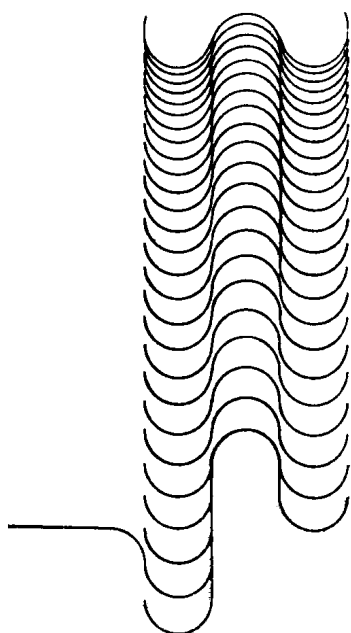


А. Г. ГОРЕЛИК

АВТОМАТИЗАЦИЯ
ИНЖЕНЕРНО -
ГРАФИЧЕСКИХ
РАБОТ
С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

А. Г. ГОРЕЛИК

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО - ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ



Минск „Высшая школа“ 1980

ББК 32.98+30,2 я 73

Г68

УДК 681.3.06 : 658.512.2(075.8)

Рассмотрено Министерством высшего и среднего специального
образования БССР

Рецензенты:

кафедра начертательной геометрии и инженерной графики Ленин-
градского политехнического института им. М. И. Калинина;
С. А. Фролов, зав. кафедрой начертательной геометрии и черчения
Московского высшего технического училища им. Н. Э. Баумана,
д-р техн. наук, проф.

Г $\frac{30105-019}{М304(05)-79}$ 26-80 2104000000

© Издательство «Высшая школа», 1980.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В научных организациях нашей страны и за рубежом накоплен достаточно большой опыт в области автоматизации геометрических расчетов и инженерно-графических работ (ИГР) с помощью ЭВМ, чертежно-графических автоматов (ЧГА) и дисплейной техники. Многие организации, СКБ, заводы приобретают ЧГА и затрачивают значительные усилия на автоматизацию огромного объема ИГР. В вузах ставится вопрос о необходимости изменения традиционных курсов инженерной графики и прикладной геометрии с целью приближения их к современному уровню достижений отечественной и зарубежной науки и практики. Одним из препятствий для отражения в курсах инженерной графики современных методов применения ЭВМ и ЧГА является отсутствие систематизированной литературы, что существенно сказывается на качестве подготовки специалистов.

В настоящем пособии рассматриваются программные средства и математические методы автоматизации ИГР в условиях автоматизированного проектирования. Весь материал условно можно разбить на две части, представляющие различный интерес для разных категорий читателей. К первой категории отнесем тех, кто на данном этапе не ставит перед собой задачи изучения математических методов построения систем автоматизации ИГР, а предполагает лишь воспользоваться предлагаемыми ему средствами автоматизации в своей практической деятельности (точно так же, как можно управлять автомобилем, не зная его внутреннего устройства). Им достаточно ознакомиться с введением, главами 1, 5 и 6.

Во введении показывается роль технических средств отображения графической информации и графического диалога в системах автоматизированного проектирования (САПР) и роль геометрического обеспечения в функционировании САПР.

Глава 1 содержит краткое описание технических средств отображения графической информации, входящих в состав ЕС ЭВМ, и существующих программных средств автоматизации ИГР.

В главе 5 описывается формализованный аппарат геометрического моделирования (ФАП-КФ), являющийся языком пользователя. ФАП-КФ применяется во многих проектно-конструкторских и научно-исследовательских организациях, в вычислительных центрах предприятий и вузов.

В главе 6 рассматриваются примеры применения ФАП-КФ для координатного расчета деталей, моделирования кинематики плоско-

го механизма, автоматизации вычерчивания с помощью ЭВМ и ЧГА, построения технологических карт оптимального раскроя и развертки поверхности.

Главы 2—4 предназначены для читателей, интересующихся методами, положенными в основу построения систем автоматизации ИГР. В них рассматриваются математические методы описания геометрических объектов (ГО) и решения наиболее характерных геометрических задач, возникающих при построении систем автоматизации ИГР, а также методы построения с помощью ЭВМ плоских сечений и проекционных изображений ГО.

Для усвоения материала книги необходимо иметь навык работы с ЭВМ, а также ознакомиться с языком ФОРТРАН в пределах курсов, отведенных для этого в вузах.

Книга может быть полезна преподавателям и студентам технических вузов и факультетов прикладной математики, а также научным и инженерно-техническим работникам, использующим или изучающим методы применения ЭВМ для автоматизации геометрических расчетов и ИГР.

Автор благодарен рецензентам докт. техн. наук, проф. С. А. Фролову и канд. техн. наук В. А. Волошинову за анализ рукописи и полезные замечания, позволившие улучшить изложение материала.

Все критические замечания и пожелания просим направлять по адресу: 220048. Минск, Парковая магистраль, 11, издательство «Вышэйшая школа».

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Современные ЭВМ находят все более широкое применение в создании автоматизированных систем технической подготовки производства. Особенно перспективна возможность использования ЭВМ для автоматизации проектно-конструкторских работ. За последние годы построен ряд систем, в которых основными средствами обмена информацией между ЭВМ и ее пользователем, наряду с печатающими устройствами и телетайпами, выдающими результаты в алфавитно-цифровом виде, служат графические визуальные устройства. Использование графических устройств позволяет значительно расширить сферы рационального применения современной вычислительной техники.

Основными видами аппаратуры для вывода графической информации являются устройства с электронно-лучевой трубкой (ЭЛТ), которые принято называть дисплеями, и ЧГА. Дополнительное техническое и программное оснащение дисплея позволяет использовать его и для ввода графической информации. Существуют и другие технические средства, позволяющие вводить графическую информацию в ЭВМ.

Появление возможности обрабатывать графическую информацию дало в руки исследователей новый мощный инструмент. Дисплеи со световыми карандашами, автоматические и полуавтоматические устройства графического ввода стали использоваться для обмена графическими образами между человеком и ЭВМ, протекающего в форме диалога.

Впервые аппаратура графического отображения была широко применена при изучении возможности применения ЭВМ для автоматической подготовки управляющих программ к станкам с числовым программным управлением (ЧПУ). В результате этих исследований возник язык АРТ, основанный на использовании геометрических понятий. Существенным вкладом в данную область явилась также система SKETCHPAD, позволяющая осуществлять общение человека с ЭВМ на основе использования графических образов. В этой системе человек при помощи пульта с дисплеем может передавать вычислительной машине информацию в графической форме и получать этим же путем результаты вычислений.

Накопление опыта в области программирования оказало большое влияние на развитие методов обработки графической информации. Вначале широкое применение получили символические языки,

ориентированные на конкретные машины. Затем появились языки типа КОБОЛ, ФОРТРАН, АЛГОЛ-60. Язык АРТ и работа по системе SKETCHPAD позволили получить удобные средства обработки геометрической информации и сыграли важную роль в создании фундамента для развития способов обработки геометрической информации. Все это оказало существенное влияние на развитие исследований в области автоматизации проектно-конструкторских работ.

Автоматизация проектирования базируется на тесном взаимодействии человека с ЭВМ и другими техническими средствами — дисплеями, ЧГА, пультовыми машинками и другими устройствами, обеспечивающими возможность как непосредственного участия человека в процессе автоматизированного проектирования, так и окончательного документирования результатов проектирования.

Задачи проектирования удобнее всего решать в автоматическом режиме, когда участие человека ограничивается заданием исходных данных, однако это не всегда возможно. В большинстве случаев автоматизированное проектирование должно строиться как диалог, в процессе которого человек, технические средства и программное обеспечение функционируют как единое целое, обеспечивая решение поставленных задач за счет рационального распределения функций между ними. При этом пользователь может обращаться к заранее подготовленным программам, которые выдают промежуточные решения на экран дисплея, пишущую машинку, алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ) или ЧГА. Затем на основании анализа результатов промежуточных вычислений или графических построений пользователь может вмешиваться в процесс проектирования, изменяя форму и структуру получаемых изображений. С помощью клавиатуры пишущей машинки и светового пера он может управлять ходом программы проектирования и добиваться желаемого результата.

В настоящее время много усилий сосредоточено на том, чтобы машинное конструирование сделать нормой повседневной практики. По данным отечественной и иностранной литературы, комплексы оборудования, состоящие из вычислительной машины и ЧГА, все больше проникают в различные проектные и конструкторские бюро. Например, фирмы General Motors и Ford Motor применяют эти системы при проектировании автомобилей, фирмы North American Aviation и Boeing — при разработке конструкций самолетов, другие фирмы — для числового управления станками, архитекторы и инженеры-строители — при проектировании жилых, административных и общественных зданий, мостов. Многие конструкторские бюро, заводы приобретают ЧГА и прилагают значительные усилия для автоматизации графических работ. При этом потребителю графических систем нет необходимости иметь для работы с ними собственную вычислительную машину. Имея программы обработки графической информации, он может арендовать ЭВМ. Графическая программа обычно записывается на ФОРТРАНе и может использоваться с различными вычислительными машинами.

Предполагается, что в ближайшем будущем проектно-конструкторские задачи будут решать инженеры, работающие за индивидуальными пультами, оборудованными необходимыми техническими средствами, а также средствами дистанционного общения с мощными вычислительными комплексами. Работая за пультом, инженер сможет сконструировать нужное ему изделие, осуществить его математический анализ, а затем управлять его изготовлением. С помощью индивидуальных пультов конструкторы могут быть объединены для работы над общим проектом. Информационно-поисковые системы обеспечат автоматическое получение стандартов, каталогов деталей и других данных, которые можно будет вывести на экран дисплея. Некоторые детали конструкции можно будет изготавливать непосредственно на основании данных, полученных вычислительной машиной, не прибегая к оформлению чертежей.

По существующим представлениям, человеко-машинный графический диалог в режиме автоматического разделения машинного времени между независимыми пользователями является основой для создания эффективных человеко-машинных систем проектирования. Однако на пути к этой цели еще немало нерешенных задач.

Применение ЭВМ для автоматизации проектно-конструкторских работ тесно связано с обработкой геометрической информации, присутствующей на всех этапах автоматизированного проектирования — от ввода данных в графической форме до вывода результатов проектирования (окончательных или промежуточных) в виде чертежей, графиков, диаграмм и т. д. В процессе проектирования только на оформление чертежа приходится до 70% всех трудовых затрат. Кроме того, значительную часть математической модели процесса проектирования составляют геометрические задачи. При разработке отдельных деталей, узлов, компоновок необходимо определять габаритные размеры и вес конструкций, расстояние между ними. Спроектированные конструкции проверяются с помощью расчетов, в которых участвуют геометрические характеристики сечений — площади, периметры, моменты инерции и т. д. В связи с этим создание методов автоматизации обработки геометрической информации имеет решающее значение для успешного применения ЭВМ при автоматизации проектно-конструкторских работ.

В результате многочисленных исследований возникают новые теоретические направления. Практически сформировалась новая ветвь прикладной математики — *машинная графика*, целью которой является создание технических средств графического общения человека и ЭВМ и программного обеспечения графического взаимодействия.

Значительные исследования ведутся в более широкой области автоматизации обработки геометрической информации и решения сложных задач прикладной геометрии, возникающих на всех этапах автоматизированного проектирования. В связи с этим можно говорить о формировании новой ветви прикладной геометрии — *машинной геометрии*, являющейся одной из основ, на которой строятся теория и практика автоматизированного проектирования.

Существует мнение, что при обработке геометрической информации на ЭВМ, как правило, достаточно применить методы аналитической и дифференциальной геометрии и вычислительной математики. Однако такое мнение ошибочно. Применение этих средств оказывается достаточным только в тех случаях, когда осуществляется моделирование отдельных поверхностей. Так, например, в основном достаточно ограничиться аппаратом аналитической геометрии при разработке алгоритма построения проекции линии очерка произвольной поверхности второго порядка на координатную плоскость. Однако как только от рассмотрения отдельных ГО мы переходим к рассмотрению объектов более сложной структуры (кусочно-гладких поверхностей или их частей), возникает много сложных вопросов, для решения которых необходимо использовать другие методы. Например, трудности, возникающие при построении проекции линии очерка отсека произвольной поверхности второго порядка или установлении инцидентности точки, лежащей на поверхности, ее отсеку, вызваны сложностью структуры этих объектов.

Структура ГО является наиболее важным фактором, который требует разработки новых методов решения геометрических задач на ЭВМ.

В основе машинной геометрии лежат следующие основные дисциплины: программирование современных ЭВМ, аналитическая и дифференциальная геометрия, начертательная геометрия и черчение, теория графов, математическая логика, численные методы решения математических задач, математические методы оптимизации, графический диалог человека и ЭВМ.

Основываясь на существующих математических дисциплинах, машинная геометрия не является их простой компиляцией, а представляет собой самостоятельную дисциплину, появившуюся в результате потребности решения ранее существовавших и новых задач с помощью принципиально новых технических средств — современных ЭВМ.

Глава 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ САПР

1.1. Технические средства графического общения с ЭВМ

Существующие технические средства позволяют получать различные виды документации, содержащей значительные объемы как алфавитно-цифровой, так и графической информации, и обеспечивают требуемую точность.

Основные технические средства графического общения человека и ЭВМ можно подразделить на три основных типа:

1) графопостроители, или ЧГА, обеспечивающие окончательное документирование результатов автоматического проектирования на носителе — бумаге, кальке, светочувствительной бумаге или пленке;

2) дисплеи, или устройства оперативного ввода и отображения графической информации с воспроизведением изображения на экране ЭЛТ;

3) автоматические и полуавтоматические устройства ввода графической информации.

Важным шагом в деле совершенствования технических средств САПР явилась разработка и серийное производство ЕС ЭВМ. Структура и характеристики технических и программных средств ЕС ЭВМ позволяют использовать их для построения различных систем проектирования.

В число стандартных устройств ЕС ЭВМ входят следующие графические устройства ввода-вывода: четыре типа ЧГА, графический дисплей, три типа текстовых дисплеев, магнитосчитывающие устройства.

ЧГА предназначены для вывода графической и текстовой информации на бумажные носители. Они могут использоваться в двух основных режимах. В первом, автономном режиме ЧГА не имеет прямой связи с ЭВМ и выводит изображения, предварительно записанные на промежуточном носителе — перфоленте или магнитной ленте. Носители подготавливаются на ЭВМ с помощью соответствующих программ проектирования или автоматического вычерчивания. Во втором режиме ЧГА непосредственно подсоединяется к ЭВМ и работает под управлением программы.

Технические характеристики ЧГА ЕС ЭВМ приведены в табл. 1.1. Основными органами этих устройств являются электро-механические двухкоординатные регистрирующие построители и электронные системы приема и переработки графических данных.

Двухкоординатный ЧГА ЕС-7051 выполнен в виде планшета, по направляющим линейкам которого в направлении оси абсцисс пе-

Табл. 1.1. Технические характеристики ЧГА ЕС ЭВМ

Шифр устройства	Шаг пишущего элемента, мм	Максимальная скорость вычерчивания, мм/с	Тип ЧГА	Размеры рабочего поля, мм	Количество цветов	Ориентация символов	Тип линий	Масштаб изображения	Набор символов	Интерполяция
ЕС-7051	0,05	50	Планшетный	1050×1000	3	Под 16 углами через 22,5°	Сплошная, штриховая, штрихпунктирная	1:2 1:1 2:1	253	Линейно-круговая
ЕС-7052	0,1 0,05	200	Барабанный	380×600	3	Под углами 0, 90, 180°	Сплошная	1:2 1:1 2:1	64	Линейная
ЕС-7053	0,1	150	Барабанный	841×1600	3	Под 16 углами через 22,5°	Сплошная, штриховая, штрихпунктирная	1:2 1:1 2:1	253	Линейно-круговая
ЕС-7054	0,05	100	Планшетный	1600×1200	4	Под 16 углами через 22,5°	Сплошная, штриховая, штрихпунктирная	1:2 1:1 2:1	96	Линейно-круговая

ремещается траверса (рис. 1.1). Вдоль траверсы в направлении оси ординат перемещается каретка с пишущим узлом. Начало координат устройства расположено в нижнем левом углу рабочего поля. Ось абсцисс расположена горизонтально, ось ординат — вертикально. Траверса и каретка приводятся в движение независимо с помощью шаговых двигателей. Пишущий узел состоит из трех пишущих элементов, которые определяют выбор цвета и толщины линий чертежа. Управление ЧГА ЕС-7051 осуществляется с помощью внутреннего языка команд. Команды управления обеспечивают выбор пишущего элемента, т. е. цвета и толщины линии, и установку его в рабочее (опустить перо) или нерабочее (поднять перо) положение; определяют режим перемещения пишущего элемента по прямой или по дуге окружности и вычерчивание символов под шестнадцатью различными углами с размерами 3 мм, 6 и 12 мм.

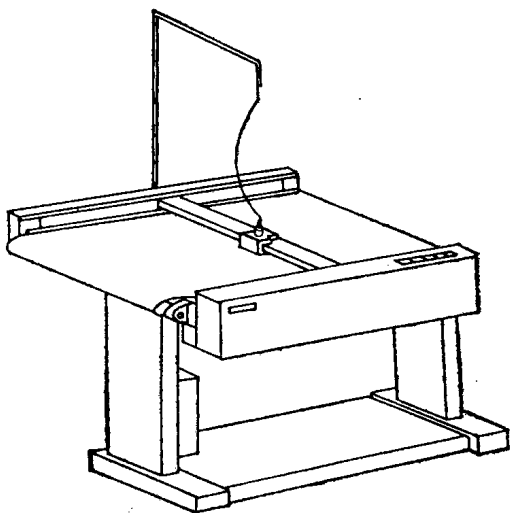


Рис. 1.1

ЧГА ЕС-7054 имеет большие размеры рабочего поля и оснащен четырьмя пишущими элементами. Он может работать либо в автономном режиме от перфоленты, либо в режиме непосредственного подключения к ЭВМ.

ЧГА ЕС-7052 и ЕС-7053 являются устройствами барабанного типа и включают реверсивный транспортный барабан, перемещающий рулон бумаги по оси абсцисс, и привод пишущего узла, который передвигает его вдоль образующей барабана по оси ординат (рис. 1.2).

Графический дисплей ЕС-7064 (рис. 1.3) — это устройство, предназначенное для обеспечения ручного ввода и автоматического вывода на экран изображений любого вида. Он состоит из индикатора с ЭЛТ и скоростных систем отклонения луча; буферной памяти для регенерации изображения на ЭЛТ; генератора знаков; генератора векторов; алфавитно-цифровой клавиатуры, обеспечивающей ручной ввод и редактирование текста на экране ЭЛТ; функциональной клавиатуры, обеспечивающей прерывание ЭВМ и перемещение по экрану светового маркера; светового пера, с помощью которого может осуществляться ввод и корректировка графического изображения [15]. Графический дисплей ЕС-7064 подключается непосредственно к ЭВМ через соответствующий канал.

Рабочее поле экрана дисплея имеет размер 250×250 мм и пред-

ставляет собой растр 1024×1024 адресуемых точек по осям абсцисс и ординат. Расстояние между адресуемыми точками 0,25 мм, толщина линии 0,2 мм.

Режим работы дисплея задается набором дисплейных команд. Они обеспечивают высвечивание точек или векторов по приращениям относительно текущего положения луча, вывод на экран знаков двух размеров, управление обработкой специальных сигналов внимания, поступающих от дисплея, разрешение или запрещение обнаружения элементов изображения с помощью светового пера,

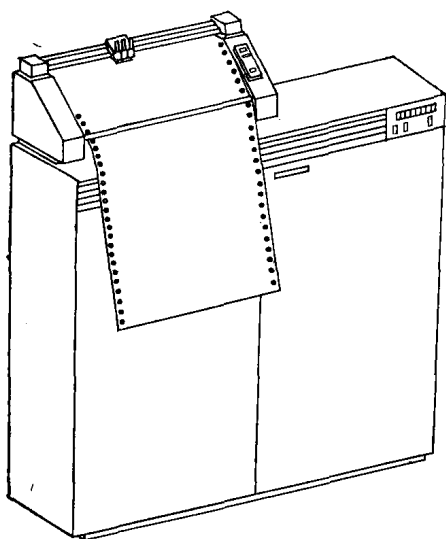


Рис. 1.2

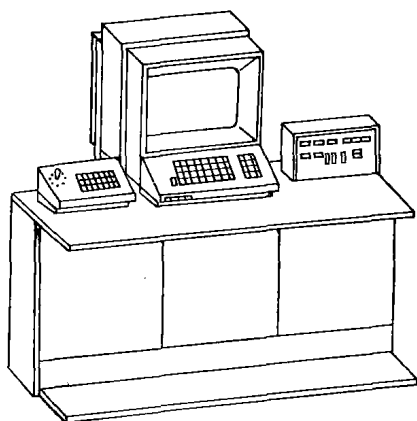


Рис. 1.3

высвечивание на экране и перемещение светового маркера для облегчения работы в режиме указания, трассировки и рисования, возможность автономной трассировки и рисования на экране без связи с ЭВМ.

Текстовые дисплеи предназначены для ручного ввода в ЭВМ и автоматического вывода из нее только алфавитно-цифровой информации. Они могут использоваться в различных диалоговых системах проектирования.

На экране текстового дисплея ЕС-7061 размещается 16 строк по 64 знака или 12 строк по 80 знаков. Набор символов включает 64 знака с высотой 3,6 мм. Размер экрана 150×200 мм. Дисплей может работать в автономном режиме. При этом можно вводить и стирать строки или части строк, стирать изображение на экране. (Устройство ЕС-7063, кроме того, допускает подключение пишущей машинки для получения твердой копии.)

Широко используются также ЧГА серии ИТЕКАН, разработанные Институтом технической кибернетики АН БССР. ЧГА ИТЕКАН-2М является устройством планшетного типа с размером

рабочего поля 625×860 мм; скорость вычерчивания 3,5 м/мин; шаг пишущего элемента 0,0625 мм. ЧГА ИТЕКАН-3 является устройством барабанного типа с шириной рабочего поля 400 мм; шаг пишущего элемента 0,1 мм, 0,125 и 0,2 мм; скорость вычерчивания 800 шаг/с. В обоих автоматах аппаратно реализуются линейно-круговая интерполяция, формирование 104 символов, масштабирование. Известны также другие ЧГА [1].

Автоматические устройства ввода графической информации позволяют вводить в ЭВМ информацию, содержащуюся на бумаге, фотопленке или другом носителе. Они бывают двух основных типов: сканирующие и следящие. Во всех таких автоматах имеется фотоэлектрический узел, в котором происходит формирование электрических сигналов, изменяющихся в зависимости от интенсивности лучей, отражающихся от носителя (или проходящих через носитель) графической информации. Сканирующие автоматы построчно (с шагом до десятков линий на 1 мм) просматривают весь носитель и передают в ЭВМ информацию о координатах точек, яркость которых отличается от яркости самого носителя. Следящие автоматы непосредственно отслеживают графические элементы чертежа и передают в ЭВМ информацию об их промежуточных точках.

1.2. Программное геометрическое обеспечение САПР

Автоматизированное проектирование осуществляется с помощью развитого программного обеспечения, состоящего в общем случае из четырех основных компонентов: системных программ; программного графического обеспечения взаимодействия пользователя и ЭВМ; программных средств геометрического моделирования, предназначенных для решения геометрических задач, возникающих на различных этапах автоматизированного проектирования; прикладных программ, содержащих логику решения конкретных инженерных задач.

Программное графическое обеспечение и программные средства геометрического моделирования образуют *программное геометрическое обеспечение САПР*, основными компонентами которого в машиностроении являются следующие:

1) математические модели ГО — аналитические модели и R -функции [27], алгебро-логические, кусочно-аналитические, каркасные, кинематические и рецепторные модели, а также информационные описания ГО (языки ФТЯ, ИНКАНЭЛ);

2) пакеты прикладных программ (ППП) формирования канонических моделей — взаимного преобразования канонических моделей, подготовки канонических моделей типовых деталей и узлов конструкций, трансляторы с информационных языков проектирования (ФТЯ, ИНКАНЭЛ);

3) ППП решения наиболее распространенных геометрических задач — координатного расчета чертежа, анализа взаимного расположения ГО, вычисления геометрических характеристик, вычисления расстояний между ГО, построения вы-

пуклых оболочек, решения алгебро-логических задач, покрытия плоских областей (эквидистантами, штриховкой и т. д.), аппроксимации кривых и поверхностей, конструирования поверхностей, построения обводов (сплайн-функции), распознавания ГО и их особенностей, решения экстремальных задач (раскрой, компоновка и т. д.);

4) П П П построения чертежа — синтез чертежа по типовым изображениям (создание библиотек программ подготовки типовых изображений), синтез чертежа ГО, описанного стандартными элементами, синтез чертежа по каноническим моделям пространственных ГО (выбор секущих плоскостей и направлений проецирования, построение сечений, построение проекций, включая анализ видимости, протановка размеров, выбор масштаба изображения и компоновка чертежа);

5) программные и технические средства чтения чертежа — автоматический и полуавтоматический ввод плоского изображения ГО, синтез пространственного образа ГО по его проекциям;

6) системы программирования с геометрической ориентацией — системы автоматизации подготовки управляющих программ к станкам с ЧПУ (АРТ, EXART, САП-2, САПС, СУМАР, ТЕХНОЛОГ), системы автоматизации геометрического моделирования (ФАП-КФ, ГЕОМАЛ, DIGRA, GPDL, GPL/1), программного обеспечения вывода графической информации на устройства отображения (графический пакет ЕС ЭВМ, ГРАФОР, АУЖЕИ, РАД-ЕС, ФАП-КФ), программного обеспечения графического диалога «человек — ЭВМ» (GSP).

Некоторые из перечисленных выше задач решаются в настоящее время теми или иными методами, большинство же из них еще ждет своего решения либо решается методами, не удовлетворяющими современным запросам практики автоматизированного проектирования.

Разнообразие геометрических задач, возникающих при автоматизированном проектировании, приводит к целесообразности рассмотрения нескольких видов математических моделей ГО, ориентированных на соответствующие применения. Внутренние, или канонические, модели ГО должны быть прежде всего удобны для составления алгоритмов и программ решения основных классов геометрических задач, возникающих в условиях автоматизированного проектирования. В то же время для решения многих технологических и конструкторских задач (выбор маршрута обработки, расчет операционной технологии, проектирование обрабатывающего инструмента и механосборочных приспособлений и т. д.) применяются иные модели деталей и узлов конструкций, значительно более удобные для этих целей. Поэтому возникает необходимость в разработке алгоритмов и программ, выполняющих роль связующего звена между предшествующими средствами описания ГО и их каноническими описаниями, ориентированными на геометрические приложения. Несмотря на ряд серьезных исследований по

отдельным вопросам, здесь предстоит еще многое сделать, особенно в создании трансляторов и алгоритмов взаимного преобразования канонических моделей.

В процессе автоматизированного проектирования возникает необходимость решения различных классов геометрических задач. Большинство из них не зависит от объекта проектирования. Поэтому прилагаются значительные усилия по созданию методов, алгоритмов и ППП различной структуры и организации, решающих эти задачи.

Широко используются программы координатного расчета чертежа, с помощью которых автоматизируется вычисление параметров деталей и узлов конструкций относительно выбранной системы координат. Они находят применение при обработке деталей на координатно-расточных станках, при подготовке управляющих программ к станкам с ЧПУ, при вводе исходных данных о деталях в системах автоматизированного проектирования технологической оснастки и т. д.

Пользователями программного геометрического обеспечения могут быть также специалисты по созданию конкретных систем автоматизированного проектирования. В процессе автоматизированного проектирования приходится решать большое число геометрических задач, в том числе таких, которые не возникают в условиях обычного проектирования. К ним относятся задачи анализа взаимного расположения ГО, построения выпуклых оболочек, алгебраические задачи (построение общей части или объединения областей).

При необходимости принятия тех или иных технологических и конструкторских решений (построение маршрута обработки, выбор типа штампа, приспособления, инструмента, проектирование цельной или секционной матрицы и т. д.) возникают задачи распознавания ГО и их геометрических особенностей (например, особенностей взаимного расположения характерных поверхностей, наличия «узких перемычек»). Эти задачи особенно трудно формализуемы, и пока на пути поиска методов их решений не достигнуто существенных результатов.

Методы автоматизированного проектирования поверхностей используются при проектировании судов, летательных аппаратов, лопаток турбин и т. д. Для этой цели все шире применяется математический аппарат сплайн-функций, позволяющий относительно просто управлять формой проектируемого изделия.

Наиболее привычной формой технической документации является чертеж, который на этапах автоматизированного проектирования, как правило, остается таким же необходимым, как и при обычном проектировании. В связи с этим возникает необходимость формирования чертежа ГО на основании результатов автоматизированного проектирования. Эта же задача возникает при графическом диалоге оператора и ЭВМ, когда оператор в процессе проектирования должен многократно получать различные виды проектируемого изделия и на основании рассматриваемых изображений

принимать соответствующие решения о дальнейшем ходе вычислительного процесса. Поэтому методы получения наглядных изображений имеют большое значение.

Задачам автоматического построения чертежа посвящены многочисленные исследования, которые можно разбить на три группы. К первой из них относятся работы, в которых пространственный образ ГО не участвует и синтез чертежа осуществляется из плоских элементов — отрезков, дуг окружностей, символов, типовых изображений. Основой этих систем являются библиотеки программ формирования типовых изображений. Во второй группе работ рассматриваются различные этапы построения чертежей на основании математических моделей пространственных ГО. Третье направление исследований связано с построением изображений ГО, описанных с помощью стандартных и типовых элементов.

Для автоматизации решения инженерных задач разрабатываются системы автоматического программирования. Такие системы создаются для автоматизации решения задач, в которых преобладают геометрические расчеты и построения. Особенно широкое распространение получили системы автоматической подготовки управляющих программ к станкам с ЧПУ. С появлением ЧГА и дисплейной техники получили развитие более универсальные системы программирования, позволяющие автоматизировать многие геометрические расчеты и чертежно-графические работы и облегчить графическую связь между человеком и ЭВМ. Тем самым сделан весомый вклад в создание базового программного обеспечения современных ЭВМ и созданы реальные возможности для широкого использования ЭВМ в различных сферах научной и инженерной деятельности.

1.3. Программное графическое обеспечение САПР

Для формирования изображений на устройствах графического отображения необходимы специальные программы, которые вырабатывают управляющие команды формирования изображений. Эти команды могут передаваться с ЭВМ непосредственно на устройство отображения или предварительно выводиться на перфоленгу или магнитную ленту. Управление от перфоленги особенно широко применяется в механических устройствах, так как скорость их работы несравненно меньше скорости работы ЭВМ, и поэтому невыгодно использовать ЭВМ в режиме прямой связи с ЧГА.

Программное графическое обеспечение САПР можно разбить на несколько уровней: базисное программное обеспечение; функциональные пакеты программ; прикладные графические программы.

Базисное программное обеспечение обычно состоит из нескольких основных подпрограмм общего назначения и обеспечивает включение в систему графических устройств ввода-вывода, их функционирование и организацию операций обмена графическими данными. Программирование на основе этого обеспечения может осуществляться либо на уровне языка Ассемблер (нижний уровень