброва И.В., Гонсалес-Сабатер А. Автоматизация проектирования технологии в машиностроении /Под ред. Н.Г. Бруевича. М.: Машиностроение, 1987. - 264 с.
28. Старостин В.Г., Лелюхин В.Е. Формализация проектирования процессов обработки резанием. М.: Машиностроение, 1986. 136 с.
29. Лингвистическое, информационное обеспечение САПР и разновидности САПР ТП: Методические указания / В.Н. Ашихмин. Свердловск: УПИ, 1989. - 29 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b>   | 3  |
| <b>ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ</b>                                     | 5  |
| 1.1 Проектирование. Автоматизированное проектирование. САПР   | 5  |
| 1.2 Общие сведения о CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM-системах  | 7  |
| 1.3 Жизненный цикл продукта   | 8  |
| 1.4 Применение технологий CAD, CAM и CAE на этапах жизненного цикла продукта                            | 10 |
| 1.5 Технологии CAD, CAM и CAE   | 13 |
| 1.6 CALS-технологии   | 15 |
| 1.7 Принципы построения САПР  | 17 |
| 1.8 Структурная схема и виды обеспечения САПР   | 18 |
| 1.9 АСТПП и САПР ТП   | 20 |
| 1.10 Методы автоматизированного проектирования технологических процессов                                | 21 |
| <i>Контрольные вопросы</i>  | 22 |
| <b>ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР</b>   | 23 |
| 2.1 Состав математического обеспечения САПР   | 23 |
| 2.2 Элементы теории множеств  | 23 |
| 2.2.1 Основные понятия  | 23 |
| 2.2.2 Операции над множествами  | 25 |
| 2.2.3 Математический аппарат соответствий и его использование для поиска решений                        | 27 |
| 2.3 Элементы теории графов  | 31 |
| 2.3.1 Основные понятия  | 31 |
| 2.3.2 Способы задания графов  | 32 |
| 2.3.3 Маршрут, цепь, цикл на неориентированном графе. Граф-дерево                                       | 34 |
| 2.3.4 Путь и контур на ориентированном графе. Граф-сеть   | 36 |
| 2.4 Элементы математической логики  | 37 |
| 2.4.1 Высказывания. Операции над высказываниями   | 37 |
| 2.4.2 Понятие предиката. Одноместные и многоместные предикаты   | 41 |
| 2.4.3 Операций квантирования. Использование алгебры предикатов для формализации технологических законов | 43 |
| 2.5 Математические модели и алгоритмы проектирования  | 46 |
| 2.5.1 Математическое моделирование и математические модели  | 46 |
| 2.5.2 Упорядочивающие модели в технологическом проектировании   | 47 |
| 2.5.3 Понятие алгоритма   | 49 |
| 2.6 Оптимизация технологических решений   | 53 |
| 2.6.1 Необходимость оптимизации   | 54 |
| 2.6.2 Постановка задачи оптимизации. Параметрическая и структурная оптимизация                          | 54 |
| 2.6.3. Оптимизация режимов резания  | 55 |

|   |     |
|---|-----|
| 2.6.4 Особенности структурной оптимизации технологических процессов | 58  |
| <i>Контрольные вопросы</i>  | 62  |
| <b>ГЛАВА 3. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР</b>                        | 64  |
| 3.1 Назначение и состав технических средств САПР                    | 64  |
| 3.2 Классификация и основные характеристики ЭВМ                     | 65  |
| 3.2.1 Сверхбольшие ЭВМ (супер-ЭВМ)                                  | 66  |
| 3.2.2 Большие ЭВМ   | 67  |
| 3.2.3 Малые ЭВМ   | 70  |
| 3.2.4 Микро ЭВМ   | 71  |
| 3.3 Другие виды классификации компьютеров                           | 74  |
| 3.3.1 Классификация по типоразмерам                                 | 74  |
| 3.3.2 Классификация по совместимости                                | 74  |
| 3.4 Персональные компьютеры   | 75  |
| 3.4.1 Микропроцессор  | 76  |
| 3.4.2 Основная память   | 79  |
| 3.4.2.1 Внутрипроцессорная память                                   | 80  |
| 3.4.2.2 Оперативная память  | 81  |
| 3.4.2.3 Постоянная память   | 84  |
| 3.4.3 Материнская (системная) плата                                 | 85  |
| 3.5 Периферийные устройства персонального компьютера                | 87  |
| 3.5.1 Устройства хранения данных                                    | 88  |
| 3.5.1.1 Твёрдотельные накопители SSD                                | 88  |
| 3.5.1.2 ВЗУ на оптических дисках                                    | 94  |
| 3.5.1.3 Blu-Ray диски   | 100 |
| 3.5.2 Устройства вывода информации                                  | 103 |
| 3.5.2.1 Мониторы (дисплеи)  | 103 |
| 3.5.2.2 Видеоадаптеры   | 106 |
| 3.5.2.3 Принтеры  | 119 |
| 3.5.2.4 Плоттеры  | 121 |
| 3.5.3 Устройства ввода информации и управления                      | 122 |
| 3.5.3.1 Клавиатура  | 123 |
| 3.5.3.2 Мышь  | 124 |
| 3.5.3.3 Графические планшеты  | 125 |
| 3.5.3.4 Сканеры   | 126 |
| 3.5.4 Устройства обмена данными                                     | 127 |
| 3.6 Комплексы технических средств                                   | 128 |
| 3.6.1 Принципы построения и виды КТС                                | 128 |
| 3.6.2 Локальные вычислительные сети                                 | 129 |
| <i>Контрольные вопросы</i>  | 132 |
| <b>ГЛАВА 4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР</b>                        | 135 |
| 4.1 Общесистемное программное обеспечение                           | 135 |
| 4.1.1 Операционные системы  | 135 |
| 4.1.2 Операционные оболочки   | 140 |
| 4.1.3 Системы программирования                                      | 141 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.1.4 Утилиты   | 142 |
| 4.2 Прикладное программное обеспечение  | 143 |
| 4.2.1 Пакеты прикладных программ общего назначения                                | 143 |
| 4.2.2 Методо-ориентированные ППП  | 146 |
| 4.2.2.1 Математический пакет MathCAD  | 146 |
| 4.2.2.2 Диалоговый пакет статистического анализа STADIA                           | 148 |
| 4.2.3 Проблемно-ориентированные ППП   | 149 |
| 4.2.3.1 Многоуровневые программно-методические комплексы (ПМК)                    | 149 |
| 4.2.3.2 Программные продукты фирмы AUTODESK                                       | 151 |
| 4.2.3.3 Программные продукты T-FLEX   | 153 |
| 4.2.3.4 Программные продукты фирмы АСКОН  | 156 |
| 4.2.3.5 Облачные технологии в САПР  | 158 |
| 4.2.3.6 Особенности облачных CAD-приложений                                       | 160 |
| 4.2.3.7 Особенности облачных САМ-приложений                                       | 164 |
| 4.2.3.8 Особенности облачных САЕ-приложений                                       | 169 |
| 4.2.3.9 Комплексный облачный инструмент AUTODESK FUSION 360                       | 170 |
| 4.2.3.10 Технологическая подготовка производства с интеграцией CAD/CAM/CAE-систем | 171 |
| <i>Контрольные вопросы</i>  | 174 |
| <b>ГЛАВА 5. ЛИНГВИСТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР</b>                                  | 176 |
| 5.1 Разновидности языков САПР   | 176 |
| 5.2 Входные языки для технологического проектирования                             | 178 |
| 5.3 Язык описания детали  | 179 |
| 5.3.1 Описание общих сведений о детали  | 179 |
| 5.3.2 Описание поверхностей детали  | 182 |
| 5.4 Диалоговые языки проектирования   | 185 |
| <i>Контрольные вопросы</i>  | 186 |
| <b>ГЛАВА 6. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР</b>                                   | 187 |
| 6.1 Информационное обеспечение и информационный фонд САПР                         | 187 |
| 6.2 Информация и структурирование данных  | 188 |
| 6.3 Способы ведения информационного фонда САПР                                    | 188 |
| 6.3.1 Децентрализованный способ хранения информации                               | 189 |
| 6.3.2. Централизованный способ хранения информации.                               |     |
| Банки данных  | 189 |
| 6.4 Модели данных   | 190 |
| <i>Контрольные вопросы</i>  | 193 |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b>  | 195 |

Алексеев Николай Сергеевич

## ОСНОВЫ САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Учебное пособие для самостоятельной работы студентов бакалавриата, обучающихся по направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» всех форм обучения

Подписано к печати 08.02.23. Формат 60x84 /16.  
Усл. печ. л. 12,44. Тираж 10 экз. Заказ 231902. Рег. № 3.

Отпечатано в ИТО Рубцовского индустриального института  
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.