

## 4. АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

### 4.1. Общие сведения о составе и соединении технических средств

На данный момент, опираясь на опыт эксплуатации систем автоматизированного проектирования и функционирования подсистемы "Машинная графика" в различных организациях, можно выделить несколько категорий оборудования и устройств в зависимости от выполняемых функций (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Категории оборудования и устройств

Ядром любой системы являются вычислительные средства или средства обработки информации, которые могут быть различных типов с диапазоном от супер-ЭВМ до микро-ЭВМ, однако использование последних определяется либо узкой специализацией, либо ограниченными требованиями, а также сетевой структурой. Поэтому весьма вероятно, что на рабочем месте конструктора могут быть лишь довольно ограниченные вычислительные средства при условии, что в случае необходимости может быть обеспечена связь с мощным вычислительным центром. В этом случае возникает проблема распределения решаемой задачи в процессе проектирования, что существенно влияет на структуру программного обеспечения.

Средства ведения базы данных, в том числе графической, и архивов основаны на хранении больших объемов информации, исчисляемых сотнями гигабайт. Традиционными средствами хранения информации являются магнитные носители (магнитные диски, ленты, оптико-магнитные носители), стоимость которых постоянно снижается. Однако по объему хранимой информации они уступают лазерной технологии (лазерные диски различных форматов записи и хранения), которые широко используются в компьютерной технике. В последнее время шире стали использовать flash-память. При большом объеме информации существенной проблемой является управление базой данных, составление каталогов и даже просто ввод и сопровождение существующих чертежей, а использование сетевой структуры по-новому ставит проблему распределения данных (локальные данные, данные общие для какой-либо группы или отрасли, и т.д.).

Следующая большая группа – средства ввода графической информации и ее позиционирования (выделения и указания места положения). К ним относятся дигитайзеры, планшеты, манипуляторы, указатели, алфавитно-цифровые и функциональные клавиатуры и интегральные средства ввода (сканеры).

Особое место занимают средства визуализации (отображения) информации, которые позволяют получить временное и, следовательно, поддающееся изменению изображение в любой момент времени без изменения носителя информации. Они необходимы в процессе проектирования, формирования геометрической модели проектируемого изделия и разработке чертежной конструкторской документации.

Документирование результатов проектирования и процесса проектирования занимает важное место в САПР и осуществляется устройствами, позволяющими получить графическое представление на постоянном носителе. Основная особенность этих устройств состоит в том, что графическое представление после их получения не может быть изменено. Кроме того, носитель обычно нельзя использовать повторно. Наиболее распространенными устройствами такого типа являются принтеры широкого формата, использующие струйную или лазерную технологии, до сих пор в практике находят применение перьевые или карандашные графопостроители, а также ряд других новых устройств. Так как устройства документирования разработаны для получения чертежей высокого качества, их целесообразно использовать в автономном (отложенном) режиме (off-line).

В процессе проектирования может возникнуть необходимость изготовить опытный экземпляр изделия или какой-либо его составляющей с тем, чтобы установить его конструктивно-технологические характеристики. Эти функции целесообразнее всего возложить на технологические автоматы или программно-управляемые исполнительные устройства. К ним относятся координатографы, микрофото-, электронно-наборные устройства, электронно-лучевые установки, 3D-принтеры, а также станки с ЧПУ.

Совокупность аппаратных средств с определенными техническими характеристиками, соответствующими поставленной задаче и в установленной комбинации, составляет комплекс технических средств машинной графики (КТС МГ).

Существенным вопросом является архитектура соединения аппаратных средств; в большей степени это относится к средствам обработки информации, хотя и касается периферии.

Наиболее прост и доступен автономный режим, при котором пользователь работает на КТС (ЭВМ и периферия), не имеющем внешних связей, а обмен информацией с другими системами осуществляется при помощи внешних носителей информации (гибкий диск, магнитная лента, лазерный диск, flash память и др.). Такой режим работы отвечает не всем приложениям, в связи с этим получили распространение следующие схемы (архитектуры) соединения КТС:

- 1) использование ЭВМ КТС в качестве интеллектуальных терминалов ЭВМ различных классов;

2) использование ЭВМ КТС в качестве пассивных терминалов многопользовательских систем;

3) сетевые системы.

При использовании ЭВМ КТС в качестве интеллектуальных терминалов ЭВМ различных классов на ПЭВМ возлагается реализация следующих функций: взаимодействие с пользователем, первичная обработка вводимой информации, окончательная подготовка результатов решения задач к выдаче пользователю.

Использование ЭВМ КТС в качестве интеллектуальных терминалов в последнее время стало популярным и объясняется тремя причинами: дружелюбностью программного интерфейса ПЭВМ с пользователем, возможностью разгрузки центральной ЭВМ от выполнения вспомогательных действий и низкой стоимостью сравнимой со стоимостью терминала. К центральной ЭВМ целесообразно подключить несколько интеллектуальных терминалов.

Режимы 1 и 2 по своему содержанию очень схожи. Различие заключается только в том, что использование ПЭВМ в качестве пассивных терминалов сводит работу на нем только к вводу и выводу информации, что во многих случаях неэффективно. Однако этот режим возможен, когда экономия денежных средств является важным фактором, когда общее число пользователей невелико и в последующем меняться не будет и когда требуется только централизованная обработка.

Наиболее перспективны сетевые системы, в которых ПЭВМ КТС и, возможно, ЭВМ других классов соединяются вместе посредством каналов связи и аппаратуры сопряжения с ними для обмена информацией и ресурсами. При этом повышается эффективность использования дорогостоящих и уникальных аппаратных, программных и информационных ресурсов разделением их между различными пользователями, обеспечивается взаимодействие различных пользователей сети.

Сетевые системы делятся на глобальные и локальные. Каналами связи в глобальных сетях служат, как правило, оптоволоконный кабель или спутниковые системы. Локальная вычислительная сеть связывает ряд ПЭВМ КТС и ЭВМ, возможно различных классов, находящихся в одной локальной зоне, ограниченной, например, одним или несколькими рядом расположенных зданий, одной организацией или зоной.



Наиболее важными характеристиками локальной вычислительной сети являются:

- ☐ топология;
- ☐ количество ЭВМ КТС, способных работать в сети;
- ☐ максимально возможное удаление ЭВМ КТС друг от друга;
- ☐ типы ЭВМ КТС, входящих в сеть (различают однородные и неоднородные локальные вычислительные сети);
- ☐ используемое программное обеспечение;
- ☐ надежность, определяемая способностью сохранять свои характеристики при выходе из строя отдельных ПЭВМ КТС и линий связи, что в значительной степени зависит от топологии сети и программного обеспечения;
- ☐ передающая среда, под которой понимают физическую среду (как правило, электрическая или оптическая);
- ☐ метод доступа, представляющий собой, по сути дела, совокупность принципов функционирования локальной вычислительной сети, выбор которого определяется топологией сети;
- ☐ протокол, являющийся совокупностью правил, регламентирующих формат и процедуры обмена информацией между узлами сети.

Топология определяет структурную организацию связей между узлами локальной вычислительной сети. Различают следующие виды топологий: шинная или магистральная, звездообразная, древовидная, кольцевая, многосвязная. Примером наиболее совершенной локальной сети является сеть Ethernet (шинная топология, спецификация фирм DEC, Intel и Xerox).

Звездообразную топологию имеют PLAN 4000 фирмы Nestar Systems, позволяющая объединить ЭВМ различных типов и обеспечить выход в глобальную сеть, Star Lan фирмы AT & T Information System.

Кольцевую топологию имеет сеть Token-Ring Network фирмы IBM. Каждый узел локальной вычислительной сети является рабочей станцией и имеет свою ОС, а также копию сетевой ОС. Обычно наиболее мощная ЭВМ в сети играет роль файл-сервера, храня все используемое многими пользователями программное обеспечение. Каждый пользователь может загрузить на выполнение в свою рабочую станцию или свой КТС любой из программных продуктов, записанных в файл-сервере. Обслуживание пользователей файл-сервером осуществляется путем управления распреде-

лением ресурсов совместного пользования (внешняя память и хранящая в ней информация).

## 4.2. Средства обработки графической информации

Для обработки больших массивов информации (прежде всего к графической) необходимы значительные вычислительные ресурсы, поэтому основные характеристики вычислительной техники (быстродействие или производительность, разрядность или длина слова, объем оперативной памяти и пр.) приобретают особое значение.

Наиболее крупными производителями такой техники являются корпорации SGI, HP, IBM, SUN. Как правило, она используется при сложных вычислениях, связанных с моделированием различных физических процессов, анализе сложных конструкций, а следовательно, при корпоративном автоматизированном проектировании и подготовке производства.

Хорошим примером отечественной практики использования высокопроизводительной вычислительной техники является супер-ЭВМ «Ломоносов» (рис. 4.2). В настоящее время содержит 6654 вычислительных узла, более 94000 процессорных ядер, обладает пиковой производительностью 1,7 Пфлоп/с. Реальная производительность системы на тесте Linpack равна 901.9 Тфлоп/с.



Рис. 4.2. Супер-ЭВМ «Ломоносов»

Впервые столь мощную вычислительную систему удалось разместить на площади всего 252 кв м: по вычислительной плотности «Ломоносов» сегодня не имеет себе равных в мире, потребляя не более 2,8 МВт электроэнергии. Однако помимо высокой плотности и оптимального энергопотребления вычислитель такого масштаба должен обеспечивать высокую скорость решения реальных прикладных задач. Для этого в суперкомпьютере используются шесть видов вычислительных узлов и процессоры с различной архитектурой, а также специальные сети, что позволяет получать высокую производительность максимально широкого спектра приложений.

На сегодняшний день в вычислительный комплекс МГУ входит, кроме «Ломоносова» суперкомпьютер «Чебышев» с пиковой производительностью 60 Тфлоп/с и IBM Blue-Gene/P с пиковой производительностью 27 Тфлоп/с. Суперкомпьютерный комплекс активно развивается, а в его состав включаются вычислительные системы, построенные на новых принципах, среди них – графические процессоры. Сначала это нашло отражение в экспериментальной установке от Hewlett-Packard «Графит!», объединившей 48 графических процессоров в рамках одной стойки, а затем было реализовано в полном масштабе в виде специального раздела суперкомпьютера «Ломоносов», содержащего 1554 графических процессора от NVidia.

Ввод в строй суперкомпьютера «Ломоносов» позволил решить ряд важных задач для ведущих промышленных отраслей России: аэрокосмической (РКК «Энергия» им. С.П. Королева) и атомной (ОКБМ им. И.И. Африкантова). Для нужд РКК «Энергия» с помощью «Ломоносова» были проведены расчеты обтекания перспективного космического корабля «Русь» при торможении в атмосфере Земли и посадки на ее поверхность.

Среди зарубежных вычислительных комплексов можно выделить разработки компаний SGI и ESI, работающих в области создания виртуальных прототипов (рис. 4.3).

Однако в ряде случаев, при решении серьезных задач можно обойтись и более скромными (по своим вычислительным возможностям) средствами. К ним относятся персональные суперкомпьютеры, серверы и профессиональные графические станции.



Рис. 4.3. Семейство супер-ЭВМ на базе SGI 3000

Компания STSS – отечественный производитель профессиональных графических станций, серверов и систем хранения данных – анонсировала персональный суперкомпьютер STSS Flagman RX240T8.3-006SF на базе стандартной серверной архитектуры Intel с применением двух 12-ядерных процессоров Intel Xeon серии E5-2600 v2 (кодовое название Ivy Bridge). Два процессора позволяют получить в системе суммарно 24 вычислительных ядра (48 потоков) и способны обеспечить более (до 50%) высокую скорость работы при обработке различных ресурсоемких задач по сравнению с процессорами предыдущего поколения Intel Xeon серии E5-2600. Максимальный поддерживаемый объем оперативной памяти увеличен до 768 ГБ, что удовлетворяет требованиям большинства современных приложений, использующих параллельные вычисления.

Применение в персональном суперкомпьютере четырех коммутаторов PCI-Express позволило получить восемь полноценных слотов PCI-Express x16 Generation 3 с пропускной способностью в 16 ГБ/с каждый (в обоих направлениях). Благодаря этой мощной архитектуре в персональный суперкомпьютер устанавливаются сразу восемь суперкомпьютерных вычислителей **NVIDIA Tesla** серий K20, K10, C20xx либо **Intel Xeon Phi** серий 7100, 5100, 3100. По сравнению с системами от известных мировых производителей с аналогичными техническими характеристиками персональный суперкомпьютер STSS Flagman RX240T8.3-006SF дешевле более вдвое.

Суперкомпьютерные вычислители **NVIDIA® Tesla™** или **Intel® Xeon Phi**, основанные на архитектуре параллельных вычислений, обеспечивают производительность на уровне мощного многоузлового серверного кластера. Установка восьми суперкомпьютерных вычислителей позволяет получить в системе суммарно до 128 Гб быстрой памяти GDDR5 с максимальной пропускной способностью каждого вычислителя в 352Гб/с. Применение в системе высокопроизводительных твердотельных накопителей SSD значительно ускоряет операции ввода-вывода при работе с большими объемами данных.

Более скромные вычислительные характеристики имеют серверы семейства SGI Origin, сервер Sun Fire V880 (Sun Microsystems), семейство серверов IBM Netfinity.

Семейство серверов **SGI Origin 3000** (рис. 4.4) соответствует принципу модульности. Благодаря архитектуре NUMAflex становится возможным независимо масштабировать отдельные подсистемы сервера: процессорную емкость, ввод/вывод, систему хранения.

SGI Origin 300 (рис. 4.5) – представитель нового поколения компактных модульных систем на основе архитектуры SGI NUMAflex.



Рис. 4.4



Рис. 4.5

Сервер **Sun Fire V880** (Sun Microsystems) (рис. 4.6) является удачным решением для работы удаленных отделов, поддержки огромного количества приложений, включая Интернет, системы

управления базами данных, и может использоваться как дополнительная система в центрах обработки данных. Реализованный на новой технологии UltraSPARC III, этот сервер сочетает в себе надежность, доступность и удобство в обслуживании и поддерживает от двух до восьми процессоров, интегрированную дисковую подсистему Fiber Channel и до 32 Гб основной памяти. Sun Fire V880 бинарно совместим со всей линией настольных систем и серверов компании Sun, что позволяет использовать большое число уже существующих приложений. Сервер может монтироваться в стойку или поставляться в виде отдельного модуля. Особенности системы:



Рис. 4.6

- ☐ поддержка от двух до восьми 64-битных процессоров нового поколения UltraSPARC III;
- ☐ максимальная основная память 32 Гб;
- ☐ интегрированная дисковая подсистема Fiber Channel с возможностью выбора альтернативного маршрута, поддерживающая до 12 36,4 Гб 10000 RPM-дисков, что обеспечивает общий объем 437 Гб (также могут использоваться диски 72,8 Гб);
- ☐ поддерживается режим "горячей замены" разъемов PCI, дисков, источников питания и вентиляторов охлаждения;
- ☐ совместимость с приложениями, работающими на системах предыдущего поколения UltraSPARC;
- ☐ надежность, доступность и простота обслуживания, расширенные функции безопасности.

Еще одним удачным решением является сервер Sun Fire 15K (Sun Microsystems.), который может поддерживать огромное количество приложений, включая системы управления базами данных и использоваться как дополнительная система в центрах обработки информации. Реализованный на новой технологии UltraSPARC III, этот сервер сочетает в себе надежность, доступность и удобство в обслуживании. Может содержать от двух до восьми 64-битных процессоров нового поколения UltraSPARC III и 32 Гб основной памяти.

Семейство серверов **IBM Netfinity** имеет линейку, состоящую из IBM Netfinity 3000 IBM, Netfinity 3500 M20, IBM Netfinity 5100, IBM Netfinity 7100 и серии IBM eServer xSeries (рис. 4.7), способно успешно выполнять задачи файл-сервера и сервера печати, организации совместного доступа в Интернет, а также повышения производительности групповой работы.



Рис. 4.7. Серверы IBM на Intel-платформе

Сервер IBM Netfinity 3000 имеет повышенную надежность, память с коррекцией ошибок ECC, возможность дополнительного использования адаптеров ServeRAID, предсказательный анализ сбоев жестких дисков, отслеживание температурного режима и контроль защищенности системы.

IBM Netfinity 3500 M20 – двухпроцессорный сервер – отличается высокими вычислительными характеристиками и дополнительными возможностями. Хорошо подходит для рабочей группы большого предприятия, где необходим сервер приложений начального уровня. Различные утилиты, облегчающие процесс установки, такие как ServerGuide Simplify Installation, уменьшают материальные и временные затраты на установку системы. Легкость обслуживания является результатом создания хорошо продуманной конструкции отраслевого стандарта, а шасси обеспечивает беспрепятственный доступ к системе без использования инструментов.

IBM Netfinity 5100 – двухпроцессорный сервер высотой 5U с высокой степенью готовности и возможностью внутреннего расширения. Подходит для обслуживания отдела или рабочей группы; легко справляется с задачами обслуживания файлов и печати, обеспечивает обслуживание интернет/интранет сетей, общих приложений, поддержку подключаемой через сеть дисковой памяти и кластеризацию.

Интегрированный процессор удаленного управления работает с ПО Netfinity Director, что предоставляет высокий уровень локальной и дистанционной управляемости даже в выключенном состоянии. Для обеспечения высокой надежности и упрощения технического обслуживания, сервер IBM Netfinity 5100 поддерживает предсказуемый анализ сбоев (Predictive Failure Analysis), систему диагностики Light-Path Diagnostics, а также резервные компоненты с возможностью их горячей замены.

Система легко поддается модернизации, поддерживает до 4 ГБ ECC SDRAM памяти и дополнительное внутреннее устройство цифровой линейной записи на магнитной ленте (DLT). Внутренняя дисковая подсистема начинается с шести тонких отсеков (с пространством для размещения данных до 218,4 ГБ).

Другая категория устройств – рабочие станции, предназначенные как для автономной работы над проектом, так и для работы в составе группы. Наиболее характерными рабочими станциями являются разработки SGI, HP, SUN.

Рабочая станция Silicon Graphics 750 (рис. 4.8) – первое предложение SGI на основе процессора Intel Itanium и первого поколения 64-разрядной архитектуры Intel. Подтверждая лидирующее положение SGI на рынке технических вычислений, Silicon Graphics 750 обеспечивает высокую производительность на операциях с плавающей запятой. В качестве операционной системы используется 64-разрядная версия Linux, в комплект поставки входит библиотека SGI Scientific Computing SoftwareLibrary, оптимизированная для Intel Itanium.

Графическая станция Silicon Graphics Fuel (рис. 4.9) устанавливает новый уровень производительности и доступности для настольных UNIX-станций. В основе новой станции высокопроизводительная архитектура семейства SGI 3000, процессоры MIPS R14000A и графика VPro V10/V12. Также доступна опция Dual



Channel Display для подключения двух мониторов и использования до 80МБ текстурной памяти.

Графическая станция Silicon Graphics O2+ (рис. 4.10) содержит интегрированную графическую систему, а также встроенные средства для работы с видео и изображениями, оставаясь одной из самых доступных UNIX-станций. Система построена на архитектуре с общим доступом к единому полю памяти (UMA), впервые воплощенной в станции Silicon Graphics O2. Предлагается как в настольном варианте, так и для установки в 19"-стойку.



Рис. 4.8



Рис. 4.9



Рис. 4.10

Приведенные выше высокопроизводительные вычислительные средства являются весьма дорогостоящими устройствами и могут быть рекомендованы для крупных организаций и предприятий. В то же время часто в качестве средств обработки информации могут с успехом использоваться настольные графические рабочие станции и даже персональные ЭВМ, как в сетевом включении, так и автономно.

### **4.3. Средства ведения базы данных и архива**

Проектные разработки непосредственно связаны с ведением базы данных разработанных и разрабатываемых изделий, а также их фрагментов, с информацией о принимаемых конструкторских решениях, а также сопровождение изделий, находящихся в эксплуатации, и ведение архива. Объемы такой информации огромны, и для их хранения требуются специальные средства.

Архитектура систем резервного копирования предполагает наличие компьютера, на который по ЛВС копируются данные с остальных серверов и, возможно, сервера предприятия. С ростом объема данных, подлежащих резервному копированию, этот способ теряет свою эффективность, поскольку сильно загружает сеть и вычислительные ресурсы серверов. Кроме того, пропускной способности ЛВС и SCSI-интерфейса перестает хватать для проведения резервного копирования. Применение сетевых технологий позволяет решить эту проблему.

В настоящее время можно выделить три основных направления применения сетей хранения данных.

1. Использование внешних дисковых систем, подключенных к серверам, где каждый сервер обслуживает свой раздел (партицию) данных, а совместный доступ к данным с нескольких серверов отсутствует. Этот вариант является самым простым. Единственным его достоинством (по сравнению с внутренними дисковыми системами) является масштабируемость.

2. Кластерные решения, где несколько серверов, объединенных в кластер, совместно используют данные, хранящиеся на внешних дисковых массивах. Такой подход обеспечивает высокую отказоустойчивость информационной системы и повышает производительность путем балансировки нагрузки между узлами кластера.

3. Совместный доступ серверов и рабочих станций к разделяемому внешнему дисковому массиву с использованием специализированного ПО. Применение этого подхода наиболее перспективно при проектировании систем, где требуется передача больших объемов информации непосредственно до рабочего места.

Основными составляющими сетей хранения данных являются внешние хранилища данных, которые можно разделить на дисковые массивы и ленточные библиотеки, кабели, коммуникационное оборудование и их адаптеры, а также использование «облачных» технологий.

Примером сетевых структур может являться Storage Area Network (SAN) – выделенная сеть, предназначенная для высокоскоростного соединения серверов с устройствами хранения данных, например дисковыми массивами, ленточными и оптическими библиотеками. Эта технология позволяет серверу получить доступ к любому накопителю, не загружая при этом ни другие серверы,

ни локальную вычислительную сеть. Кроме того, возможен обмен данными между накопителями без участия серверов. Благодаря высокой производительности и надежности, обеспечивается возможность подключения к кластерам, создание приложений защиты данных, а также централизованного управления системами хранения данных.

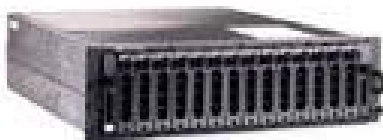
Есть два варианта реализации: без загрузки ЛВС (LAN-free backup) и без сервера (server-less backup). В первом варианте включение серверов и накопителей (дисковые, ленточные и магнито-оптические накопители и др.) в SAN позволяет повысить скорость резервного копирования и полностью разгрузить ЛВС от трафика резервного копирования. Но при этом сохраняется нагрузка на серверы, поскольку копирование данных с дисковой подсистемы серверов на накопители осуществляется посредством серверов. Реализация варианта server-less backup требует специальных аппаратно-программных решений. Такие решения обеспечивают проведение копирования данных между дисковой системой хранения данных и ленточной библиотекой напрямую, без участия серверов. Традиционно накопители непосредственно подключаются к серверу по внутренней или внешней SCSI-шине. Это создает определенные трудности при расширении дисковой системы, не позволяет централизованно управлять всеми накопителями предприятия и эффективно перераспределять свободные ресурсы между различными серверами и приложениями.

Применение такого подхода позволяет рассматривать все массивы информации предприятия как единый управляемый ресурс, который можно перераспределять между различными серверами и приложениями, обеспечивая эффективное наращивание и масштабирование системы хранения данных предприятия и тем самым повышая надежность серверных систем. Так, например, при отказе приложения на сервере 1 оно может быть перезапущено на сервере 2 и получит доступ к тем же данным. Если же откажет сервер 1, то все его функции может взять сервер 2. Разумеется, то, как приложения будут запускаться на сервере 2, зависит как от самих приложений, так и от операционной системы. Наиболее емкими по хранимой информации являются дисковые массивы (RAID-массивы) и универсальные библиотеки хранения информации (рис. 4.11).

а)



б)



в)



г)



Рис. 4.11. Дисковые массивы: а– Power Vault 660F, б– Power Vault 224F, в– Power Vault 35F, г– Power Vault 51F/56F

Еще одним из средств хранения информации является магнитооптика. Магнитооптические устройства HP SureStore и Plasmon (рис. 4.12) являются удачным решением для интегрированного управления документами и безопасного хранения гигантских объемов данных, включая работу с изображениями, вывод данных компьютера на лазерный диск (COLD) и иерархическое управление хранением (HSM), а также резервное копирование информации.

а)



б)



Рис. 4.12. Магнитооптические библиотеки: а– HP SureStore, б– Plasmon

Одними из последних разработок в этой области являются библиотеки на базе CD и DVD дисков (рис. 4.13), например скоростные библиотеки компакт-дисков английской фирмы Plasmon, оснащенные DVD-RAM (от двух до шести приводов), рассчитанные на 120-480 носителей DVD-RAM, библиотеки NSM (NSM Jukebox GmbH), отличающиеся высокой надежностью хранения данных (бесконтактное перемещение дисков "no touch") и производительностью в ответственных сетевых приложениях (технология TurboTDD скоростной инициализации CD/DVD).



Рис. 4.13. Библиотеки на базе CD- и DVD- дисков: а– фирмы Plasmon, б– фирмы NSM Jukebox

В зависимости от задачи и используемой операционной системы библиотеки могут комплектоваться различными программными системами управления: серверами коллективного доступа, ПО тиражирования и репликации дисков, системами записи носителей.

#### **4.4. Средства визуализации графической информации**

В настоящее время устройства отображения (визуализации) являются необходимыми практически для любых вычислительных комплексов. Исторически сложилась так, что основным элементом устройства отображения являлась электронно-лучевая трубка (ЭЛТ).

В 1950 г. в Кембриджском университете (Англия) электронно-лучевая трубка осциллографа впервые была использована для вы-

вода графической информации на компьютере EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Computer). Примерно полтора года спустя английский ученый Кристофер Стретчи написал для компьютера «Марк 1» программу, игравшую в шашки и выводившую информацию на экран. Однако это были лишь отдельные примеры, не носившие серьезного системного характера.

Первый крупный проект, в котором электронно-лучевая трубка использовалась для отображения графической информации, был реализован в рамках программы с использованием компьютера для отображения положения самолета-цели. Первая демонстрация этой программы состоялась 20 апреля 1951 г. Радиолокатор компьютеру посылал информацию о положении самолета, которая отображалась на экране в виде движущейся точки и буквы Т (Target).

Очень часто устройство отображения информации называют дисплеем, монитором, видеотерминалом. Дисплей – устройство визуализации текстовой или графической информации без ее долговременной фиксации. Отсутствие долговременной фиксации информации означает ее исчезновение при выключении питания или при выводе новой информации. Монитор применяется для контроля какого-либо процесса и управления системой. Конструктивно представляет собой либо совокупность дисплея и клавиатуры, либо просто дисплей. Терминалом же называется обычно удаленное устройство ввода-вывода данных для взаимодействия пользователя с системой. Поскольку, очень часто функции ввода-вывода данных, управления и контроля совмещены в одних и тех же устройствах, то термины «дисплей», «терминал», «монитор» можно считать синонимами.

По физическим принципам формирования изображения можно выделить плоские панели и дисплеи на базе электронно-лучевых трубок. В настоящее время плоские экраны LCD, использующие жидкие кристаллы (ЖК) вытесняют дисплеи, использующие электронно-лучевые трубки.

Первые жидкокристаллические материалы были открыты более 100 лет назад австрийским ученым Ф. Ренитцером. Со временем обнаружилось большое число материалов, которые можно использовать в качестве жидкокристаллических модуляторов, однако практическое освоение технологии началось сравнительно недавно. Схема работы LCD-элемента показана на рис. 4.14 (на левой части – состояние, при котором LCD-элемент пропускает свет, на правой – когда свет не проходит).

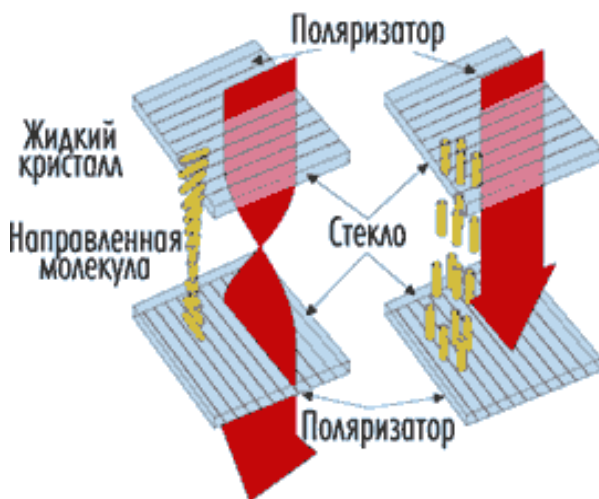


Рис. 4.14

Технология LCD-дисплеев основана на уникальных свойствах жидких кристаллов, которые одновременно обладают определенными свойствами как жидкости (например, текучестью), так и твердых кристаллов (в частности, анизотропией). В LCD-панелях используют так называемые нематические кристаллы, молекулы которых имеют форму продолговатых пластинок, объединенных в скрученные спирали. LCD-элемент, помимо кристаллов, включает в себя прозрачные электроды и поляризаторы. При приложении напряжения к электродам спирали распрямляются. Используя на входе и выходе поляризаторы, можно использовать такой эффект раскручивания спирали, как электрически управляемый вентиль, который то пропускает, то не пропускает свет.

Экран LCD-дисплея состоит из матрицы LCD-элементов. Для того чтобы получить изображение, нужно адресовать отдельные LCD-элементы. Различают два основных метода адресации и, соответственно, два вида матриц: пассивную и активную. В пассивной матрице точка изображения активируется подачей напряжения на проводники-электроды строки и столбца. При этом электрическое поле возникает не только в точке пересечения адресных проводников, но и на всем пути распространения тока, что препятствует достижению высокого контраста. В активной матрице каждой

точкой изображения управляет свой электронный переключатель, что обеспечивает высокий уровень контрастности. Обычно активные матрицы реализованы на основе тонкопленочных полевых транзисторов (Thin Film Transistor, TFT). TFT-экраны, иначе называемые экранами с активной матрицей, обладают самым высоким среди плоскостных устройств разрешением, широко используются в других устройствах. Схематично структура монитора TFT LCD представлена на рис. 4.15.

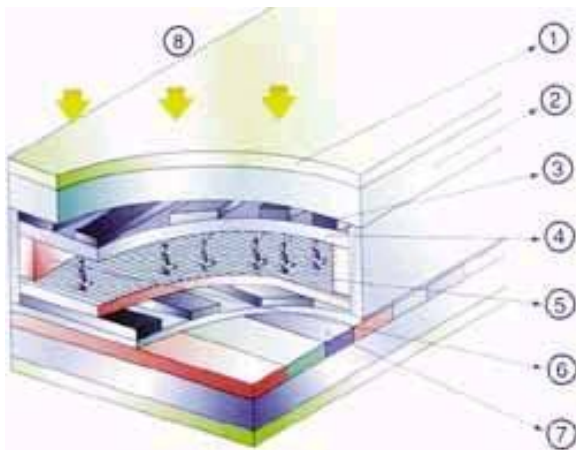


Рис. 4.15. Структура TFT LCD-монитора: 1 – поляризационный фильтр, регулирующий свет; 2 – стеклянная прослойка с электродами; 3 – прозрачные электроды; 4 – выравнивающий слой, который регулирует требуемое расположение жидкого кристалла; 5 – жидкий кристалл; 6 – распорка, которая поддерживает постоянный промежуток между стеклянными пластинами; 7 – цветовой фильтр, который формирует все цвета на базе RGB-фильтров; 8 – внутреннее освещение

В активной матрице LCD-дисплея переключающий тонкопленочный транзистор и диод (рис. 4.16) обеспечивают включение и отключение связанного с ними элемента цвета. Электроды  $X$  и  $Y$  связаны с той же панелью, на которой расположены транзисторы TFT. Электрод  $X$  обеспечивает сигнал включения, а  $Y$  – сигнал цвета.





Рис. 4.16

LCD-дисплей не излучает, а работает как оптический затвор. Поэтому для воспроизведения изображения ему требуется источник света, который располагается позади LCD-панели.

Важнейшие характеристики LCD-дисплеев:

- разрешение – горизонтальный и вертикальный размеры, выраженные в пикселях. В отличие от ЭЛТ-мониторов LCD имеют одно фиксированное разрешение, остальные достигаются интерполяцией. Чем выше разрешение, тем чётче и плавнее изображение. Оптимальным для монитора диагональю 22 дюйма является разрешение  $1680 \times 1050$ , для диагонали 23-24 дюйма  $1920 \times 1200$ , а для 27 дюймов  $2560 \times 1440$ ;
- размер точки (размер пикселя) – расстояние между центрами соседних пикселей. Непосредственно связан с физическим разрешением;
- соотношение сторон экрана (пропорциональный формат) – отношение ширины к высоте (4:3, 16:9, 16:10 и др.) Формат 16:10 наиболее практичен для профессионалов. Он достаточно широк для работы с текстом, кодом, построения 3D/2D-графики в нескольких окнах;
- видимая диагональ – размер самой панели, измеренный по диагонали. Площадь дисплеев зависит также от формата: монитор с форматом 4:3 имеет большую площадь, чем с форматом 16:9 при одинаковой диагонали;
- контрастность – отношение яркостей самой светлой и самой тёмной точек при заданной яркости подсветки. В некоторых

мониторах используется адаптивный уровень подсветки с использованием дополнительных ламп, приведённая для них цифра контрастности (так называемая динамическая) не относится к статическому изображению. Высокая контрастность нужна для того, чтобы лучше отображать чёрный цвет, оттенки и полутона. Это важно при работе с монитором в светлое время суток, так как низкая контрастность пагубно сказывается на изображении при наличии какого-либо источника света помимо монитора (хотя здесь больше влияет яркость). Хорошим показателем является статическая контрастность – 1000:1 и выше. Вычисляется отношением максимальной яркости (белый цвет) к минимальной (чёрный цвет);

- яркость – количество света, излучаемое дисплеем. Обычно измеряется в канделах на квадратный метр. Не самый важный параметр монитора. Хорошим показателем яркости является значение 300 кд/м<sup>2</sup>;

- время отклика – минимальное время, необходимое пикселю для изменения своей яркости. Составляется из двух величин: времени буферизации и времени переключения;

- угол обзора – угол, при котором падение контраста достигает заданного. Для разных типов матриц и разными производителями вычисляется по-разному и часто не подлежит сравнению;

- тип матрицы, т.е. технология, по которой изготовлен LCD-дисплей.

Отмечая особенности LCD-дисплеев, целесообразно подчеркнуть их достоинства по сравнению с дисплеями на базе ЭЛТ (CRT-дисплей). LCD-дисплеи занимают примерно в три раза меньше места и весят на 75% меньше. В отличие от CRT-мониторов не генерируют электромагнитные поля, потребляют примерно на 60% меньше электроэнергии и выделяют меньшее тепла. Высокая четкость изображения позволяет работать с более высоким разрешением. LCD-дисплеи имеют меньшую склонность к такому дефекту изображения, как появление муара.

Следует отметить и недостатки LCD-мониторов. Они оптимизированы для работы только с одним разрешением. Если в работе требуется перенастройка монитора на различные разрешения, что актуально в CAD/CAM/CAE-приложениях, то LCD-дисплей не может считаться оптимальным решением. LCD-панели имеют ограниченный угол обзора, менее пригодны для передачи часто ме-

няющихся изображений (непрерывного видеоизображения), больше склонны к дрожанию.

Определяющие характеристики LCD мониторов связаны с характеристиками главного его элемента – матрицы. На сегодняшний день существуют несколько типов матриц: TN, IPS (и её модификации), MVA и PVA.

TN (twisted nematic)-матрица. Мониторы с данной матрицей самые распространённые. Первые изобретённые ЖК-мониторы были основаны на технологии TN. Являются самыми дешёвыми и простыми в производстве и потому самыми массовыми. Способны передавать цвет в 18- или 24-битном диапазоне (6 или 8 бит на каждый канал RGB), что в настоящее время недостаточно для качественной цветопередачи. Отличаются высокой скоростью отклика, высоким уровнем яркости и возможностью использовать любые подсветки и низкой стоимостью. В то же время имеют и следующие недостатки: низкий уровень контрастности, малые углы обзора, особенно в вертикальном направлении, и некачественную цветопередачу.

IPS (In Plane Switching) матрицы. Разработаны компаниями NEC и Hitachi. Основной целью – было избавление от недостатков TN-матриц. Позднее данная технология заменилась на S-IPS (Super-IPS). Мониторы с технологией IPS производят фирмы Dell, LG, Philips, Nec, ViewSonic, ASUS и Samsung. Основное предназначение данных мониторов – работа с графикой, обработка фото и другие задачи, где требуется точная цветопередача, контрастность и соответствие стандартам sRGB и Adobe RGB. Используются в профессиональной работе с графикой 2D/3D и фоторедактировании.

Основные достоинства IPS-матриц – лучшая на сегодняшний день цветопередача среди TFT панелей, большие углы обзора, хороший уровень статической контрастности и точности передачи оттенков. Большинство матриц умеют воспроизводить цветность в 24 бита (по 8 бит на каждый RGB канал) без ASCR. Многие IPS-матрицы (P-IPS, некоторые S-IPS), умеют передавать цветность 30 битов, однако они значительно дороже. Среди недостатков можно выделить высокую цену, большие габариты и массу, по сравнению с мониторами на TN-матрице, большее электропотребление.

Встречается целый ряд модификаций IPS-матриц, созданных отдельными производителями:

AS-IPS – улучшенная версия S-IPS-матрицы, в которой частично была устранена проблема плохой контрастности;

H-IPS – значительно улучшена контрастность и убрана засветка фиолетовым цветом при взгляде на монитор сбоку, практически заменила мониторы с S-IPS-матрицей;

e-IPS – разновидность H-IPS, но более дешёвая в производстве матрица, которая обеспечивает стандартный для IPS цветовой охват в 24 бита (по 8 на RGB-канал). Специально высветлена, что даёт возможность использования LED подсветок и менее мощных CCFL. Нацелена на средний и бюджетный сектор рынка. Подходит практически для любых целей;

r-IPS – одна из самых совершенных IPS-матриц, является продолжением развития H-IPS. Имеет цветовой охват 30 бит (по 10 на каждый канал RGB), лучшую скорость отклика в сравнении с S-IPS, расширенный уровень контрастности и лучшие углы обзора в своём классе;

UH-IPS – сравнима с e-IPS. Высветлена для использования совместно с LED подсветками. При этом немного пострадал чёрный цвет;

S-IPS II – аналогична по параметрам с UH-IPS;

PLS – вариант IPS от компании Samsung. В этой модификации, в отличие от стандартной IPS, есть возможность размещать пиксели более плотно, но при этом страдает контрастность: не выше 600:1 – самый низкий показатель среди LCD-матриц. Даже у TN-матриц данный показатель выше. Матрицы PLS могут использовать любой вид подсветки. По характеристикам более предпочтительны, чем MVA/PVA-матрицы.

MVA и PVA (Multi-domain\Patterned Vertical Alignment) матрицы (\*VA). Технология разработана корпорацией Fujitsu. Является неким компромиссом между TN- и IPS-матрицами. Цена мониторов на MVA/PVA так же варьирует в пределах цен на TN- и IPS-матрицы. Достоинства – большие углы обзора, высокая контрастность среди TFT LCD матриц (достигается благодаря двойной структуре пикселя и возможностью управлять ими отдельно), глубокий черный цвет. Недостатки – высокое время отклика, уменьшение контрастности и искажение оттенков в темных участках изображения при ортогональном взгляде. Принципиальной разницы между PVA и MVA нет.

Выпуск LCD-мониторов освоен многими известными фирмами (LG, NEC, HP, Acer, Dell, BenQ, Samsung, ViewSonic и ряд др.). В качестве примера можно привести несколько моделей.

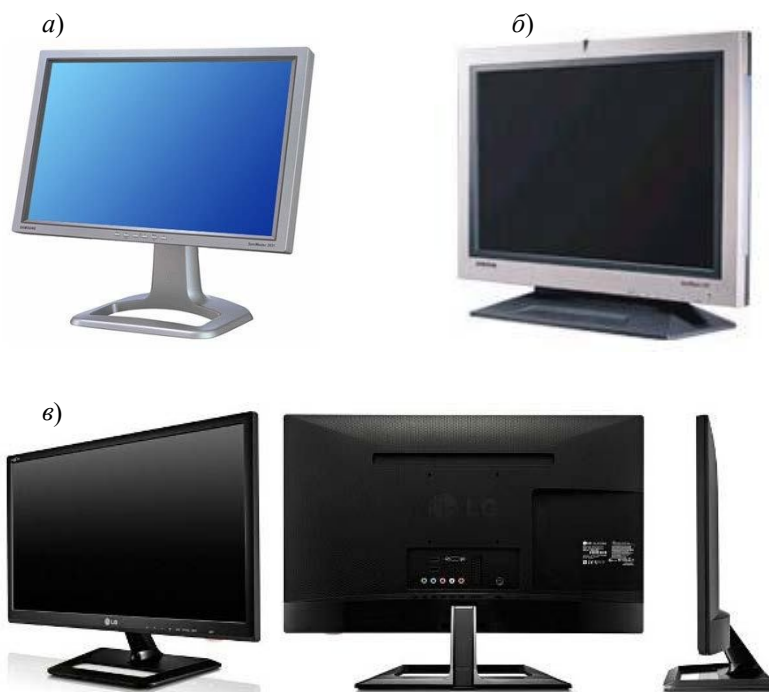


Рис. 4.17. LCD-мониторы: *а*– NEC MeultiSync, *б*– Samsung 240T, *в*– LG 27EB22PY

Более подробную информацию о LCD-дисплеях, соответствующих требованиям приложений CAD/CAM/CAE можно найти на сайтах их производителей.

#### **4.5. Устройства ввода графической информации, и ее позиционирования**

Устройства ввода и позиционирования информации занимают заметное место в аппаратных средствах и по сути дела осуществляют указанные функции.

Наиболее распространенными устройствами являются клавиатура и «компьютерная мышь». Более специализированными, особенно для работы с графикой – «шар», «световое перо», 3D манипулятор и др. В общей постановке все они необходимы для ввода информации, её позиционирования и управления работой вычислительного средства.

**Клавиатура.** Самым привычным устройством является клавиатура, представляющая собой матрицу клавиш, объединенных в единое целое, и электронный блок для преобразования нажатия клавиши в двоичный код.

Стандартная компьютерная клавиатура, также называемая клавиатурой PC/AT или AT-клавиатурой (поскольку она начала поставляться вместе с компьютерами серии IBM PC/AT), имеет 101 или 102 клавиши. Расположение клавиш на AT-клавиатуре подчиняется единой общепринятой схеме, спроектированной в расчёте на английский алфавит (рис. 4.18).

По своему назначению клавиши делятся на шесть групп: функциональные, алфавитно-цифровые, управления курсором, цифровая панель, специализированные, модификаторы.

Двенадцать функциональных клавиш расположены в самом верхнем ряду клавиатуры, ниже – блок алфавитно-цифровых клавиш. Правее этого блока находятся клавиши управления курсором, а у самого правого края клавиатуры – цифровая панель.

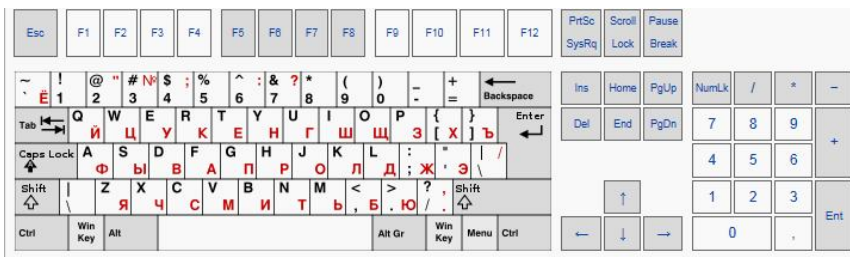


Рис. 4.18. Раскладка клавиатуры QWERTY

Клавиши алфавитно-цифрового блока делятся по рядам и по зонам. Нижний ряд блока находится над клавишей «пробел» и клавишами-модификаторами Ctrl и Alt. Он считается первым. Выше – второй и третий. Самый верхний ряд клавиш блока – чет-

вёртый – в латинской раскладке QWERTY не содержит клавиш для ввода букв, но включает все клавиши ввода цифр. По этой причине его часто называют цифровым рядом. Результат действия алфавитно-цифровых клавиш зависит от регистра (нижний или верхний) и уровня (первый или второй), в котором осуществляется нажатие этих клавиш.

К числу клавиш-модификаторов относятся Shift, Ctrl, Caps Lock, Alt и правый Alt. Они предназначены для изменения (модификации) действий других клавиш. Включение верхнего регистра клавиш (при отключённом Caps Lock) осуществляется нажатием и удержанием клавиши Shift. Нажатие и удержание правой клавиши Alt используется для перехода на второй уровень клавиатуры. Клавиши-модификаторы используются наиболее часто, поэтому они имеют увеличенный размер. К тому же клавиши Shift и Ctrl продублированы по обеим сторонам блока алфавитно-цифровых клавиш.

В верхней части клавиатуры, а иногда в другом месте, располагается блок так называемых функциональных клавиш – от F1 до F12. Их функции определяются программой и операционной системой, с которой пользователь работает в данный момент. Часто программы устанавливают те или иные функции и для комбинаций функциональных клавиш с клавишами Shift, Ctrl и Alt. Во многих программах при нажатии F1 на экран выводится встроенный справочник по программе (часто уже открытый на странице), соответствующей режиму программы, в котором она находится.

Особое место среди клавиатур занимают функциональные пульты, ориентированные на какую-либо специфическую деятельность (например, работа с САПР, разработка программного обеспечения и ряд других). Они представляют собой матрицу клавиш, каждая из которых программируется на вполне определенную функцию (действие). Каждая клавиша может программироваться на 10 уровней, что позволяет использовать или до 10 различных приложений, или работать 10 различным пользователям.

Функциональная клавиатура может быть объединена с основной (например, клавиатуры семейств G80-2100 и G84-4100), тогда дополнительные клавиши располагаются в верхней части клавиатуры в два ряда, а обычные F1-F10 размещены, как на 84-клавишной клавиатуре, слева. Программируемые функции дополнительных клавиш хранятся в отдельном файле и содержат более 240 "горячих" комбинаций (24 клавиши и 10 уровней).

Клавиатура должна быть эргономичной, т.е. удобной для работы. К основным эргономическим показателям клавиатуры относят:

- ☐ общие компоновочные решения клавиатуры;
- ☐ толщину клавиатуры и угол ее наклона относительно горизонтали;
- ☐ схему расположения клавиш, их цвет, форму и размеры;
- ☐ необходимое усилие для нажатия клавиши и ее свободный ход;
- ☐ коэффициент отражения света клавишами и всей поверхностью клавиатуры;
- ☐ легкость чтения надписей на клавишах.

Привлекательность той или иной клавиатуры в основном зависит от ее дизайна, расположения клавиш, тактильных ощущений и усилия при нажатии клавиш. Внешний вид ряда клавиатур показан на рис. 4.19.



Рис. 4.19

Дальнейшая эволюция клавиатур будет, по-видимому, осуществляться в соответствии с эргономическими и медицинскими показаниями. Характерной в этом отношении является клавиатура Ergo Plus, которая разбита на две секции, причем каждая из них



может подстраиваться индивидуально. Боковой и фронтальный развороты секций могут составлять 0, 10, 20 и 6, 12 ° соответственно. Расположение клавиш на этой клавиатуре практически не отличается от обычной, однако имеется еще пять дополнительных функциональных клавиш. Встречаются и другие дизайнерские решения.

**Манипуляторы («мышь», «шар», «световое перо», 3D манипулятор и др.).** Манипуляторы являются координатно-указательными устройствами или устройствами управления курсором и в сочетании с клавиатурой придают вычислительному комплексу большую гибкость и эффективность в работе. Основной и обязательной особенностью манипуляторов является наличие обратной связи с пользователем путем отображения действий, производимых посредством манипуляторов на экране дисплея. Среди манипуляторов наиболее популярны "мышь" (mouse) и шаровой указатель или просто "шар" (trackball).

"Мышь" представляет собой приспособление для указания нужных точек на экране путем перемещения его вручную по плоской поверхности. Координаты местоположения "мыши" передаются в компьютер и вызывают соответствующее перемещение курсора в виде точки или стрелки (указателя "мыши") по экрану дисплея. Возможно использование "мыши" для вычерчивания изображений. Конструктивно "мышь" представляет собой пластмассовую коробочку с верхней наружной поверхностью, соответствующей поверхности ладони руки. В верхней части "мыши" находятся две или три кнопки для фиксации проводимых действий. В последних разработках между двумя кнопками двухкнопочной «мыши» или вместо третьей центральной кнопки располагается колесико прокрутки (скроллинга) для осуществления более быстрой навигации по большим документам. Нижняя часть "мыши" представляет собой плоскую поверхность с гнездом, в котором находится шар, выступающий из основания корпуса и соприкасающийся с поверхностью стола. При перемещении "мыши" по столу вращение шара преобразуется электронным блоком в соответствующие электрические сигналы, передаваемые в компьютер и приводящие к перемещению курсора по экрану. Стандартные "мыши" требуют наличия на рабочем столе специальной рабочей поверхности; лучше всего использовать гладкий (но не скользкий) планшет.

Более совершенной является оптическая «мышь». Она имеет на рабочей поверхности микрокамеру, которая снимает положение «мыши» (порядка 1000 раз в секунду), ее данные анализируются процессором (встроенным в «мышь»).

Достоинства оптической «мыши» – нечувствительность к грязи, работоспособность практически на любой поверхности (кроме зеркальной и отражающей), отсутствие механики; недостатки – сложность в изготовлении, не исследованная пока жизнеспособность в экстремальных ситуациях, более высокая стоимость. На рис. 4.20 показаны различные виды «мыши».



Рис. 4.20. Разновидности «мыши»

Обычно «мыши» имеют постоянную чувствительность, не зависящую от скорости перемещения по поверхности планшета, что является не всегда удобным. Предпочтительнее «мышь», чувствительность которой изменяется обратно-пропорционально скорости перемещения. Реализация этой зависимости позволяет быстро перемещать курсор по экрану на большие расстояния и в то же время точно его позиционировать в нужной точке экрана. Примером такой «мыши» с переменной чувствительностью является устройство Logi Mouse Pilot фирмы Logitech. Подключение «мыши» может осуществляться с использованием кабеля (PS/2-порт, USB-порт) или без кабеля (инфракрасный, ультразвуковой или радиоканал).

Внешние конструктивные особенности «мыши» основаны прежде всего на эргономических исследованиях. Многие из этих устройств имеют разные размеры и даже отдельные версии для правой и левой рук. Цель всех усовершенствований – обеспечить удобство в работе.

Ощутимым недостатком манипулятора «мышь» является ограниченная точность позиционирования, что особенно важно при

работе с графическими объектами. В связи с этим стали использовать манипуляторы типа "шар" (trackball), обеспечивающие более высокую точность позиционирования и практически не требующие дополнительного места (из-за отсутствия планшета).

Манипулятор типа "шар" представляет собой просто перевернутую "мышь", однако с более развитой поверхностью шара, соответствующей ладони пользователя. При работе с шаровым манипулятором достаточно вращать шар, не перемещая весь прибор (рис. 4.21). Совмещение шарового манипулятора с клавиатурой делает устройство ввода еще более компактным, и как правило, используется в портативных компьютерах.



Рис. 4.21. Шаровые манипуляторы

Другое устройство позиционирования – световое перо (light pen) – является достаточно старым устройством и конструктивно напоминает ручку. Внутри светового пера расположен фотозлемент, реагирующий на световой поток от светящейся точки экрана. Нажатием на кнопку светового пера электрический сигнал передается компьютеру, и совместно с сигналом синхронизации дисплея с помощью программы – драйвера пера – определяется координата точки, указанная световым пером. Неточность позиционирования светового пера обусловлена параллаксом из-за толщины экрана и достаточно большой площадью наконечника пера. Неточность позиционирования устраняется благодаря следящему перекрестью, формирующемуся из тонких линий и размещаемому на экране так, что его центр указывает точку наибольшей чувствительности приставляемого к экрану светового пера. При перемещении

щении пера по экрану следящее перекрестие движется вместе с ним, указывая текущее положение пера. Недостатком при работе со световым пером является быстрая утомляемость пользователя.

Новаторским устройством позиционирования является 3D-манипулятор. У этого устройства есть и ещё одно название – «3D-мышь». Особенно актуально его использование при геометрическом моделировании, при решении задач размещения и трассировки. Наиболее заметными устройствами являются следующие:

Space Explorer – профессиональный 3D-манипулятор, применяемый для CAD и DCC (Digital Content Creation) приложений (рис. 4.22);

Space Navigator – профессиональный 3D-манипулятор, предназначенный для начинающих специалистов (рис. 4.23);

Space Navigator для ноутбуков – уменьшенный вариант Space Navigator для мобильных пользователей. В полтора раза меньше своего базового аналога и вдвое меньше по весу. Применяется в трехмерной навигации и CAD-приложениях начального уровня. Поставляется с защитным чехлом, позволяющим брать манипулятор с собой в поездки.



Рис. 4.22



Рис. 4.23

Space Mouse PRO – новый профессиональный 3D-манипулятор от компании 3Dconnexion, способный расширить возможности и сделать рабочий процесс проще, эффективнее и комфортнее (рис. 4.24).

Space Pilot PRO – профессиональный 3D-манипулятор, предназначенный для пользователей, работающих с трехмерной графикой. Он позволяет значительно увеличить эффективность работы в самых современных и требовательных системах работы с 3D-графикой (рис. 4.25).



Рис. 4.24



Рис. 4.25

Джойстик (Joystick) – рычажный указатель – обеспечивает перемещение курсора на экране в одном из четырех направлений. Он представляет собой рычаг, установленный на корпусе, который в свою очередь с помощью присосок фиксируется около компьютера. Сам рычаг джойстика, шарнирно соединенный с преобразователями углов, может совершать движения (в результате воздействия руки пользователя) вдоль координат  $X$  и  $Y$  в пределах некоторого телесного угла. На рычаге может находиться одна или несколько кнопок.

Существуют еще целый ряд «экзотических» манипуляторов, таких, как например, Isopoint Control (устройство "равноточечного управления", выполненное в виде цилиндра и располагаемое на клавиатуре около клавиши "пробел") или манипулятор типа "мышь" в форме авторучки и ряд других. Однако широкого распространения, особенно в приложениях CAD/CAM/CAE, они не получили.

**Дигитайзеры (планишеты).** Дигитайзер (digitizer – цифровой преобразователь) является полуавтоматическим устройством ввода графической информации. Часто называется еще графическим планшетом или "сколкой". Пользователь дигитайзера осуществляет функции поиска и выделения элементов изображения, а преобразование координат вводимых элементов выполняется автоматически.

Конструктивно дигитайзеры бывают двух типов: с жестким креплением указателя координат (электромеханические) и со свободным его перемещением (планишеты).

Электромеханические устройства выполняются в виде стола или "кульмана" (рис. 4.26) с перемещающейся по одной из коор-

динат траверсой, на которой крепится каретка с указателем координат. Координатная система в них механически связана с датчиками линейного или кругового перемещения. При нажатии на кнопку указателя координат его местоположение на поверхности стола фиксируется и координаты передаются в компьютер. Такие устройства обеспечивают высокую точность ввода координат, но громоздки и дороги, что ограничивает их распространение. В отличие от них планшетные дигитайзеры (tablets) отличаются значительно большими удобствами для пользователя, в десятки раз дешевле, хотя и не могут обеспечить высокую точность и разрешающую способность. Планшеты часто применяются для ввода графической информации при помощи "накладных" меню, размещаемых на их рабочей поверхности. При вводе команды из меню специальный программный драйвер интерпретирует координаты указанного места, посылая соответствующую инструкцию на выполнение. Количество и вид реализуемых меню дигитайзера определяется параметром Surface Menu (накладное меню).



Рис. 4.26. Дигитайзеры

В последнее время планшеты используются художниками и дизайнерами при создании рисунков и эскизов, поскольку это удобнее и привычнее, чем пользоваться джойстиком или световым пером.

Выбор формата дигитайзера определяется целью использования и в значительной степени определяет его цену. Размер рабочего поля в планшетах лежит в пределах от 152×203 мм до 1220×1524 мм. Основные характеристики дигитайзеров – разрешающая способность и точность.

Важным пользовательским устройством дигитайзера является указатель координат, который может быть выполнен в виде плоского прибора – курсора (визира), в ряде случаев с увеличительным стеклом в курсоре, или в виде пера (карандаша). Курсоры (рис. 4.27), наиболее популярные среди пользователей САПР, бывают четырех-, восьми-, 12- и 16-кнопочными, перья (карандаши) – с одной, двумя (рис. 4.28) и тремя кнопками.

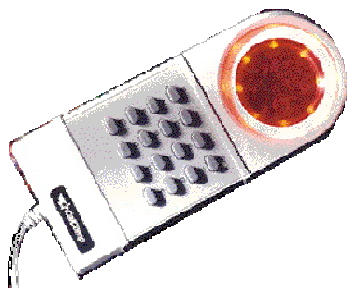


Рис. 4.27

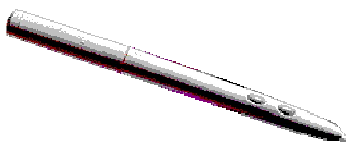


Рис. 4.28

Карандаши, чувствительные к нажиму, особенно интересны для художников и аниматоров. Такие указатели координат применяются только с индукционными дигитайзерами и обеспечивают до 256 градаций нажима, при помощи которых можно задавать толщину линий, цвет в палитре, оттенки цвета и ряд других параметров. В результате на компьютере можно эмулировать процесс рисования масляными красками, темперой или акварелью на материале, имеющем различную текстуру. Для реализации этих возможностей необходимо иметь соответствующее программное обеспечение, например: Adobe PhotoShop, Aldus PhotoStyler, Fractal Design Painter, Autodesk Animator Pro, Corel Drow v.5.

Чувствительные к нажиму карандаши используются и пользователями пакета AutoCAD для трехмерной визуализации спроектированных объектов. Программное обеспечение для нормального функционирования дигитайзеров содержит стандартный набор программ установки и настройки параметров, а также достаточное количество качественных драйверов.

**Сканеры.** Сканерами называются устройства для оптического считывания и ввода в компьютер документов, выполненных на бумажных или иных "твердых" носителях. Свою родословную сканеры начали в издательских системах и завоевав, там призна-

ние, стали широко использоваться в САПР (CAD/CAM) и ГИС (GIS – геоинформационных системах). Преобразование графической информации в файлы графических данных особенно актуально в тех областях, где исследование, разработка и производство продолжают длительное время.

Сканеры конструктивно могут выполняться планшетными (тогда формат сканируемого документа в большинстве случаев не превышает A2) или рулонными. В планшетных сканерах над неподвижным исходным чертежом движется считывающий узел (рис. 4.29). В рулонных сканерах движется чертеж, а считывающий узел неподвижен (рис. 4.30).

Считывание информации в сканерах осуществляется с помощью системы оптического преобразования. Эта система может быть выполнена в виде одной или нескольких считывающих головок, представляющих собой матрицу на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС, CCD – charge coupled device), либо, реже, в виде "гребенки" фотоэлектронных умножителей, расположенных по всей ширине устройства. В качестве источника света используются люминесцентные лампы.

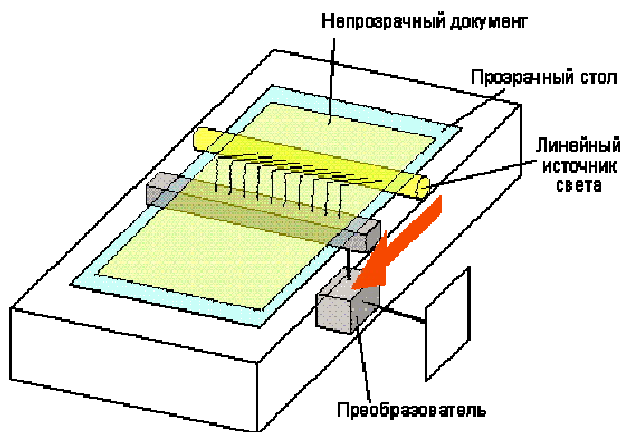


Рис. 4.29. Схема работы планшетного сканера



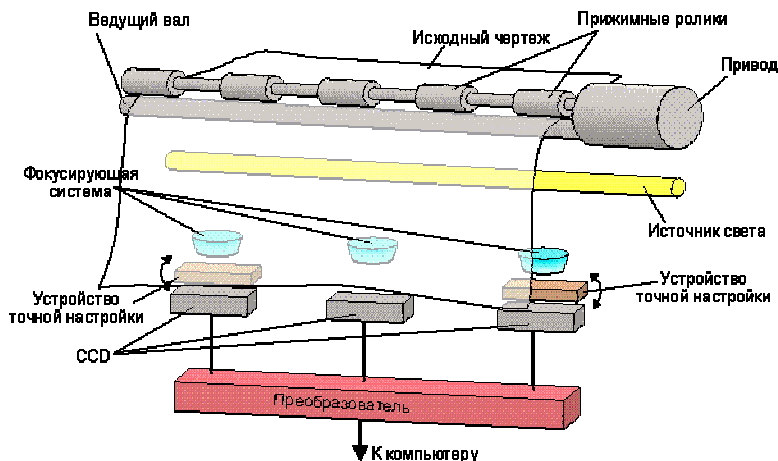


Рис. 4.30. Схема работы рулонного сканера

Каждый регистрирующий элемент считывающего узла фиксирует в некоторый момент времени одну точку (точку раstra). Если камер более одной, то любое изменение в их положении или аберрация в линзах их оптической системы, направляющей отраженный от чертежа поток света на считывающий узел, создает зигзагообразный излом в местах "сшивания" частей изображения, получаемых от каждой камеры. Тот же эффект имеет место и при сканировании больших чертежей при помощи ручных и настольных сканеров, в которых движется сканирующий узел. В больших же сканерах положение камер зафиксировано, что позволяет проводить их калибровку и устранять рассогласование в позиционировании, обеспечивая качественное "сшивание" частей изображения.

Основные параметры сканеров:

- ☐ точность (accuracy),
- ☐ вид носителя (document media),
- ☐ максимальная толщина сканируемого документа (document thickness),
- ☐ пороговая чувствительность (thresholding),
- ☐ скорость сканирования (scan speed),
- ☐ "видимое" или программно-обеспечиваемое разрешение (image resolution, software resolution),

□ вид получаемого в результате сканирования изображения: монохромное, т.е. черно-белые (bilevel) и полутоновые (grayscale), а также цветные (color).

Для работы в САПР от сканера не требуется особенно высокое разрешение, но необходимы большое быстродействие, высокая точность и способность работать с разными типами носителей информации нескольких форматов при разном качестве оригиналов. Это могут быть чертежи, сделанные тушью на кальке, карандашом на ватмане, старые ксерокопии, низкоконтрастные синекопии, имеющие различную отражательную способность, толщину и стойкость к старению. Высокая точность сканирования обеспечивается механизмом подачи, который выполняется в виде валов на всю ширину устройства. Такая конструкция обеспечивает работу с ветхими документами (хотя их рекомендуется перед сканированием помещать в специальные пластиковые конверты, что увеличивает эквивалентную толщину носителя). В связи с этим обращают внимание на параметр «максимальная толщина» сканируемого документа.

Сканируемые чертежи, особенно инженерные, зачастую бывают нечеткими, с неравномерным фоном и расплывшимися линиями, с пометками карандашом и ручкой. На качество получаемого изображения влияет способ установки порога чувствительности для отделения полезной информации от фона. Используемые для этого способы условно можно разделить на статистический и динамический (адаптивный). При статистическом способе, для установки порога используются некоторые усредненные значения фона – либо по всему чертежу (в большинстве сканеров), либо по отдельным зонам (обычно по квадратам размером 50×50мм) или полосами шириной 25мм. После предварительного сканирования соответствующей зоны (или всего чертежа) порог устанавливается либо автоматически, либо вручную. В последнем случае используется многократный прогон чертежа, позволяющий пользователю наблюдать результаты установки того или иного порога. Если различные области чертежа имеют сильно различающуюся контрастность (что часто бывает при использовании "синек"), то это может привести к некорректным результатам. Применение одного порога чувствительности невозможно и в случае если линии чертежа сильно варьируются по толщине и плотности. Установка порогов по зонам значительно улучшает качество по сравнению с усредне-

нием по всему чертежу. Часто используется установка порога вдоль узкой области, находящейся непосредственно под считывающим узлом, что обычно позволяет успешно отсекают следы сгибов чертежа, остающиеся после его складывания.

Адаптивный способ позволяет автоматически подстраивать порог чувствительности непосредственно в процессе сканирования чертежа и выделять различия между изображением и фоном, анализируя прямоугольные области размером  $0,5 \times 0,25$  мм.

Следующий, параметр – скорость сканирования. Однако ее величина зависит от выбранного разрешения и от формата файла, в котором будут сохранены результаты сканирования, так как разные форматы обеспечивают разную степень сжатия. Также определяющими являются сложность документа, его качество и используемый аппарат отсечения фона.

Требуемое для задач САПР разрешение (определяется количеством точек на дюйм, dot per inch или dpi), обычно составляющее 300–400 dpi, может быть достигнуто применением либо считывающих камер с очень высокой плотностью размещения элементов, либо двух или трех камер в одном устройстве. ПЗС-камеры в больших сканерах обычно имеют 5000 регистрирующих элементов. Если используются две камеры, то оптическое разрешение составляет около 10000 точек, или 300 dpi при ширине области сканирования более 900 мм, а при трех камерах – 15000 точек (400 dpi). Следует иметь в виду, что в проспектах на сканеры указываются значения "видимого" или программно-обеспечиваемого разрешения, т.е. того разрешения, с которым создаются выходные файлы и которое далеко от истинного – оптического. На стадии логической интерпретации устройством физических результатов сканирования, между каждыми двумя соседними зарегистрированными точками раstra вставляется третья. Таким образом, при объявленном разрешении 800 dpi физическим пределом является 400 dpi. Логическая интерполяция приводит к некоторому "расплыванию" изображения, придает краям линий гладкость, обеспечивая лучшее качество изображения при масштабировании, но без достаточной проработки мелких деталей. При уменьшении скорости сканирования возможно увеличение физического разрешения. Для правильной интерпретации результатов сканирования разрешение по обеим координатам делают одинаковыми. Не следует забывать, что увеличение разрешения вдвое увеличивает размер

файла в четыре раза. В то же время не очень сложный чертеж можно отсканировать с оптическим разрешением, например, 400 dpi, а затем, с целью уменьшения размера растрового файла, "заглубить" результат при помощи программного обеспечения до 200 dpi, не потеряв мелких деталей.

Как уже отмечалось, изображения, получаемые в результате сканирования, могут быть трех видов: монохромные (черно-белые и полутоновые) и цветные. Наиболее дорогими являются сканеры, позволяющие работать во всех трех режимах, однако работа с цветными изображениями в САПР чрезвычайно редка, да и полутоновые изображения нужны практически только для сканирования фотографий (следует напомнить, что каждая точка изображения в цвете и в "серой шкале" представляется несколькими двоичными разрядами, что многократно увеличивает размер файла изображения). Стандартным является 24-бит представление цветов (по 8 бит на каждый из R, G и B цветов), а в полутоновых сканерах реализуется, как правило, 4- или 8-бит кодирование (16 или 256 градаций серого соответственно). Предпочтение следует отдавать полутоновым сканерам (более дорогим по сравнению с черно-белыми) из-за большего динамического диапазона в области "серой шкалы", а следовательно, возможности более легкой установки порога чувствительности сканера.

В качестве примера, можно отметить сканеры большого формата, предназначенные для интегрального ввода графической информации (рис. 4.31)



Рис. 4.31. Сканеры большого формата

Программное обеспечение, поставляемое в комплекте со сканерами, позволяет при помощи простых команд выбирать режим цветности, размеры изображения, разрешение, яркость и другие параметры, полностью контролировать процесс сканирования (изображение появляется в окнах на экране монитора), а также выбирать при необходимости любую область сканирования в любом месте чертежа.

**Сенсорные экраны.** Сенсорный экран (touch screen) по функции указания является аналогом светового пера (при указании точки на экране) или клавиатуры (при нажатии на соответствующую ее клавишу), однако имеет меньшую разрешающую способность, так как указателем является палец. Сенсорные экраны часто применяются при выборе пунктов меню и, таким образом, могут использоваться совместно с интерактивными программами вместо манипуляторов и клавиатур.

При работе с сенсорным экраном пользователь касается пальцем курсора, буквы, числа или высвеченной на экране фигуры (пиктограммы). Вне зависимости от принципов, положенных в основу функционирования сенсорного экрана, с его поверхностью связывается прямоугольная система координат. Координаты точки касания экрана фиксируются и передаются в компьютер. Точкам координатной сетки тем или иным программным продуктом ставятся в соответствие какие-либо функции или действия, выполнение которых инициируется при касании точек.

К основным характеристикам сенсорных экранов относят скорость преобразования касания в цифровую форму, разрешение и стоимость. Первые два показателя при ручном указании особого значения не имеют, на первый план выступают такие характеристики, как удобство пользования экраном, его практичность и долговечность. Последние показатели в большей мере зависят от физических принципов, положенных в основу функционирования сенсорного экрана.

Можно выделить следующие виды сенсорных экранов: резистивного типа, с емкостными датчиками, с акустическими датчиками, с оптическими датчиками.

Сенсорный экран резистивного типа чаще всего выполняется в виде двух прозрачных майларовых пленок, размещенных на внешней поверхности экрана дисплея. На каждой пленке имеются параллельные проводники одной из координат. Таким образом, от-

носителем внешнего механического воздействия образуется резистивное матричное поле. Когда палец или какой-либо другой указатель прижимает одну пленку к другой, сопротивление между двумя ближайшими перпендикулярно расположенными проводниками изменяется, что фиксируется и передается в компьютер.

В сенсорных экранах с емкостными датчиками на экран дисплея наносятся с определенной топологией методом вжигания тонкие прозрачные слои токопроводящего материала. В момент касания одного из таких участков емкость изменяется и координаты касания передаются в компьютер.

В сенсорных экранах с акустическими датчиками вдоль двух перпендикулярных границ экрана расположены передатчики, излучающие акустические волны в незвуковом диапазоне, которые распространяются вдоль поверхности экрана. Любой касающийся экрана объект отражает эти волны, и они фиксируются акустическими приемниками, размещенными рядом с передатчиками. Таким образом однозначно определяются координаты касания. В других разновидностях акустических сенсорных экранов приемники могут находиться в плоскости экрана напротив передатчиков. В этом случае приемники реагируют на ослабление акустического сигнала.

В сенсорных экранах с оптическими датчиками вдоль двух перпендикулярных границ экрана располагаются светоизлучающие диоды, а напротив них, вдоль противоположных границ экрана – фотоприемники. Тем самым над поверхностью экрана формируется ортогональная сетка инфракрасных лучей. Если палец или другой указатель соприкасается с поверхностью экрана, то он пересекает определенные лучи, что идентифицируется электронным блоком и передается в компьютер.

Сенсорные экраны с оптическими датчиками обладают высокой надежностью и долговечностью, хорошей разрешающей способностью и отсутствием каких-либо конструктивных элементов, ухудшающих видимость изображения. Однако в ранних моделях имел место параллакс, обусловленный выпуклостью экрана. Последние достижения технологии в значительной степени устранили эту проблему. Аналогичными характеристиками обладают и акустические сенсорные экраны.

При всех положительных качествах в настоящее время, сенсорные экраны в своем большинстве используются в справочно-информационных системах и, по-видимому, будут иметь более

широкое развитие в системах с распознаванием подчерка и вводимой графической информации с помощью указателей.

#### **4.6. Средства документирования и регистрации графической информации**

Эта группа устройств отвечает за вывод информации на вещественные носители с целью сохранения ее в течение длительного времени и является важным компонентом любой вычислительной системы, занимающейся разработками. Достаточно общая классификация этих устройств вместе со средствами технологической подготовки производства и изготовления приведена на рис. 4.32. Условно все эти устройства можно разделить на три группы:

1) устройства документирования (чертежно-графические автоматы), или графопостроители, часто называемые плоттерами (от англ. *plotter*);

2) устройства регистрации, как правило, печатающие устройства (принтеры), хотя сюда также входят полиграфические (ризографы), множительные (копиры) и ряд других специализированных устройств;

3) технологические автоматы, необходимые как для технологической подготовки производства, так и для изготовления.

В настоящее время в связи с развитием таких технологий документирования, как струйная и лазерная печать, векторные устройства (графопостроители или плоттеры) оказались вытеснены из практики использования, а следовательно, и их производства.

Устройства, выполняющие функции вывода графической информации на бумажный и некоторые другие виды носителей, называются графопостроителями (иногда, имея в виду широкие функциональные возможности – чертежно-графическими автоматами), а чаще – плоттерами. В зависимости от способа формирования изображения плоттеры делятся на векторные и растровые устройства, а по конструкции – на планшетные и барабанные (или рулонные).

В планшетных устройствах носитель информации (чаще всего, бумага) неподвижен, а пишущий узел перемещается по всей плоскости изображения. В барабанных устройствах пишущий узел перемещается вдоль одной оси координат, а бумага – вдоль другой за счет захвата транспортным валом, обычно фрикционным. Перемещения выполняются при помощи шаговых (в подавляющем большинстве плоттеров) или линейных электродвигателей.

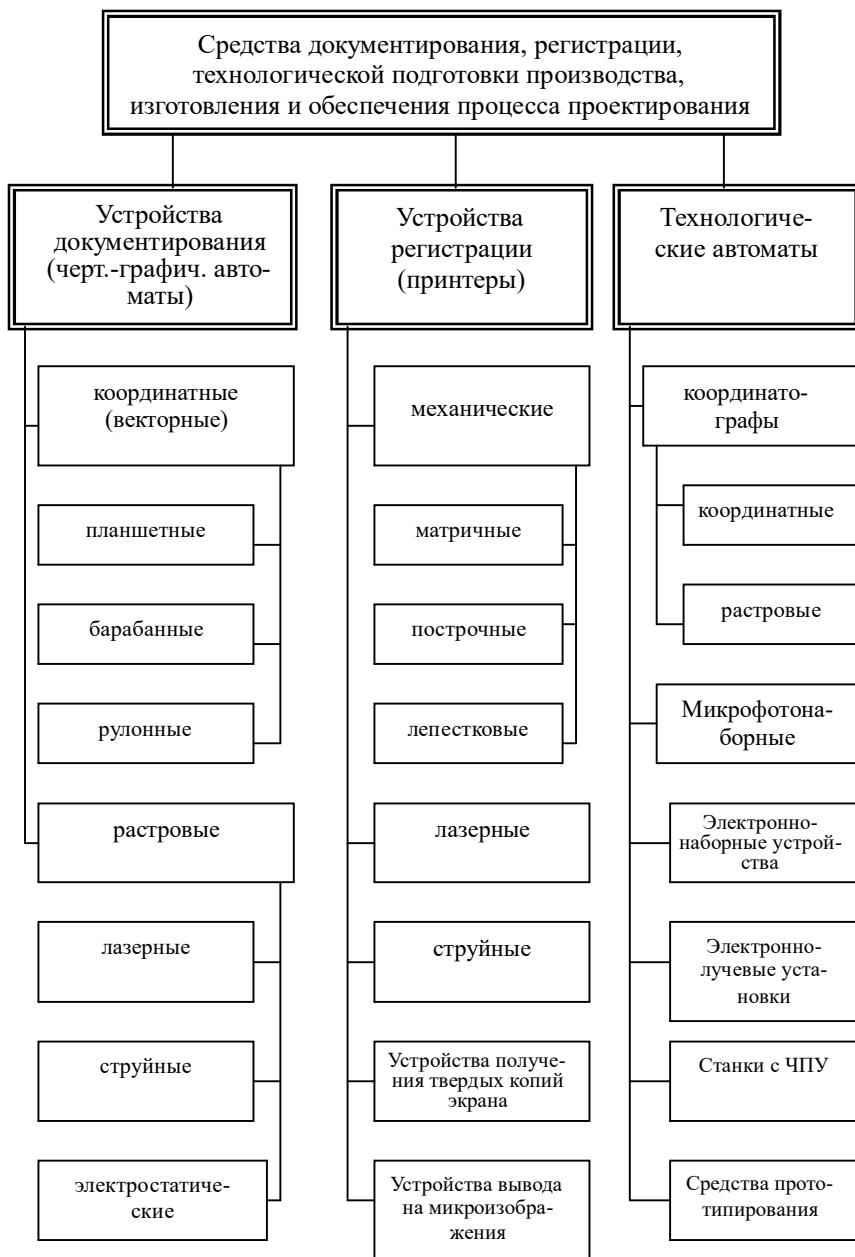


Рис. 4.32. Классификация устройств документирования и СТПП



Хотя точность вывода информации барабанными плоттерами несколько ниже, чем планшетными, она удовлетворяет требованиям большинства задач. Эти плоттеры более компактны, что и определило их доминирующее положение на рынке большеформатных устройств (формат более А3).

В зависимости от способа нанесения изображения плоттеры делятся на перьевые, карандашно-перьевые, струйные, лазерные, электростатические, плоттеры прямого вывода изображения, плоттеры на основе термопередачи.

**Перьевые графопостроители (плоттеры)** – электромеханические устройства векторного типа, в которых изображение создается при помощи пишущих элементов, обобщенно называемых перьями (или рапитографами). Пишущие элементы бывают одноразовыми и многоразовыми (т.е. допускающими перезарядку). Перо крепится в держателе пишущего узла, который имеет одну или две степени свободы. Отличительной особенностью перьевых плоттеров является высокое качество получаемого изображения. Однако скорость вывода информации невысока, несмотря на все более быструю механику и попытки оптимизации процедуры рисования. Также существует и проблема подбора пары «носитель–чернила». Примеры перьевых графопостроителей приведены на рис. 4.33.

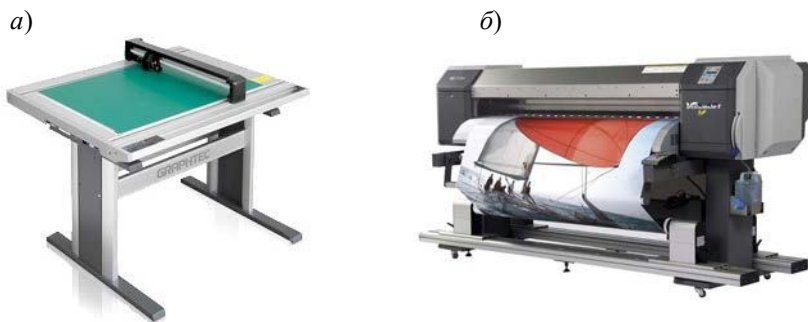


Рис. 4.33. Перьевые графопостроители: а– планшетный, б– рулонный

Карандашно-перьевые плоттеры являются разновидностью перьевых, отличаются возможностью установки специализированного пишущего узла с цанговым механизмом для использования обычных карандашных грифелей, который обеспечивает постоянное усилие нажима грифеля на бумагу и его автоподачу при стачи-

вании. В результате не требуется постоянно следить за процессом вывода информации, как при эксплуатации перьевых плоттеров, в которых может засориться канал истечения красителя. Использование грифеля имеет ряд преимуществ по сравнению с перьевым узлом, а именно: грифель пишет практически на любой скорости (при использовании жидких красителей необходимо учитывать время их вытекания из пера и время высыхания), грифель, наиболее экономный расходный материал позволяет рисовать на любых бумажных носителях, в том числе и не очень высокого качества; при этом изображения качественные, могут быть откорректированы ластиком и дают хорошие копии.

**Струйные графопостроители.** Струйная печать – это процесс получения изображения, при котором элементы изображения создаются каплями чернил, вылетающими из сопла со скоростью, достаточной, чтобы преодолеть зазор между соплом и поверхностью, на которой формируется изображение.

В зависимости от способа распыления чернил струйная технология может быть непрерывной и импульсной. Последняя, в свою очередь, может быть разделена на печать с твердыми чернилами, пьезоэлектрическую и пузырьковую.

При непрерывной струйной печати печатающая головка непрерывно выстреливает капельки чернил в сторону бумаги. Поток чернил, поступающий в печатающую головку, разбивается на капли под действием вибрации сопла, вызываемой с помощью, например, пьезоэлектрического элемента. Если бы все капли попали на бумагу, она покрылась бы равномерным слоем чернил и никакого изображения не получилось бы. Поэтому на бумагу должны попадать только те капли, которые требуются для создания изображения, остальные – это отходы. На рис. 4.34 показано, как с помощью охватывающего выход из сопла электрода вылетающие капли приобретают электрический заряд.

Далее капли пролетают через отклоняющую систему, которая создает электрическое поле высокого напряжения. Так как капли имеют заряд, то под действием электрического поля они изменяют свою траекторию.

Таким образом, меняя напряжение электрического поля, можно управлять направлением полета капель. Они либо попадают на бумагу в нужном месте, либо летят в уловитель, откуда чернила поступают в резервуар для повторного использования.

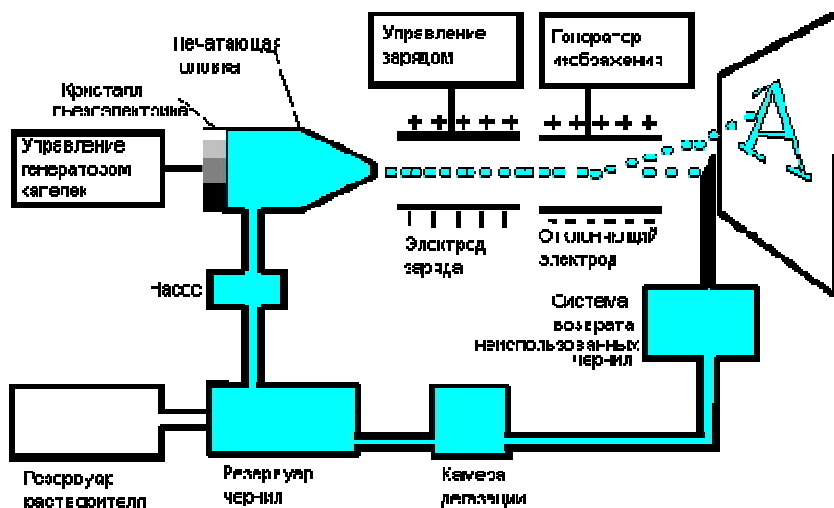


Рис. 4.34

Характеристики устройств непрерывного действия:

- очень высокая производительность сопел – от 50000 для 150000 капелек в секунду на сопло;
- используются только электропроводные чернила;
- необходимый элемент конструкции – сложная система рециркуляции чернил, так как без нее подобная технология была бы разорительной для пользователя из-за неимоверного расхода дорогих чернил;
- относительно низкая скорость печати;
- относительно большое расстояние между соплом пишущей головки и поверхностью, на которой создается изображение.

Наибольшее распространение получил другой тип струйных технологий – импульсный. В отличие от систем непрерывного действия импульсные струйные головки – это асинхронные устройства, т.е. печатающая головка выстреливает чернила только тогда, когда получает сигнал – стреляет "по-требованию". В непрерывных системах, капли чернил создаются из непрерывной струи чернил, проходящей через сопло под действием вибрации. В отличие от этого, устройства импульсного типа имеют рядом с соплом маленькую камеру, в которой в нужные моменты создается избыточ-

ное давление. Его источником может быть кристалл пьезоэлектрика, действующий, как микропоршень, на одну из стенок камеры, либо тепловой импульс, под действием которого образуется пузырек мгновенно испаряющихся чернил. Избыточное давление выталкивает из камеры каплю чернил, которая по инерции пролетает через зазор между соплом и бумагой. Так капля за каплей, точка за точкой формируется изображение.

Струйная печать с твердыми чернилами была реализована в принтерах фирм Tektronix Dataproducts для устройств получения высококачественных цветных изображений. Согласно этой технологии четыре цветные восковые палочки, соответствующие базовым цветам: голубая, розовая, желтая и черная, закладываются в печатающую головку. Нагреватели расплавляют воск, при температуре 90°C он переходит в жидкое состояние и стекает в резервуар с подогревом, где чернила поддерживаются в жидкой фазе во время работы принтера. Для получения изображения печатающее устройство откачивает небольшое количество чернил из резервуара и затем дополнительно нагревает его. Механизм большинства таких принтеров устроен аналогично принтерам непрерывного действия. Бумага закреплена на вращающемся барабане, и печатающая головка формирует изображение за один поступательный проход. Электронное устройство, обеспечивающее пульсацию чернил, выстреливает мельчайшие капельки в те мгновения, когда это требуется. При контакте с бумагой чернила мгновенно переходят в твердую фазу, поэтому они не впитываются в бумагу, а остаются на ее поверхности. С одной стороны, это очень хорошо, так как полностью отсутствует эффект расплывания чернил, присущий любым жидким чернилам, но, с другой стороны, так как капельки застывают мгновенно, поверхность изображения становится шершавой. Поэтому в качестве финишной обработки изображения лист бумаги прокатывают через валки, расплющивающие шероховатости твердых чернил и придающие изображению приятный гляцевый вид.

Основное преимущество струйной печати со сменой фаз перед другими струйными технологиями в том, что чернила не впитываются в бумагу и удастся достичь высокого качества печати. Недостаток один – высокая стоимость получаемых изображений. Эти устройства стоит применять для вывода только полноцветных изображений, когда требуется очень точная цветопередача и высокое качество печати.

Пьезоэлектрические струйные головки для принтеров были разработаны в 1970-х годах. В большинстве таких принтеров избыточное давление в камере с чернилами создается с помощью диска из пьезоэлектрика, который изменяет свою форму – выгибается при подведении к нему электрического напряжения. Выгнутый, диск, являясь одной из стенок камеры с чернилами, уменьшает ее объем. Под действием избыточного давления жидкие чернила вылетают из сопла в виде капель.

Первый струйный принтер с использованием пузырьковой технологии ThinkJet был создан в 1985 г. (Hewlett-Packard). Принцип его работы заключается в следующем. В стенку сопла встроен нагревательный элемент. При подаче электрического импульса температура его резко возрастает. Затем практически все чернила, находящиеся в контакте с нагревательным элементом, мгновенно испаряются. Расширение пара вызывает ударную волну. Под действием избыточного давления капли чернил буквально "выстреливаются" из сопла. После этого чернильный пар конденсируется, пузырек схлопывается и в сопле образуется зона пониженного давления, под действием которого новая порция чернил всасывается в сопло. Важной особенностью такого печатающего устройства является простая конструкция сопел. Кроме низкой стоимости изготовления, она имеет ряд других преимуществ:

- высокая надежность каждого сопла, что упрощает конструкцию и, следовательно, уменьшает размер печатающего узла, так как не надо обеспечивать возможность замены сопел;
- возможность располагать сопла гораздо ближе друг к другу, а это увеличивает разрешение печати;
- отсутствие какого-либо звука при работе печатающей головки.

С точки зрения пользователя, конструктивные отличия невелики, но в некоторых случаях они могут иметь решающее значение при выборе между устройствами, снабженными печатающими головками этих двух фирм. Например, струйные плоттеры серии TechJet, производимые фирмой CalComp, снабжены головками Canon. Основным их недостатком является высокая требовательность к бумаге для печати. Применять обычный ватман или другие стандартные чертежные материалы практически невозможно, так как, из-за неровности бумаги пишущая головка в некоторых местах задевает за лист и размазывает не успевшие еще высохнуть

чернила, либо чернила слишком хорошо впитываются в бумагу и расплываются. Использовать же для печати только фирменную бумагу Hewlett-Packard слишком дорого.

Разработчики CalComp учли то, что ширина рабочего поля у плоттера формата A0 в четыре раза больше, чем у принтера, поэтому при той же кривизне листа абсолютная величина отставания его от валика графопостроителя может быть существенно выше. Следовательно, необходимо увеличить зазор между головкой и листом бумаги. Именно успехи Canon в миниатюризации головок и повышении разрешения печати позволили конструкторам CalComp без ухудшения качества получаемого изображения на новых плоттерах отодвинуть головку от листа, что позволяет применять любой ватман. Новые чернила Canon также упростили выбор бумаги для плоттера: теперь линии на чертежах не расплываются, так как чернила просто не успевают растекаться — они высыхают.

Струйная технология имеет ряд достоинств: простота реализации, высокое разрешение, низкая потребляемая мощность и относительно высокая скорость печати. Спрос на струйные плоттеры со стороны пользователей САПР, выпускающих сложные чертежи, растет, и практически струйная технология вытесняет все остальные. Ведущими изготовителями струйных плоттеров являются Hewlett-Packard, Epson (рис. 4.35), Summagraphics, Encad. Многие модели указанных фирм обеспечивают недорогую монохромную печать, высокое качество цветных отпечатков и низкую общую стоимость сопровождения при высокой скорости печати и скромном техническом обслуживании.



Рис. 4.35. Струйные принтеры HP и Epson

**Лазерные (светодиодные) плоттеры** . Эти плоттеры базируются на электрографической технологии, в основу которой положены физические процессы внутреннего фотоэффекта в светочувствительных полупроводниковых слоях селеносодержащих материалов и силовое действие электростатического поля. Промежуточный носитель изображения (вращающийся селеновый барабан) в темноте может быть заряжен до потенциала в сотни вольт. Луч света снимает этот заряд, создавая скрытое электростатическое изображение, которое притягивает намагниченный мелкодисперсионный тонер, переносимый затем механическим путем на бумагу. После этого бумага с нанесенным тонером проходит через нагреватель, в результате чего частицы тонера запекаются, создавая изображение.

До недавнего времени создание скрытого изображения на барабане осуществлялось исключительно при помощи лазера. Для управления перемещением лазерного луча служила сложная система вращающихся зеркальных многогранников или призм и линз. Поэтому плоттеры, использующие лазеры, боятся тряски и ударов, которые могут сбить настройку.

Избежать сложностей с оптикой и сделать систему проще, легче и надежнее позволило применение линеек точечных полупроводниковых светодиодов (LED – light emitting diode).

Лазерные и LED-плоттеры ввиду высокого быстродействия (лист формата A1 выводится менее чем за 30 с) удобно использовать как сетевые устройства; они имеют в стандартной комплектации адаптер сетевого интерфейса. Не менее важно и то, что эти плоттеры могут работать на обычной бумаге, что сокращает эксплуатационные затраты. LED-плоттеры становятся все более популярными (рис. 4.36).



Рис. 4.36. LED-плоттеры

Области их применения – САПР (CAD/CAM/CAE), сложный технический дизайн, архитектура, картография и др., т.е. там где требуется высокое качество и производительность, но наличие цвета не обязательно.

**Электростатические плоттеры.** Электростатическая технология основывается на создании скрытого электрического изображения (потенциального рельефа) на поверхности носителя – специальной электростатической бумаги, рабочая поверхность которой покрыта тонким слоем диэлектрика, а основа пропитана гидрофильными солями для обеспечения требуемой влажности и электропроводности. Потенциальный рельеф формируется при осаждении на поверхность диэлектрика свободных зарядов, образующихся при возбуждении тончайших электродов записывающей головки высоковольтными импульсами напряжения. Когда бумага проходит через проявляющий узел с жидким намагниченным тоном, частицы тонера оседают на заряженных участках бумаги. Полная цветовая гамма получается за четыре цикла создания скрытого изображения и прохода носителя через четыре проявляющих узла с соответствующими тонерами.

Электростатические плоттеры (рис. 4.37) можно было бы считать идеальными устройствами, если бы не необходимость поддержания стабильных температуры и влажности в помещении, тщательного обслуживания и высокая стоимость. Поэтому их приобретают пользователи, имеющие оправданно высокие требования к производительности и качеству. Для достижения максимальной эффективности электростатические плоттеры обычно работают как сетевые устройства, для чего снабжены адаптерами сетевого интерфейса.



Рис. 4.37. Электростатические плоттеры



Немаловажны также высокая устойчивость изображения к воздействию ультрафиолетовых лучей и невысокая (на уровне стоимости высококачественной типографской) стоимость электростатической бумаги. Электростатические плоттеры применяются при высокой степени автоматизации проектных работ в солидных организациях и в геоинформационных системах (GIS).

***Плоттеры прямого вывода изображения.*** Изображение в плоттерах прямого вывода изображения (Direct Imaging Plotter) создается на специальной термобумаге (бумаге, пропитанной термочувствительным веществом) длиной (на всю ширину плоттера) "гребенкой" миниатюрных нагревателей. Термобумага, которая обычно подается с рулона, движется вдоль "гребенки" и меняет цвет в местах нагрева. Изображение получается высококачественным (разрешение до 800 точек на дюйм), но только монохромным. В настоящее время цены на термобумагу снизились, недостатки, когда-то присущие ей (чувствительность к изменениям температуры окружающей среды и низкая контрастность изображения), устранены, а типы термоносителей включают в себя стандартную белую бумагу, кальку и даже полиэфирную пленку. Качество этих носителей удовлетворяет самым строгим архивным требованиям.

Благодаря высокой надежности, производительности и низким эксплуатационным затратам плоттеры прямого вывода изображения применяются в крупных проектных организациях для вывода проверочных копий. В их стандартную конфигурацию входит сетевой адаптер. Технические характеристики таких плоттеров соответствуют требованиям прикладных задач инженерного проектирования, архитектуры, строительства, городского планирования и электросхемотехники.

***Графопостроители на основе термопередачи*** . Отличие этих плоттеров от плоттеров прямого вывода изображения состоит в том, что в них между термонагревателями и бумагой (или прозрачной пленкой) размещается "донорский цветоноситель" – тонкая, толщиной 5-10 мкм, лента (например, лавсановая), обращенная к бумаге красящим слоем, выполненным на восковой основе с низкой температурой плавления.

На донорской ленте последовательно нанесены области каждого из основных цветов размером, соответствующим листу используемого формата. В процессе вывода информации бумажный лист с наложенной на него донорской лентой проходит под печат-

тающей головкой, которая состоит из тысяч мельчайших нагревательных элементов. Воск в местах нагрева расплавляется, и пигмент остается на листе. За один проход наносится один цвет. Все изображение получается за четыре прохода. Таким образом, на каждый лист цветного изображения затрачивается в четыре раза больше красящей ленты, чем на лист монохромного. Ввиду дороговизны каждого отпечатка эти плоттеры используются в составе средств автоматизированного проектирования для высококачественного вывода объектов трехмерного моделирования, в системах картографии, где требуется высокое качество воспроизведения цветов.

При общем рассмотрении можно выделить следующие характеристики графопостроителей (плоттеров):

- ☐ стоимость изделия;
- ☐ набор функциональных возможностей, по которым можно интегрально оценить применимость плоттера для решения конкретных задач;
- ☐ стоимость эксплуатационных затрат, включающую стоимость носителя, расходных материалов, обслуживания, амортизацию и потребление энергии;
- ☐ производительность;
- ☐ удобство работы, сервис;
- ☐ качество изображений, обеспечиваемую цветовую гамму;
- ☐ функциональность и эргономику;
- ☐ автономность (возможность продолжительной работы без вмешательства оператора);
- ☐ отсутствие проблем с расходными материалами на отечественном рынке.

Указанные характеристики расставлены в достаточной мере произвольно, поскольку значимость каждой из них пользователь выбирает для себя, руководствуясь собственными критериями. Однако главенствующее положение занимают технические параметры, приводимые в документации и проспектах.

Эти характеристики условно можно разделить на шесть групп: 1) носитель и изображение; 2) параметры точности; 3) параметры производительности; 4) память; 5) форматы данных; 6) чертежные характеристики.

#### **4.7. Средства технологической подготовки производства, изготовления и обеспечения процесса проектирования**

В этой категории технических средств может быть представлен очень широкий спектр технологического оборудования, предназначенного как для собственно производства (технологические центры и автоматы, станки с ЧПУ и т.д.), так и для его технологической подготовки. Среди многообразия этих устройств нельзя не отметить технологии и технологические аппараты, напрямую связанные с творческим процессом конструктора на этапе принятия решений.

Известно, что, имея реальную физическую модель будущего изделия, еще в процессе проектирования можно выявить и устранить различные ошибки, скорректировать пути продолжения процесса проектирования. Прототип изделия можно использовать в качестве концептуальной модели для визуализации и анализа конструкции. Он позволяет конструкторам выполнить доработку и провести некоторые функциональные тесты, может служить мастер-моделью для изготовления инструментальной оснастки и, наконец, при определении стоимости изготовления. Для этих целей используют традиционный способ получения физических моделей будущих изделий – изготовление их из легко обрабатываемых материалов вручную или на обычных обрабатывающих станках, что связано с серьезными временными затратами.

Сегодня существует целый ряд новых, активно развивающихся технологий – так называемого быстрого прототипирования (RP-Rapid Prototyping). По сравнению с другими методами (изготовление моделей из пенопласта, дерева, воска вручную или на станках с ЧПУ), существовавшими до середины 1980-х годов, появление систем быстрого изготовления прототипов было переворотом в технологии. Вместо того, чтобы строить физические модели на протяжении нескольких недель, конструкторы могут получать их через несколько дней или часов.

RP-системы стали появляться, начиная с 1987 г., когда компания 3D Systems выпустила свои стереолитографические машины (Stereo Litographics Apparatus – SLA). Наряду с 3D Systems первенство по продаже оборудования держат компании Stratasys и DTM. Другие значительные участники этой индустрии – Helisys Inc., Sanders Prototypes Inc., Cubital America Inc. и Z Corporation.

Большинство существующих различных RP-систем, производящих модели по различным технологиям и из различных материалов, работают по схожему, послойному принципу построения физической модели, который заключается в следующем. На первом этапе происходит считывание трёхмерной геометрической модели из CAD-систем в STL-формате (обычно твёрдотельные модели, или модели с замкнутыми поверхностными контурами). Далее осуществляется разбиение трёхмерной модели на поперечные сечения (слои) с помощью специальной программы, поставляемой с оборудованием или используемой как приложение, и построение сечений детали слой за слоем, до тех пор, пока не будет получен физический прототип модели. Слои располагаются снизу вверх, один над другим, физически связываются между собой. Построение прототипа продолжается до тех пор, пока поступают данные о сечениях CAD-модели.

Можно выделить следующие технологии.

**Стереолитография** (Stereo Lithography Apparatus). Основным рабочим элементом стереолитографии является ультрафиолетовый лазер, который последовательно "вычерчивает" сечения объекта на поверхности ёмкости со светочувствительной смолой. Жидкий пластик отвердевает только там, где его касается лазерный луч. Новый слой жидкого пластика распространяется по отвердевшей поверхности и контур следующего слоя вычерчивается лазером. Процесс повторяется автоматически до полного построения детали. Основным провайдером технологии SLA и производителем оборудования является компания 3D Systems, основанная в 1986 г. В настоящее время компания является лидером по продажам и производству на рынке RP-систем стереолитографов и 3D принтеров.

**Технология SGC** (Solid Ground Curing) – сложный, многошаговый процесс. С помощью специального тонера на стеклянной пластине создаётся изображение слоя, образующее его "фотомаску" – фотошаблон. Тонкий слой смолы, распределённый по поверхности рабочего стола, и находящийся над ним фотошаблон слоя выстраиваются под ультрафиолетовой лампой. Лампа включается на несколько секунд, в результате чего отвердевает слой смолы, фотомаска которого использовалась в этот момент. Неотвердевшая смола удаляется, полости заполняются расплавленным воском, который быстро затвердевает. Построенный слой фрезеру-

ется до получения гладкой поверхности и точной высоты слоя. Далее деталь вновь подвергается воздействию ультрафиолетового излучения для окончательного формирования слоя. Затем процесс повторяется: создаётся фотошаблон для следующего слоя, по рабочему столу распределяется новый слой жидкой смолы и т.д. Основным провайдером технологии SGC является компания Cubital, выпускающая установки Solider 5600 и Soolider 4600. Точность построения 0.084 мм, скорость построения 70 и 120 с/слой, толщина слоя 0,1 – 0,2 мм.

**Технология SLS** (Selective Laser Sintering). В этой технологии 3D-объект создаётся из порошкообразных материалов (пластик, металл, нейлон и керамика) с использованием процесса спекания при помощи углекислотного лазера. Лазерный луч, попадая на тонкий слой порошка, спекает порошковые частицы, которые формируют твёрдую массу, по форме соответствующую CAD-модели и определяющую геометрию изделия.

**Технология LOM** (Laminated Object Manufacturing). Изготовление объектов с использованием ламинирования) также включает в себя лазер, который вырезает контуры сечений по CAD-данным, слой за слоем. CAD-данные поступают в систему управления LOM-станком, где с помощью специального программного обеспечения создаются поперечные сечения детали. Луч лазера вырезает контур сечения в верхнем слое, а затем разрезает области излишнего материала для последующего удаления. Новый слой соединяется с предыдущим за счет прокатки термоваликом, и создаётся новое поперечное сечение.

**Технология FDM** (Fused Deposition Modeling). В этой технологии осуществляется послойное наложение расплавленной полимерной нити, которая является термопластичным моделирующим материалом.

Принтеры твердотельных объектов (Three Printer – 3D-Printer) – системы, которые формируют геометрические модели за счет последовательного нанесения материала из одной или нескольких струйных головок, подобно обычному принтеру.

Технология важна для специалистов, которые занимаются концептуальным проектированием и которым необходимо только взглянуть на деталь и затем продолжить разработку. Очень важен фактор быстрого, недорогого и простого получения прототипов проектируемых изделий. 3D-принтеры более доступны, так как

для их размещения не требуется специальных приспособлений и помещений, они могут размещаться непосредственно у рабочего места конструктора. Кроме этого, 3D-принтеры не используют вредные материалы или процессы. Провайдерами систем являются 3D Systems, Stratasys и Z Corporation (рис. 4.38).



Рис. 4.38. 3D-принтеры

Быстрое изготовление прототипов стало важнейшей частью CAD/CAM-процесса. RP-технологии позволяют пользователям за короткое время проверить данные CAD-систем. Всё говорит о том, что технологии и системы быстрого прототипирования будут занимать всё большее место в автоматизированном проектировании. В недалёком будущем RP-системы будут доступны любому пользователю и станут привычным инструментом конструктора, повышая качество проектирования и сокращая время выпуска новой продукции.