88591/1

Министерство высшего и среднего специального образования РСФ

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

На правах рукописи

Канд. техн. наук, доц. С. А. ФРОЛОВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГРАФИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва 1964

Диссертация выполнена в Московском высшем техническом училище им. Н. Э. Баумана.

Экспериментальная часть работы выполнялась в Московском энергетическом институте и Московском электротехническом институте связи.

885911

МВТУ им. Н.Э. Баумана
385911
ролов С.А. Автоматизация

Выполнение грандиозных планов создания материальной базы коммунистического общества немыслимо без максимального повышения производительности труда во всех областях производства.

Комплексная автоматизация инженерно-технических расчетов — одно из важнейших условий повышения эффективности целенаправленного труда человека.

Известна роль, которую играют графические методы при решении задач из различных областей науки и техники. Наиболее целесообразно использовать графические методы для решения задач, в которых исходные данные представлены в графической форме. Особое значение эти методы приобретают в тех случаях, когда линии, составляющие исходные данные, непосредственно (без аппроксимации) не могут быть описаны уравнениями.

Несмотря на это, за последние 30—40 лет, графические методы решения вытесняются аналитическими.

Это объясняется не порочностью графических методов, а, в первую очередь, несоответствием в уровнях механизации аналитического и графического методов. Если в первом случае на помощь человеку, решающему задачу, могут быть привлечены различные приборы и аппараты, вплоть до современных быстродействующих электронно-вычислительных машин, то, во втором случае, решение приходится осуществлять вручную, используя примитивные чертежные инструменты (линейка, циркуль, в лучшем случае, чертежные приспособления, в которых движение пишущей головки осуществляется в помощью шарнирно-рычажного механизма).

385911

Естественно, что с помощью таких средств и ограниченного поля чертежа для геометрических построений не всегда возможно получить требуемую точность решения. В ряде случаев, графическое решение задачи вручную оказывается трудоемким и занимает много времени.

Повысить точность и сократить время решения можно путем автоматизации процесса графического решения задач.

Реферируемая работа посвящена разработке теоретических и практических вопросов, необходимых для осущест-

вления проблемы автоматизации процесса решения задач, с помощью цифровой электронно-вычислительной машины (ЭЦВМ), исходные данные которых представлены в графической форме.

Работа состоит из четырех разделов (глав).

1.

В первой главе приводится доказательство о возможности использования ЭЦВМ для графического решения задач.

Установлен круг вопросов, которые должны быть решены для обеспечения комплексной автоматизации процесса графического решения задач. Для этого был проанализирован весь процесс, выполняемый человеком при таком решении задач. В результате проведеного анализа установлено, что для осуществления автоматизации необходимо решить следующие вопросы:

1. Создать конструкцию «читающего» устройства (преобразователя информации из непрерывной формы-линии чертежа в цифровой код и представить последний в форме, «понятной» для ЭЦВМ).

2. Разработать теорию «чтения чертежа» — первичную машинную обработку информации, поступающей от «читающего» устройства.

3. Разработать метод решения задач, учитывающий форму задания исходных данных и возможность его реализации на ЭЦВМ.

4. Создать теоретическую базу для программирования графического решения задач, установить критерии, выполнение которых обеспечивает получение правильного ответа.

5. Для упрощения решения задачи (уменьшения количества вводимой информации и сокращения машинного времени) предусмотреть пути реконструкции чертежа — исходных данных задачи, предназначенной для машинного решения.

2.

Вторая глава посвящена решению вопросов, связанных с машинным чтением чертежа.

Исходные данные задачи, решаемой графическими методами, задаются в виде проекций различных геометрических образов.

им. [illegible] БИБЛИОТЕКА

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

В зависимости от вида геометрических образов, характера их взаимного расположения и требований, определяемых условиями задачи, выбирается наиболее рациональный способ решения.

Очевидно, независимо от того, решает ли задачу человек или ее решение будет поручено машине — первая операция процесса решения должна состоять из ознакомления с исходными данными задачи, т. е. чтения чертежа.

Под выражением «прочесть чертеж» подразумевается процесс, совершаемый в коре головного мозга по обработке информации, полученной о чертеже посредством органов зрения. В результате его выполнения мы получаем возможность представить, какие геометрические образы заданы на чертеже и каково их взаимное расположение.

Говоря о чтении чертежа машиной, мы вкладываем в это понятие иной смысл, а именно — машина должна определить координаты полностью или частично черных растрэлементов поля чертежа и установить их принадлежность к каждой из заданных на чертеже линии или точке.

Учитывая специфику работы ЭЦВМ, решение задачи по машинному чтению чертежа следует разделить на два этапа — на первом этапе осуществляется преобразование линий чертежа из непрерывной формы в дискретную (координат некоторой последовательности элементарных площадок, составляющих линию).

На втором — рассортировка полученных координат по их принадлежности к каждой из заданных на чертеже линий.

Выполнение первого этапа состоит из:

а) выявления на поле чертежа элементарных площадок (растрэлементов), принадлежащих линиям;

б) определения их координат и

в) преобразования последних из цифровой формы в электрическую.

Отмеченные выше операции осуществляются с помощью специально сконструированного и изготовленного опытного образца считывающего устройства, конструкция и принцип работы которого подробно описаны в четвертой главе.

Необходимость рассортировки координат, получаемых при считывании чертежа (второй этап), обусловлена тем, что полученная о чертеже информация в виде чисел, которые заполняют определенный α-массив ячеек оперативной памяти машины, не позволяет судить не только о характере линий, заданных на чертеже, но даже и о их количестве.

Выполнение второго этапа осуществляется с помощью слежения, в основу которого положен топологический признак свойства линий, состоящий в том, что любая точка линии обязательно имеет, непосредственно примыкающие к ней, точки, также принадлежащие линии.

Осуществляя слежение, ЭЦВМ, взяв одну (первую из записанных) точку из α-массива, обследует ее окрестности — граничащие с ней, или удаленные на определенное расстояние, растрэлементы поля чертежа.

Операция обследования заключается в выяснении — есть ли в α-массиве точки, координаты которых отличаются от координат исходной (обследуемой) точки на $\pm m$ и $\pm n$, где m и n — целые числа, зависящие от величины квантования по уровню и времени, принятые в считывающем устройстве.

После того, как будет отслежено N точек, принадлежащих линии, по экстремальным значениям двух точек (из числа N) определяется направление линии на отслеженном участке. Дальнейшее слежение ведется путем обследования зоны справа и слева (сверху и снизу) от полученного направления на участке, протяженность которого вдоль полученного направления определяется разностью ординат (абсцисс) экстремальных значений точек, выявленных на первом участке. Для этого в машине формируется вспомогательный ε_2-массив и дальнейшее сравнение координат точек, записанных в α-массиве, осуществляется с координаты точек ε_2-массива, кординаты точек α-массива, совпадающие с координатами точек ε_2-массива — принадлежат второму участку линии чертежа, за которой осуществляется слежение.

По экстремальным значениям точек второго участка определяется направление оси и протяженность ε_3-массива для третьего участка линии и т. д.

Следуя таким путем, возможно осуществить выборку из α-массива всех точек, принадлежащих линии, за которой начато слежение.

ЭЦВМ, работая по программе слежения, наибольшую часть времени затрачивает на ту ее часть, в которой происходит формирование ε-массива и сравнение точек этого массива с исходной информацией.

В работе исследованы вопросы уменьшения протяженности и ширины ε-массива до минимально необходимых величин.

Установлено минимально допустимое количество точек N, которые должны быть отслежены на первом участке и ве-

личины приращения (Δx и Δy) протяженности ε-массива вдоль его оси при переходе к каждому последующему ε-массиву *).

Определена величина минимально необходимой ширины обследуемой зоны (ε-массива) — S. Установлено, что она зависит от градиента кривизны

$$S = f(K_i - K_{i+1}), \qquad (1)$$

где K_i и K_{i+1} — значение кривизны линии в двух соседних точках, выявляемых при считывании.

Исследован вопрос и получены конкретные рекомендации, выполнение которых позволяет машине самостоятельно выбрать направление слежения (вверх или вниз, вправо или влево).

Проведенная экспериментальная проверка полностью подтвердила правильность теоретических исследований и возможность их практической реализации на ЭЦВМ. Следуя описанной методике, можно осуществить слежение за линией, имеющей пересечение с другими линиями чертежа.

Существующие ЭЦВМ обладают ограниченным и, как правило, небольшим объемом оперативной памяти. Поэтому вопрос уменьшения вводимой в машину информации имеет чрезвычайно важное значение.

Чертежи, применяемые в практике ручного решения задач, имеют чрезвычайно большое количество избыточной информации. С другой стороны, отсутствие на чертеже, предназначенном для машинного решения задачи, какой-либо индексации не позволяет судить о принадлежности точек (линий) одному геометрическому образу, что приводит к потере необходимой информации.

Исследование этого вопроса показало, что количественная характеристика потери информации может быть выражена через величину коэффициента f, показывающего, во сколько раз происходит потеря информативности чертежа

$$f = \frac{2N_{л\,т}}{n-2}, \qquad (2)$$

где n — суммарное число точек, считываемых с чертежа и расположенных на одной вертикали;

$N_{л\,т}$ — число лишних точек, которые определяются из выражения:

*) Это необходимо для того, чтобы не происходило постепенного уменьшения длины оси обследуемой зоны.

$$N_{л т} = \left(\frac{n}{2}\right)^2 - \frac{n}{2}.$$

Из выражения (2) следует, что потеря информации возрастает пропорционально увеличению числа лишних точек. Поэтому нахождение путей сокращения лишних точек (уменьшения избыточной информации) является одним из основных вопросов, который должен быть решен для выполнения более общей задачи — автоматизации процесса чтения чертежа.

Общее количество информации (точнее — точек, получаемых при считывании чертежа) может быть подсчитано по формуле:

$$N = k \cdot \frac{\delta \cdot L}{\Delta t \cdot \Delta l}, \qquad (3)$$

где δ — толщина линии,

L — длина линии,

Δt и Δl — величины шагов квантования по времени и уровню. Т. е. N — есть функция четырех переменных, две из которых (δ и L), в свою очередь, находятся в функциональной зависимости от двух других (Δt и Δl). Кроме того, L — зависит также от величины угла наклона прямой к горизонту. Поэтому, для получения ответа на вопрос, каким требованиям должен отвечать чертеж, содержащий минимум необходимой информации, и каковы шаги квантования по времени и уровню должны быть выбраны при его считывании, необходимо одновременно рассматривать все, отмеченные выше, факторы.

Проведенные исследования позволили установить зависимости между величинами, входящими в выражение (3), и сделать практические рекомендации о правилах составления чертежа, содержащего минимум избыточной информации.

3.

Машина, выполняя какие-либо функции человека, взятые из области его физической или умственной деятельности, делает это иначе, чем человек. Поэтому те методы и способы графического решения задач, которые применяются при ручном решении, не могут быть «в чистом» виде использованы для машинного решения. Необходимо разработать новый метод решения задач, учитывающий возможности ЭЦВМ.

Мы рассматриваем задачи, исходные данные которых представлены в графической форме. Известно, что решение таких задач целесообразно осуществлять графическими методами.

Для реализации процесса решения задачи предполагается использовать дискретную электронно-вычислительную машину, принцип действия которой позволяет ей оперировать только с числами. Поэтому, в процессе подготовки задачи для машинного решения необходимо осуществить ее арифметизацию; выбрать численный метод решения и составить расчетные формулы.

Эти операции свойственны аналитическому методу. Таким образом, мы приходим к двум взаимно исключающим выводам: с одной стороны — форма задания исходных данных требует графического метода решения, с другой — реализация решения на ЭЦВМ допускает только аналитический метод.

Использовать каждый из этих методов, в том виде в каком они обычно применяются, не представляется возможным.

Действительно, принцип действия и конструктивные особенности существующих цифровых электронно-вычислительных устройств не позволяют использовать их в качестве чертежной машины для выполнения всех тех геометрических построений, которые свойственны графическому методу решения. Трудности в использовании аналитического метода состоят в том, что он требует знания уравнений всех образов, представленных на чертеже.

Машинное распознавание геометрического образа пока является нерешенной проблемой, т. к. наука еще не располагает сведениями о тех процессах, которые происходят в нашем мозгу при распознавании разных, но похожих предметов. Не зная этого процесса, мы не в состоянии составить алгоритм распознавания, а, следовательно, и моделировать его на машине.

Поэтому новый метод должен отвечать двум основным требованиям:

во-первых, решение должно осуществляться без каких-либо геометрических построений;

во-вторых, обходиться без определения уравнений геометрических образов, заданных на чертеже.

Для решения задачи графическими методами не нужно знания уравнений геометрических образов. При решении аналитическим методом нет необходимости в графических построениях.

Поэтому, если воспользоваться этими свойствами графического и аналитического методов, то можно с их помощью создать новый метод, удовлетворяющий отмеченным требованиям. Для этого достаточно, чтобы логика нового метода строилась на базе графического метода решения, а необходимые геометрические построения заменялись алгебраическими решениями, характерными для аналитического метода.

В новом методе фигурирует алгебра, но эта алгебра качественно отличается от той, с которой приходится иметь дело в аналитическом методе. Здесь она ограничивается только операциями с уравнениями прямых и окружностей.

Графическое решение любой задачи может быть расчленено на выполнение, в определенной логической последовательности, элементарной операции — нахождение точки пересечения двух линий, заданных на чертеже или проведенных в процессе решения. Поэтому, «научив» машину выполнять все разновидности этой элементарной операции, можно использовать ее для решения задач.

По окончании процесса чтения чертежа, все изображенные на нем геометрические образы записываются в памяти машины в виде координат конечного множества точек. В связи с этим, операция определения общей точки для двух множеств состоит в нахождении в одном из них двух точек, ближайших к двум точкам, принадлежащим другому множеству, и лишь после этого определяется общая точка как результат пересечения двух прямых, проведенных через пары выявленных точек.

Исследования показали, что все многообразие различных вариантов определения точки пересечения двух линий, включая и «проведение» прямых и окружностей, может быть сведено к нескольким операциям (найти на данной прямой точку с заданным значением абсциссы или ординаты; найти на заданной кривой две точки, ближайшие к данной прямой; найти на заданной кривой точки, расстояние которых от данной точки ближе всего к заданному расстоянию; определить уравнение прямой, проходящей через две данные точки; и т. д.).

Запрограммировав эти операции, получим подпрограммы (операторы), с помощью которых можно составить компилирующую программу, пригодную для решения любой задачи.

Об алгоритме машинного решения задач. Простейший пример алгоритма — математическая формула, которая указывает последовательность выполнения простых операций для решения более сложных задач.

Если в случае графического метода, процесс решения нельзя записать в виде формулы, то это можно сделать с помощью схем счета, указывающих последовательность выполнения различных операторов.

Очевидно, что для решения одной и той же задачи, схема счета будет меняться в зависимости от характера задания и расположения исходных данных. Для того, чтобы каждый раз, при изменении исходных данных, не составлять новой схемы счета, а, следовательно, и программы, в работе указаны пути составления схем счета обобщенных алгоритмов, пригодных для решения любых задач данного типа, независимо от вида и характера расположения исходных данных. Приведены примеры построения схем счета обобщенных алгоритмов для различных типов задач.

В основу построения схемы счета обобщенного алгоритма положен принцип проб, которые позволяют выяснить, получается ли новая точка пересечения после выполнения определенного стандартного оператора.

По результатам таких проб, машина либо продолжает решение по основной программе (точка есть), либо приступает к выполнению другого участка программы (точки нет). В зависимости от того, при выполнении какого оператора не получается новой точки пересечения, эти участки будут различными.

Определение рационального алгоритма. Решение одной и той же задачи может быть осуществлено различными графическими способами, каждому из которых соответствует свой алгоритм. Естественно, возникает вопрос, какому из них следует отдать предпочтение при решении задач?

Чтобы ответить на него необходимо знать, каким способом можно сравнить алгоритм А с алгоритмом В и что следует брать в качестве критерия, позволяющего сделать вывод о том, что один из рассматриваемых алгоритмов дает более простое и точное решение. Предложенный способ выражения машинного графического алгоритма в виде схемы счета, составленной из стандартных операторов, позволяет получить не только качественную, но и количественную оценку того или иного алгоритма. Для этого достаточно исследовать структуру построения схемы счета (с точки зрения иттерационности ее выполнения) и подсчитать число машинных операций (команд), которые необходимо выполнить для реализации алгоритма на ЭЦВМ.

Значение метода топологических преобразований для машинизации процесса решения задач. Простота и однотипность геометрических построений, которые следует выполнять для преобразования фигуры Ф в $\overline{\Phi}$, используя топологические свойства исходного и преобразованного пространства, позволяют получить изящные машинные решения ряда сложных задач. Особый смысл топологический метод приобретает при преобразовании пространства «само в себя». В этом случае достигается значительное сокращение числа вспомогательных геометрических построений, что приводит к упрощению схем счета.

Использование метода топологических преобразований связано с необходимостью определения большого числа точек преобразованного пространства; это создает определенные трудности при решении задачи вручную.

Стремление сократить число точек в преобразованном пространстве неизбежно приводит к снижению точности.

Для машинного определения координат точек в преобразованном положении их число не имеет существенного значения, поэтому представляется возможность «построения» вести с более высокой степенью точности. В качестве примера, в работе приведено машинное решение задачи по определению точек встречи пространственной кривой с поверхностью эллиптического параболоида.

Решение задач с использованием свойств центра тяжести. Используя задачу по нахождению объединения двух материальных точек, а также принятый способ считывания чертежа и получаемый при этом характер записи исходной информации в оперативной памяти ЭЦВМ, можно получить простые машинные решения многих практически важных задач, взятых из области статического расчета корабля. Машинное решение таких задач дает возможность получить ответ в короткий срок с высокой степенью точности.

Составление и исследование диаграмм состояния многокомпонентных систем. При составлении и исследовании диаграмм состояния пятикомпонентных систем, необходимо многократно решать задачу по определению положения точки общей для четырех гиперплоскостей четырехмерного пространства. Графическое решение такой задачи связано с необходимостью проведения чрезвычайно большого числа линий, поэтому чертеж получается настолько запутанным, что практическое использование его связано с большими трудностями.

Рассматривая решение такой задачи с позиции ЭЦВМ, оказалось возможным значительно упростить решение путем совмещения двух из четырех аксонометрических осей и выбора соответствующего направления для них. Правда, при этом теряется наглядность, но для машинного решения этот вопрос не имеет никакого значения. Отмеченное упрощение позволило основную часть решения свести к многократному выполнению всего лишь двух стандартных операторов. Составленная программа оказалась компактной и простой по логике своего построения.

О точности машинного решения задач. Все существующие способы определения критериев объективной оценки точности графических расчетов имеют в своей основе геометрографический подход — расчленение графических построений на элементарные геометрические операции и оценка точности выполнения каждой операции.

Воспользоваться каким-либо из этих способов для нас не представлялось возможным, так как характер геометрических операций и установленные для них средние значения ошибок при переходе к машинному решению теряют всякий смысл.

Для выяснения, в какой степени переход на машинное решение сказывается на точность получаемого ответа, было проведено сравнение результатов, полученных при машинном, ручном и аналитическом решениях. Исходные данные во всех случаях, естественно, принимались одинаковыми.

Результаты сравнения, полностью подтвердили предположение о том, что машинное решение обеспечивает получение более высокой точности ответа.

Оно лишь на 0,010—0,020% отличается от точного ответа, получаемого аналитическим путем.

О некоторых свойствах прямых, представленных в дискретной форме. Предлагаемый метод машинного решения задач содержит в себе элементы аналитического метода в виде совместного решения уравнения прямых линий. Это требует определения уравнений прямых как входящих в исходные данные задачи, так и вспомогательных, появляющихся в процессе решения.

Определенный интерес представляет установление таких рекомендаций, которые позволили бы машине осуществить решение без определения уравнений прямых. Поиск таких рекомендаций приводит к необходимости исследовать свойства линий, представленных в дискретной форме.

Осуществляя перевод графики в систему чисел, мы преобразуем непрерывные функции в последовательность дискретно-изменяющихся величин. Если теперь изобразить эту последовательность в виде элементарных площадок, то мы, вместо линии, получим область, образованную множеством непосредственно примыкающих друг к другу элементарных площадок, конгруентных растрэлементам *). Изображенная таким способом линия, сохраняя все свойства исходной линии, приобретает новые качества, которыми не обладала первообразная (исходная) линия; к ним, в первую очередь, относятся:

1) характер расположения растрэлементов, принадлежащих линии, и растрэлементов свободного поля чертежа, непосредственно примыкающего к линии;

2) характер взаимного расположения растрэлементов внутри самой линии.

Исследование этих вопросов позволило установить ряд закономерностей между углом наклона прямой, ее «структурой» — взаимным расположением растрэлементов внутри прямой и «характеристикой фасада» — характером ломаной линии, ограничивающей область, которую занимают растрэлементы, составляющие линию.

Доказаны теоремы, которые легли в основу составления алгоритмов для машинного решения таких задач как «проведение» прямой, проходящей через две данные точки, через данную точку параллельно или перпендикулярно заданному направлению. Исследование «структуры строения» прямой позволило найти новый путь для решения задачи по слежению за линией и, в частности, наиболее трудный случай «прохождения зоны» пересечения прямых. Причем, все эти задачи решаются без определения уравнений прямых.

4.

Четвертая глава посвящена вопросу автоматизации ввода информации в ЭЦВМ.

Несмотря на большое количество работ, посвященных решению задач, связанных с проблемой автоматического считывания координат точек, принадлежащих заданному на чертеже геометрическому образу и разнообразие конструктивных решений и принципов, положенных в основу работы преобразователей, ни один из них не может быть использован для наших целей.

*) При графическом задании функции мы имеем дело именно с такими материальными образами.

Сконструированный и изготовленный нами преобразователь состоит из двух основных частей: анализирующего устройства (АнУ) и счетчика координат (СК).

В качестве АнУ использовано передающее устройство фототелеграфного аппарата с плоскостной разверткой изображения, в котором движение анализирующего луча осуществляется с помощью оптико-механического устройства *).

Принцип работы преобразователя состоит в следующем: Световой луч, движение которого управляется с помощью качающегося зеркала, приводимого в движение механизмом с кулачковым толкателем, совершает возвратно-поступательное движение по всему полю чертежа.

В тот момент, когда световое пятно анализирующего луча, во время прямого хода, попадает на темный растрэлемент, принадлежащий линии чертежа, интенсивность светового потока отраженного луча резко сокращается; это приводит к падению напряжения, и на выходе фотоумножителя возникает видеосигнал, который поступает на входной блок счетчика координат и открывает вентиль, позволяющий произвести считывание числа (количества импульсов опорного генератора, поданных с момента начала движения анализирующего луча вдоль строки). При дальнейшем пересечении луча с линией чертежа, за время прохождения одной строки, вновь появляется видеосигнал, который позволяет в описанной выше последовательности, осуществить считывание абсциссы точки, принадлежащей другой линии чертежа. При обратном (холостом) ходе анализирующего луча вырабатывается сигнал, который устанавливает счетчик координаты X в исходное состояние. Этот же сигнал используется для подсчета числа строк (ординаты У), которое фиксируется в счетчике ординат.

Счетчик двоичный, выполнен на полупроводниковых триггерах, включенных по схеме счетного запуска. Сигналы со счетчика (координаты растрэлементов, принадлежащих линиям чертежа) могут непосредственно или через буферное устройство вводиться в запоминающее устройство ЭЦВМ.

Экспериментальная проверка работы счетчика и всего преобразователя дала удовлетворительные результаты. С целью выяснения точности работы преобразователя, были заосциллографированы на МПО-2 сигналы с выхода преобразователя при чтении чертежа. Подсчет числа импульсов, записанных на осциллограмме в промежутке между видео-

*) В принципе может быть использована передающая телевизионная трубка с высокой разрешающей способностью (ортикон, видекон и т. п.).

сигналами, точно соответствовал числам, которые были записаны на табло индикации (счетчика).

Выводы

1. Разработанные способы чтения чертежа и метод решения задач позволяют передать цифровой вычислительной машине еще одну из функций деятельности головного мозга человека — процесс решения задач, исходные данные которых представлены в графической форме.

2. Достигаемая при этом автоматизация процесса решения задач оказывается более комплексной, чем в случае решения задач аналитическим методом, т. к. здесь отпадает необходимость в участии человека при вводе в машину исходных данных.

3. Небольшое число различных операций, с помощью которых можно осуществить графическое решение задач и наличие отлаженных подпрограмм — операторов, которые реализуют эти операции на ЭЦВМ, позволяет значительно, по сравнению с аналитическим методом, устроить программирование.

4. Запись решающего алгоритма в виде схем счета, составленных из стандартных операторов, позволяет легко выбрать наиболее рациональный алгоритм, не прибегая к каким-либо дополнительным исследованиям, кроме подсчета суммарного числа операций.

5. В связи с этим появляется возможность произвести подробный анализ, с позиции машинного решения, о целесообразности использовать тот или иной способ решения и получить конкретные рекомендации о направлениях, в которых следует вести работу по созданию новых и усовершенствованию существующих графических способов решения задач.

6. Наиболее целесообразным машинное решение оказывается в следующих случаях:

а) когда требуется получить ответ в возможно короткий промежуток времени (различные оперативные задачи);

б) в задачах, где необходимо выполнять громоздкую вычислительную работу, если исходные данные представлены в графической форме (задачи, связанные со статическим расчетом корабля);

в) при решении задач, в которых характер и число линий, получаемых при геометрических построениях, приводит к такой путанице на чертеже, что пользоваться ими становится практически невозможно (задачи, решаемые методами многомерной начертательной геометрии).

Ч 77058 от 20/I—64 г. Тип. МВТУ Заказ 49. Тираж 200