

АДАПТАЦИЯ КОМПЛЕКСА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОГРАММ ГРАФОР
К УСТРОЙСТВАМ ЕС ЭВМ

В.Л.Катков, К.М.Макаров, Г.А.Панкеев, В.П.Степанов

С 1976 года в Новосибирском филиале Института точной механики и вычислительной техники АН СССР эксплуатируется комплекс графических программ ГРАФОР на машине БЭСМ-6. Комплекс адаптирован к графопостроителям ЕС-7052, ЕС-7051 и графическому дисплею ЕС-7064.

Комплекс ГРАФОР, созданный в Институте прикладной математики АН СССР и Институте точной механики и вычислительной техники АН СССР [1], оказался удобным и эффективным средством обработки графической информации. Модульность комплекса и его высокая степень независимости от конкретной машины и графических устройств привели к широкому распространению и интенсивному использованию ГРАФОРа. Структуру комплекса можно уподобить перевернутой пирамиде, опирающейся на несколько служебных программ, которые привязывают все остальные программы к конкретной ЭВМ и графическим устройствам.

В первой части настоящей работы описывается адаптация комплекса к графопостроителям ЕС-7051 планшетного типа, ЕС-7052 рулонного типа и графическому дисплею ЕС-7064. Вторая часть работы посвящена описанию некоторых новых программ, используемых при решении задач математической физики, в картографировании, проектировании и т.п. Некоторые из них легли в основу специализированной системы рисования метеокарт и применяются в работе организациях гидрометслужб.

Адаптированный ГРАФОР эксплуатируется в рамках мониторной системы ЛУБНА, которая включает в себя разработанный в ИГиТ транслятор с языка АЛГОЛ-60. Последний имеет средства для включения в ал-

головские программы библиотечных процедур ФОРТРАНа, тем самым адаптированный комплекс может использоваться также и алголовскими программами.

§1. Аппаратура комплекса

Устройство ЕС-7052 (СССР) [2] является графопостроителем рулонного типа с шириной рабочего поля 380 мм и максимальной скоростью вычерчивания 200 мм/сек. С помощью специального генератора графопостроитель обеспечивает вычерчивание до 65 символов по их коду; символы можно рисовать горизонтально и повернутыми под углом 90° , 180° и 270° . Графопостроитель выполняет линейную интерполяцию, приказ выбора и управления пишущим элементом, выбора шага (0,1 мм) или полушага (0,05 мм), вычерчивание символов и приказ работы в инкрементальном режиме.

Устройство ЕС-7051 (СССР) является графопостроителем планшетного типа с рабочим полем 1000 x 1050 мм и максимальной скоростью вычерчивания 50 мм/сек. Графопостроитель имеет буферную память в 4К байт, линейный и круговой интерполяторы; обеспечивается автоматическое вычерчивание по коду до 253 символов, ориентированных под 16 углами через $22,5^\circ$. Возможен выбор шага (0,05 мм) или полушага (0,025 мм).

Оба устройства имеют трехэлементный пишущий узел, обеспечивающий трехцветную регистрацию изображения. Передачу графической информации в графопостроитель можно производить либо в режиме канального подключения к ЭВМ, либо в автономном режиме с перфоленки через фотосчитывающее устройство. В адаптированном комплексе реализованы оба способа подключения; обращение к графопостроителям происходит так же, как к выводу на перфоленку.

Графический дисплей ЕС-7064 (СССР) предназначен для вывода алфавитно-цифровой и графической информации на экран электронно-лучевой трубки. Дисплей имеет функциональную и алфавитно-цифровую клавиатуру, световое перо и рычаг для управления изображением на экране. Буферная память (8К байт) обеспечивает автономную от ЭВМ генерацию изображения. Дисплей имеет встроенный генератор знаков, позволяющий изображать до 96 символов. Рабочее поле экрана представляет собой растр из 1024×1024 адресуемых точек и имеет размер 250×250 мм.

Именения ГРАФОРа, обусловленные графопостроителями ЕС-7052, ЕС-7051 и дисплеем ЕС-7064, условно можно разбить на две группы.

К первой группе относятся изменения, предоставляющие пользователю некоторые новые возможности, связанные со спецификой устройств ЕС-7052 и ЕС-7051; к этой группе относятся программы STER, TEXT, COLOR. Ко второй группе относятся вынужденные изменения, необходимые для адаптации комплекса ГРАФОР к устройствам ЕС ЭВМ. Это, в первую очередь, заново написанная служебная программа PLOT (различная для различных устройств) и изменения в программе PAGE, связанные с размерами рабочего поля.

Новая программа PLOT написана на автокоде БЕММ. Она учитывает особенности конкретных устройств, а также те дополнительные возможности, которые они предоставляют пользователю. Поступающая информация (коды приказов и байты данных) накапливается во внутреннем буфере и по его заполнении выводится на ленту (диск) вывода с помощью экстракода выдачи на перфоленту. Работа графопостроителей в режиме on-line с буферизацией на магнитной ленте (диске) оказалась вполне приемлемой как по времени счета, так и по времени рисования. Дисплей ЕС-7064 подключен к ЭВМ БЭСМ-6 через мультиплексор ввода-вывода, разработанный в ВЦ СО АН СССР.

§2. Программы нулевого уровня

1. Расширение возможностей ГРАФОРА.

1.1. Программа TEXT

Назначение. Используя генератор символов, имеющийся в графических устройствах, программа рисует последовательность символов, начиная с заданной точки под заданным углом; размер символов можно менять. Для устройства ЕС-7052 возможен вывод букв латинского и русского алфавитов и специальных символов: $+|-|\pm|=|\nabla|o|.|.|&|_|$; для ЕС-7051 возможен вывод до 253 различных знаков.

Форма обращения: CALL TEXT (X,Y,Д,JBOD,N,I).

Описание параметров:

X, Y - координаты левого нижнего угла первого символа;

K - размер символов (K = 1, 2, 3) в соответствии с аппаратными возможностями устройств;

JBOD - заданная последовательность символов;

N - количество символов в последовательности;

I - угол наклона строки символов к оси X в градусах.

Требуемая подпрограмма: PLOT.

Язык: ФОРТРАН.

ЗАМЕЧАНИЕ. Наличие программы TEXT не исключает возможности пользования и программой SYMBOL из базового комплекса ГРАФОР для вывода последовательности знаков любого размера, в любом месте страницы, под любым углом. Отличие между указанными программами состоит в том, что программа TEXT использует "западные" процедуры устройств ЕС-7051, ЕС-7052, экономя тем самым место для хранения символов и время рисования.

1.2. Программа STER.

Назначение. Выбор для рисования целого шага или полушага.

Форма обращения: CALL STER(K).

Описание параметров:

$$K = \begin{cases} 0 - \text{полный шаг,} \\ 1 - \text{полушаг.} \end{cases}$$

Требуемая подпрограмма: PLOT.

Язык: ФОРТРАН.

ЗАМЕЧАНИЕ. Будучи установленной, величина шага сохраняется до следующего обращения к программе STER в пределах одной страницы. Если не было ни одного обращения к этой программе, по умолчанию берется полный шаг.

1.3. Программа COLOR.

Назначение. Выбор пишущего элемента (пера).

Форма обращения: CALL COLOR(J).

Описание параметров:

J - номер выбираемого элемента: 1, 2, 3.

Требуемая подпрограмма: PLOT.

Язык: ФОРТРАН.

ЗАМЕЧАНИЕ. Обращаться к программе COLOR (так же, как и к программе STER) можно до заведения страницы и в процессе рисования на ней. Рисование выбранным пером происходит до следующего обращения к программе в пределах одной страницы. Стандартный режим - рисование первым пишущим элементом.

2. Адаптация к устройствам ЕС ЭВМ.

Учет конкретного графического устройства, на котором рисуется изображение с помощью комплекса ГРАФОР, реализуется двумя программами: MOVE и PLOT, первая написана на ФОРТРАНе, вторая - на автокоде БЕММ. Назначение их - нарисовать отрезок прямой и передвинуть перо из текущей точки в указанную. Все остальные программы, которым необходимо что-то нарисовать, делают это через посредство

MOVE, которая, в свою очередь, обращается к PLOT. При такой организации комплекс ГРАФОР оказывается машинно-независимым, а от устройства вывода зависит только одна программа PLOT; в адаптированном комплексе эту программу пришлось переписать заново в трех вариантах: для ЕС-7052, ЕС-7051 и ЕС-7064. Кроме того, для работы с дисплеем пришлось внести изменения в каналные программы операционной системы ЭВМ БЭСМ-6.

§3. Новые программы комплекса

1. Рисование криволинейной сетки. При решении задач математической физики в сложных двумерных областях зачастую приходится строить сетку, на которой будет отыскаться решение. Координаты узлов сетки могут либо задаваться априорно, либо вычисляться каким-нибудь алгоритмом, например [3].

Программа NET.

Назначение. Рисование сетки по заданным координатам узловых точек.

Форма обращения: CALL NET (X, Y, N, M, X1, Y1, L).

Описание параметров:

X, Y — двумерные массивы координат узловых точек: $X(N, M)$, $Y(N, M)$;

N, M — число узловых линий по "горизонтали" и "вертикали", $L = \max(N, M)$;

X1, Y1 — одномерные вспомогательные массивы из L элементов каждый.

Требуемая подпрограмма: LINEO.

Язык — ФОРТРАН.

ЗАМЕЧАНИЕ. Каждое из чисел N и M не может быть меньше двух; в противном случае на АЦПУ печатается сообщение об ошибке и сетка не рисуется.

На рис. I приведен результат работы программы NET: по контуру Черного моря были расставлены узлы разностной сетки, проведен расчет по методике [3] и сосчитанная разностная сетка 22×12 точек нарисована на графопостроителе ЕС-7052.

2. Программы картографирования. В задачах картографирования многие объекты: схематическое обозначение зданий, городская планировка, контуры земельных участков, коммунальные сети и т.п. — описываются ломаными линиями (полигональ-

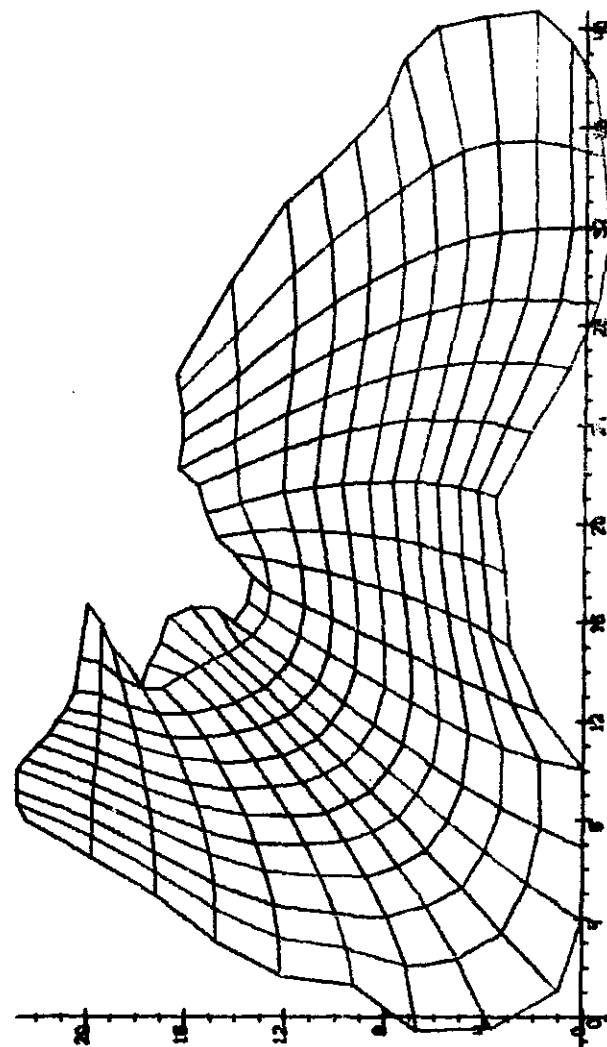


Рис. I. Построение разностной сетки.

ными кривыми). Описываемые ниже программы рисуют эти ломаные линии, размещают надписи и рисуют их в заданных местах. Количество ломаных линий, составляющих семейство, и число звеньев каждой ломаной задается отдельным массивом.

Специальное внимание обращается на минимизацию холостого хода пера графопостроителя. После того как зарисована очередная ломаная, ищется ближайшая точка какой-нибудь ломаной из оставшейся части семейства, подлежащей рисованию. Перо графопостроителя переводится в найденную точку (холостой ход). Далее возможны два случая. В первом — найденная точка является концевой точкой (началь — ной или конечной) ломаной линии, тогда ломаная линия рисуется целиком и вычеркивается из семейства. Во втором случае найденная точка находится среди внутренних точек ломаной. Ломаная линия разбивается на две части: та, в которой имеется большее число звеньев, рисуется, а вторая часть сохраняется в семействе и подлежит дальнейшей обработке наряду с оставшимися. Работа программы прекращается по исчерпанию всех ломаных семейства.

2.1. П р о г р а м м а ПОЛИГ.

Назначение. Рисование семейства ломаных линий.

Форма обращения: CALL ПОЛИГ (X, Y, M, N, L).

Описание параметров:

L — число ломаных линий;

N — одномерный массив из L элементов; N(I) — число точек, образующих I-ю ломаную, $1 \leq I \leq L$;

X, Y — одномерные массивы координат точек всех ломаных: вначале размещается N(1) координат первой ломаной, затем N(2) координат второй ломаной и т.д.

$$M = N(1) + N(2) + \dots + N(L).$$

Требуемая подпрограмма: MOVE.

Язык — ФОРТРАН.

ЗАМЕЧАНИЕ. После работы программы значения массивов X, Y портятся.

2.2. П р о г р а м м а НАДПИС. В задачах картографирования часто требуется разместить надписи в различных точках листа, заданных своими координатами. При этом, естественно, необходимо минимизировать холостой ход пера графопостроителя. Подлежащие рисованию тексты в данном варианте программы ограничиваются шестью символами, однако программа может быть легко переделана под любое фиксированное число символов. Набор символов определяется возмож-

ностями ГРАФОРА и включает русский, латинский и греческий алфавиты и специальные символы (подробнее см. [1]). С помощью программы ПОЛИГ и НАДПИС построена план-схема городского района (рис. 2).

Назначение. Размещение надписей на странице и их рисование.

Форма обращения:

CALL НАДПИС (X, Y, A, K, КУРСИВ, НАБОР, РАЗМЕР, УГОЛ).

Описание параметров:

X, Y — массивы координат точек, начиная с которых размещаются надписи;

A — массив надписей (в каждом A(L) хранится не более шести символов L-й надписи);

K — количество точек (надписей):

КУРСИВ = $\begin{cases} 0 - \text{надписи пишутся без наклона,} \\ 1 - \text{надписи пишутся с наклоном вправо,} \\ -1 - \text{надписи пишутся с наклоном влево,} \end{cases}$

НАБОР = $\begin{cases} 0 - \text{пишутся прописные буквы (русские, латинские),} \\ 1 - \text{пишутся строчные буквы (русские, латинские),} \\ 2 - \text{пишутся прописные буквы (греческие, спецсимволы),} \\ 3 - \text{пишутся строчные буквы (греческие, спецсимволы).} \end{cases}$

РАЗМЕР — величина символов по высоте (в выбранных единицах),

УГОЛ — угол наклона строки к оси X в градусах.

Подробнее по поводу КУРСИВ, НАБОР, РАЗМЕР, УГОЛ см. [1].

Требуемые подпрограммы: SYMBOL, MOVE, ITALIC, SET.

Язык — ФОРТРАН.

ЗАМЕЧАНИЯ:

1. Координаты точки, с которой рисуется надпись, соответствует левому нижнему углу воображаемого прямоугольника, охватывающего первый символ надписи.

2. Массивы координат X, Y после работы программы портятся.

3. Р и с о в а н и е и з о л и н и й. Изображение функции $z(x, y)$ удобно производить в виде линий уровня. Программа ISOLIN предполагает, что функция $z(x, y)$ задана своими значениями в узлах прямоугольной сетки.

Работа программы при рисовании отдельной линии уровня сводится к следующему. Все ребра сетки проверяются на пересечение с линией данного уровня с: пересечение есть, если S заключено меж-

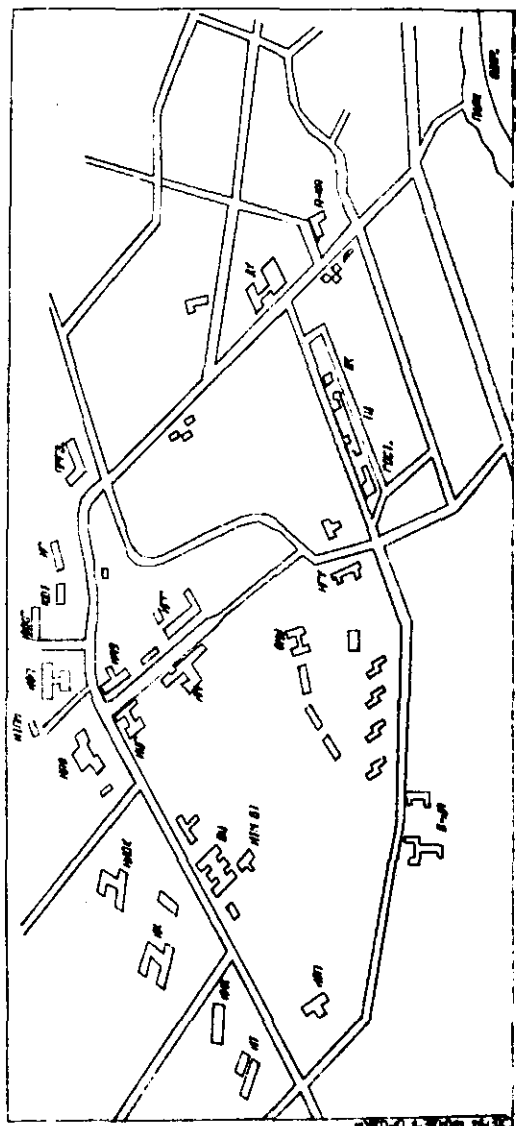


Рис. 2. План-схема городского района.

ду значениями z_1 и z_2 функции Z на концах этого ребра. После того как вычислены точки пересечения линии уровня с со всеми ребрами сетки, строится сама линия в виде ломаной (ломаных). При вычисления точек считается, что на каждом ребре функция $Z(x, y)$ линейна.

Программа позволяет задавать более сложные области, нежели прямоугольные. Для исключения из области некоторого узла достаточно перед обращением к ISOLIN задать в этом узле некоторое "специальное" значение и передать его в качестве параметра в программу.

Наконец, линии уровня могут быть снабжены надписями их числовых значений. Размещение этих надписей осуществляется автоматически на участках, где кривизна линии уровня минимальна.

3.1. Программа ISOLIN.

Назначение. Рисование семейства линий уровня таблично заданной функцией двух переменных.

Форма обращения:

CALL ISOLIN (Z, X, Y, N, M, YP, L, LAUT, ISBSCR, HGF, NNUM, FW).

Описание параметров:

Z - двумерный массив, элементы $Z(I, J)$ ($I = 2, \dots, N - 1$, $J = 2, \dots, M - 1$) которого содержат значения функции Z в узлах сетки;

N - число узлов сетки по горизонтали;

M - число узлов сетки по вертикали;

X, Y - одномерные массивы, элементы $X(I), Y(J)$ которых содержат значения абсцисс и ординат сетки, соответственно;

L - число уровней функции $Z(X, Y)$, подлежащих рисованию;

YP - одномерный массив из L элементов, содержащий значения уровней, если $LAUT$ равно 0;

$LAUT = \begin{cases} 0 & \text{значения уровней берутся из массива } YP, \\ 1 & \text{значения уровней выбираются автоматически от } Z_{\min} \text{ до } Z_{\max} \text{ с равномерным шагом;} \end{cases}$

$ISBSCR = \begin{cases} 0 & \text{числовые значения уровней не надписываются над линией,} \\ 1 & \text{числовые значения уровней надписываются;} \end{cases}$

HGF - высота прямоугольника, в котором вычерчивается цифра, единицы измерения задаются обычным образом [1];

$NNUM$ - количество требуемых дробных знаков; целая часть выписывается программой полностью;

FW - специальное значение для исключения точек узлов из области;

Требуемые подпрограммы: LINEO, LIMITS, TMR, NUMBER.
Язык - ФОРТРАН.

ЗАМЕЧАНИЯ:

1. Содержимое массива Z в верхней и нижней строках, в левом и правом столбцах несущественно при обращении к программе и портится после ее работы.

2. Значения массива Z после работы программы могут измениться в двух младших двоичных разрядах.

3. Используются вспомогательные подпрограммы, не являющиеся общими для ГРАФОР: CLIM, NORO, WNET и т.д.

На рис 3 а,б изображены линии уровня поверхности

$$Z(X,Y) = (X^2 - 1)^2 + (Y^2 - 1)^2.$$

3.2. Программа RLIN.

Назначение. Рисование изолиний функции двух переменных, заданной на произвольной односвязной области в узлах криволинейной сетки.

Форма обращения: CALL RLIN(X,Y,F,M,N,T,NT,KT,N,NOM,IA,IB).

Описание параметров:

X, Y - массивы N x M координат точек криволинейной сетки;

F - массив размерности N x M значений функции двух переменных в узлах сетки;

T - массив значений изолиний размерности NT;

KT - признак автоматического формирования массива констант (при KT ≠ 0 - автоматическое формирование, при KT = 0 - рисование заданных значений линий уровня по массиву T);

N - высота цифр, нумерующих линии уровня;

NOM - признак нумерации изолиний (при NOM ≠ 0 изолинии нумеруются, при NOM = 0 нумерация отсутствует);

IA, IB - вспомогательные массивы размерности N x M.

Требуемые подпрограммы: LIMITS, КРИВАЯ.

Служебные подпрограммы: ТЧК, ТКОВ.

Язык - ФОРТРАН.

ЗАМЕЧАНИЯ:

1. Если область многосвязная, то RLIN можно использовать путем перехода к односвязной области введением дополнительных границ.

2. Программа производит распечатку значений линий уровня, соответствующих номерам на рисунке.

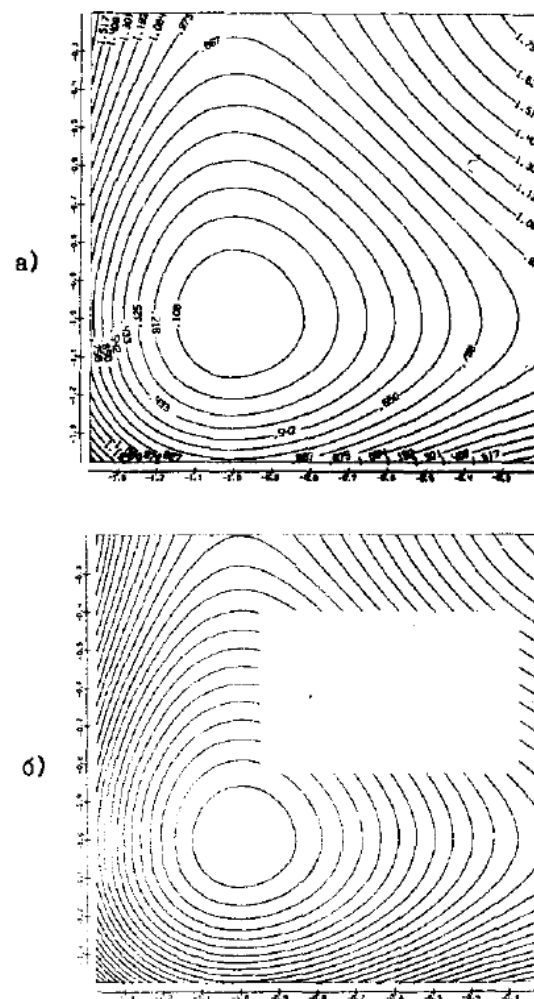


Рис. 3. Рисование линий уровня: а) линии уровня помечены их числовыми значениями, область задания - прямоугольник; б) линии уровня не надписаны, часть узлов помечена заданным числом и тем самым исключена из области определения поверхности.

3. В случае появления неестественных изломов изолиний рекомендуется повторить обращение с более мелкой сеткой.

4. При печати на АЦПУ сообщения ОБРЫВ следует заменять сетку более мелкой и повторить расчет.

На рис.4 а,б изображены линии уровня поверхности $F(X, Y) = X^2 - Y^2$ и криволинейная сетка, на которой она задана.

4. Изображение трехмерных поверхностей. В программах изображения трехмерных поверхностей большое распространение получило их представление с помощью сечений плоскостями, параллельными одной из координатных плоскостей.

Один из алгоритмов [4] состоит в следующем. Пусть задана однозначная непрерывная функция двух переменных $Y = F(X, Y)$, определяющая некоторую поверхность S , рассекаемую рядом плоскостей $Z = Z_j$, $j = 1, \dots, N$. Каждое сечение аппроксимируется ломаной, проходящей через точки $\{X_i, Y_{ij}\}$, где $Y_{ij} = F(X_i, Z_j)$, $i = 1, \dots, M$. Необходимо начертить видимые части этих сечений на плоскости XOY .

Описываемый алгоритм решает эту задачу с помощью двух правил:

а) из двух сечений раньше чертится то, которое расположено ближе к переднему плану картины;

б) при изображении очередного сечения рисуются те его части, которые лежат вне контура, образованного уже нарисованными линиями.

Контур определяется двумя плоскими ломаными, одна из которых соответствует верхнему профилю поверхности, т.е. нижней границе видимости верхней стороны поверхности, другая - нижнему профилю, т.е. верхней границе видимости нижней стороны поверхности. Первоначально обе границы совпадают друг с другом и с узлами первого сечения. В процессе построения следующих сечений эти границы видоизменяются. Например, построение видимых частей K -го сечения на верхней стороне поверхности сопровождается пополнением нижней границы видимости новыми точками, а именно:

- точками пересечения кривой K -го сечения с текущей нижней границей;

- точками K -й кривой, совпадающими с точками, дающими максимальные значения функции по K кривым;

- точками, устраняющими разрывность в определении функции максимума.

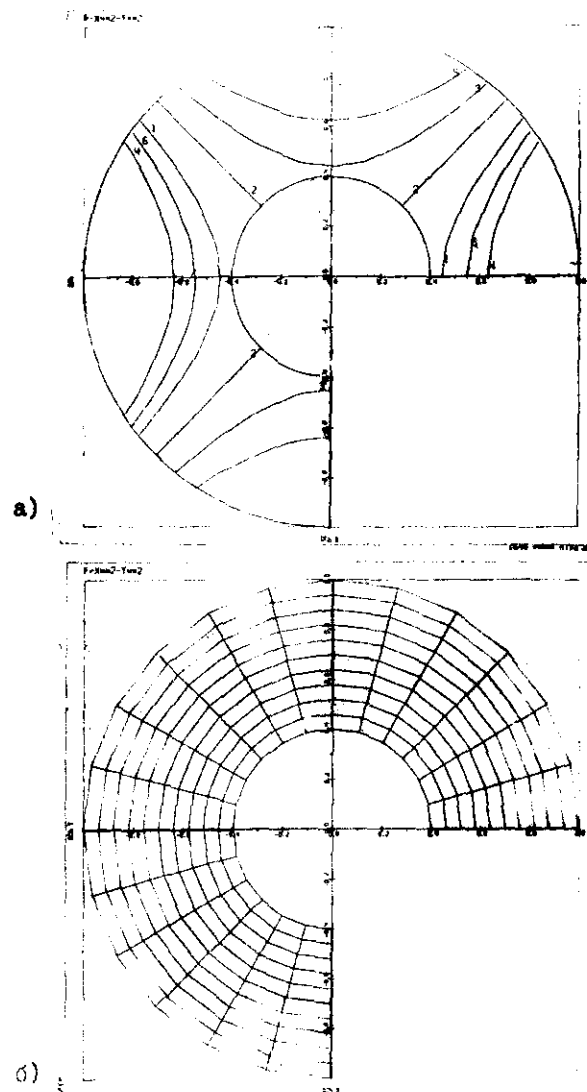


Рис. 4. Пример рисования линий уровня функции $F(X, Y)$ на криволинейной сетке: а) изолинии функции, б) сетка, на которой задана функция.

Одновременно с уточнением границы видимости определяются видимые точки К-й кривой, лежащие выше нижней границы. Соседние видимые точки соединяются отрезками прямых линий и выводятся на графопостроитель.

Вычисление верхней границы видимости нижнего профиля поверхности отличается от рассмотренного тем, что вместо функции максимума используется функция минимума.

Программа HIDE.

Назначение. Программа уточняет текущую (верхнюю или нижнюю), границу видимости изображения, вычисляет координаты концевых точек видимых сегментов очередного сечения поверхности, определяемого текущим обращением к программе, рисует изображение видимых сегментов сечения обращением к подпрограмме LINEO. Для уточнения верхней и нижней границ изображения очередного сечения поверхности производится два последовательных обращения к программе HIDE с соответствующими наборами параметров.

Форма обращения: CALL HIDE (X,XG,YG,XH,YH,NG,M,MAXDIM,N,NFNS,XLNT,YLNT,XMIN,YMIN,A,B).

Описание параметров:

X - упорядоченный по возрастанию массив из M точек оси X, в которых определяются значения функции $Y = F(X, Z_j)$, $Z_j = \text{const}$;

Y - массив из M значений функции $Y = F(X, Z)$ в точках (X_j, Z_j) ;

XG, YG - рабочие массивы для хранения абсцисс и ординат узлов ломаной, аппроксимирующей текущую (верхнюю либо нижнюю) границу видимости сечений;

NG - число точек в текущей (нижней либо верхней) границе видимости; при первом обращении к программе должно быть $NG \leq 0$, причем при $NG = 0$ рисуется верхняя сторона поверхности, при $NG < 0$ рисуется нижняя сторона поверхности, при выходе из программы $NG > 0$;

M - количество точек в каждом из массивов X, Y;

MAXDIM - размерность массивов XG, YG, XH, YH, заданная при обращении к программе. В случае переполнения одного из массивов программа информирует об этом пользователя выводом соответствующего сообщения на АЦПУ и выходит на ОСТАНОВ. Число MAXDIM должно быть в несколько раз больше M;

N - число, модуль которого должен равняться M, причем при $N < 0$ рисование кривой в этом обращении к программе не производится,

однако граница видимости модифицируется обычным образом; при выходе из программы $N > 0$;

NFNS - общее число сечений, причем при $NFNS < 0$ никакого преобразования массивов координат X, Y не производится; при $NFNS = 0$ выполняется то же преобразование координат, что в предыдущем обращении к программе; при $NFNS > 0$ текущая кривая подвергается преобразованию, осуществляющему сдвиг К-й кривой влево и вверх на величины:

$$\Delta X = \frac{K-1}{NFNS-1} (A - XLNT),$$

$$\Delta Y = \frac{K-1}{NFNS-1} (B - YLNT).$$

Это преобразование позволяет подчеркнуть глубину изображения.

XLNT, YLNT - длины интервалов изменения переменных X, Y из массивов X, Y соответственно, причем $XLNT \leq A$, $YLNT \leq B$.

XMIN, YMIN - нижняя граница изменения переменных X и Y, соответственно.

A, B - размеры сторон прямоугольника, параллельные осям X и Y соответственно, определяющие глубину изображения и его границы.

Требуемая подпрограмма: LINEO.

Используются две вспомогательные подпрограммы LOOKUP и CURVE.

Язык - ФОРТРАН.

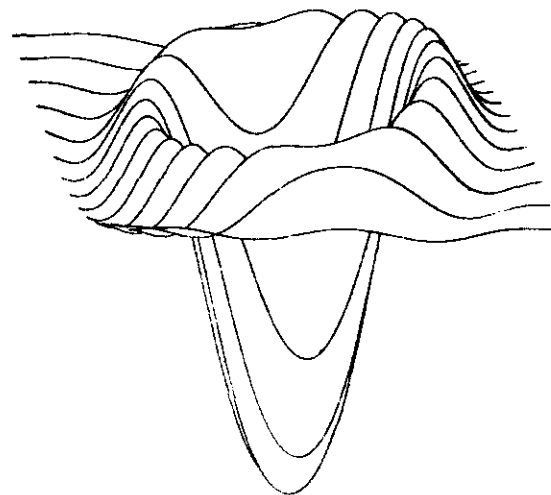


Рис. 5

Пример работы программы HIDE приведен на рис.5, где изображены обе стороны (лицевая и оборотная) поверхности

$$Y = 0.2 \sin(X) \cos(Z) - 1.5 \exp[-(X - \pi)^2 - (Z - \pi)^2] \times$$

$$\times \cos(1.75 [(X - \pi)^2 + (Z - \pi)^2]),$$

$$X \in \left[\frac{30\pi}{74.5}, \frac{91}{74.5}\pi \right], \quad Z \in \left[\frac{6}{12.5}\pi, \frac{16}{12.5}\pi \right].$$

5. Разные программы.

5.1. Программа ЧАСТИЦ. Один из распространенных методов решения задач математической физики - метод частиц в ячейках - приводит к необходимости иметь программу, рисующую частицы, координаты которых задаются как входные параметры. При рисовании на графопостроителе возникает естественная задача минимизации холостого хода пера. Это - классическая задача коммивояжера, для решения которой имеется большой набор алгоритмов различной оптимальности.

В предлагаемой программе реализован простейший алгоритм, состоящий в поиске точки, ближайшей к текущему положению пера графопостроителя, и сокращении массива точек за счет уже нарисованных. Эксперименты с программой показывают, что суммарное время рисования частиц для изображения, состоящего из нескольких сот точек, оказывается вполне приемлемым.

Назначение. Рисование набора точек в виде маркеров.

Форма обращения: CALL ЧАСТИЦ (X,Y,N, MARKER).

Описание параметров:

X,Y - одномерные массивы координат точек, подлежащих рисованию;

N - количество точек;

MARKER - тип маркера, целое число от 0 до 17 (в соответствии с [1, стр.18]).

Требуемые подпрограммы: MOVE, MARKER.

Язык - ФОРТРАН.

На рис.6 приведен результат работы двух программ: ПОЛИГ и ЧАСТИЦ. С помощью первой нарисован контур "дракона", а вторая была использована для его раскраски.

5.2. Программа КРИВАЯ предназначена для сглаживания кривой, проходящей по заданному набору точек. Используется алгоритм, предложенный в [5]. Рассматриваются последовательные тройки

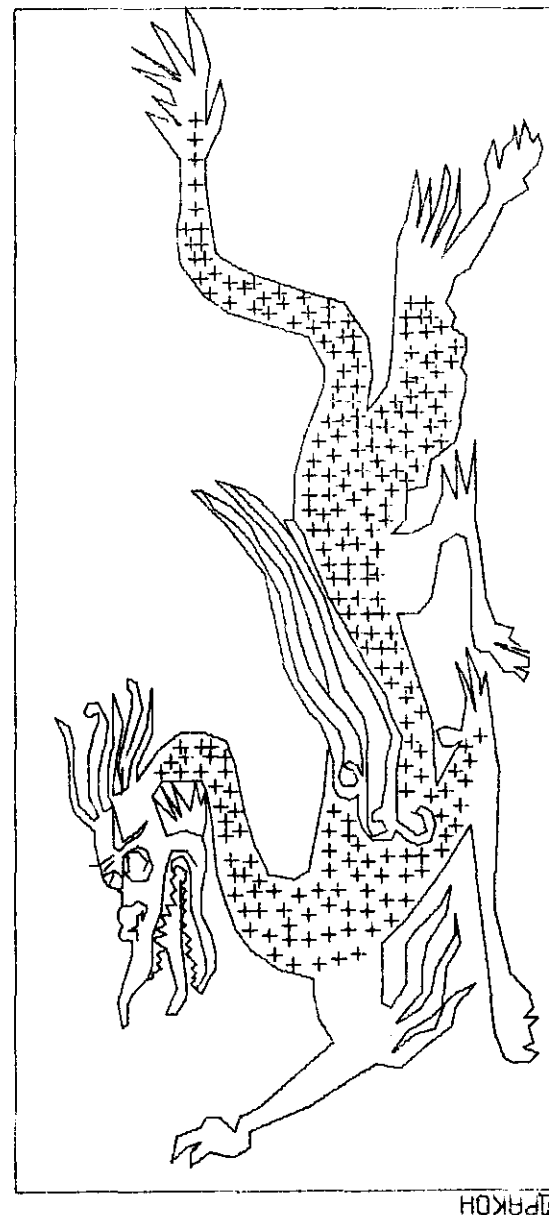


Рис. 6. Результат работы программ ПОЛИГ и ЧАСТИЦ.

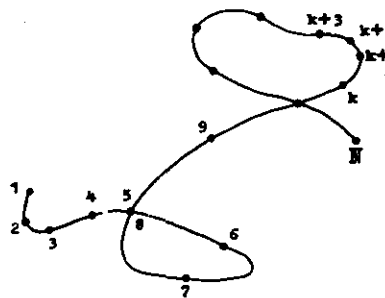


Рис. 7

точек (опорные точки), составляющие искомую кривую (рис.7): (1,2,3), (2,3,4), (3,4,5), ..., $(k, (k+1, k+2), (k+1, k+2, k+3), \dots$ Через каждую тройку проводится окружность, причем для каждого сегмента $(k+1, k+2)$ получаются две окружности, построенные по "левой" и "правой" тройкам. (Исключение составляют первый и последний сегменты: для них получается по одной окружности.) В качестве ре-

зультурующей окружности по каждому внутреннему сегменту берется среднее арифметическое из левой и правой троек. После того, как вычислены окружности для всех сегментов, подсчитываются координаты промежуточных точек, которые соединяются отрезками прямых. В случае замкнутой кривой (координаты первой и последней точек совпадают) для первого и последнего сегментов получается тоже по две окружности и производится усреднение. Расчетные формулы приведены в [5].

Назначение. Проведение сглаженной кривой по заданному набору точек.

Форма обращения: CALL КРИВАЯ (X,Y,K,A,P,C,D,M).

Описание параметров:

X,Y - массивы координат опорных точек, по которым проводится сглаженная кривая; для рисования замкнутой кривой координаты первой и последней точек должны совпадать;

K - число опорных точек (длина массивов X,Y);

M - число промежуточных точек, вычисляемых программой, между каждой парой опорных точек, включая последние;

A, B, C, D - рабочие массивы из M элементов, используемые при вспомогательных расчетах.

Требуемые подпрограммы: LINEO.

Язык - ФОРТРАН.

ЗАМЕЧАНИЯ:

1. $K \geq 4$ для правильной работы программы.

2. $M \geq 2$, при $M = 2$ промежуточные точки отсутствуют.

Рис. 8 а,б, на котором приведен фрагмент метеорологической карты, иллюстрирует работу программы КРИВАЯ.

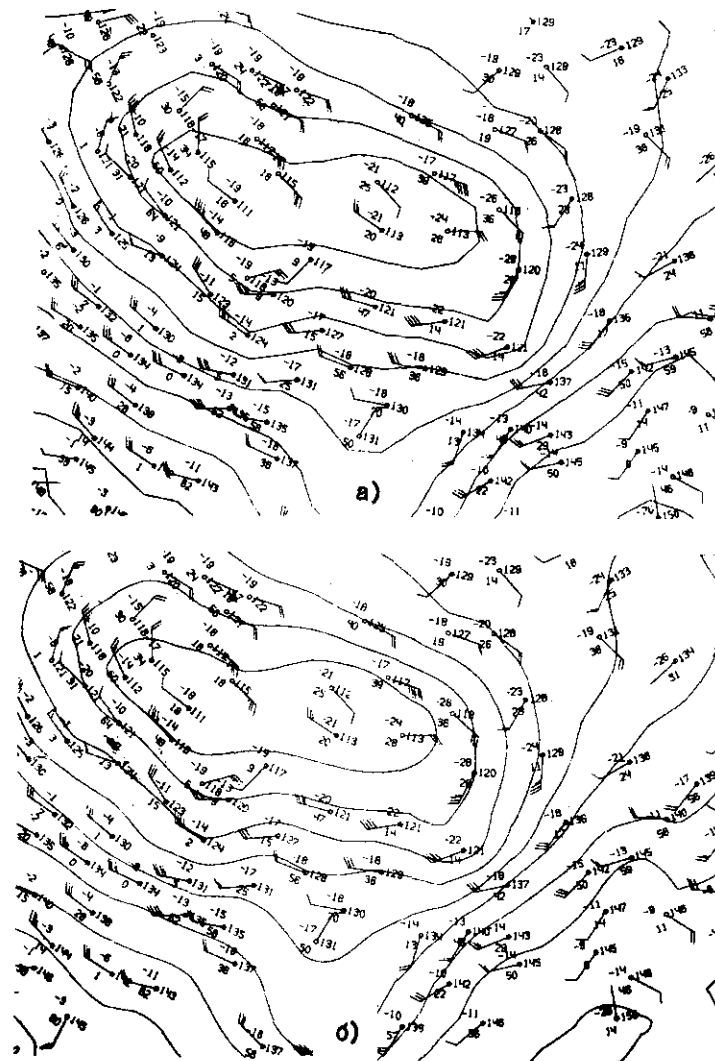


Рис. 8. Сглаживание кривых геопотенциала на метеорологической карте: а) без сглаживания, б) после сглаживания.

Л и т е р а т у р а

1. БАЯКОВСКИЙ Ю.М., МИХАЙЛОВА Т.Н., МИШАКОВА Р.Т. ГРАФОР: комплекс графических программ на ФОРТРАНе. Вып. I. Основные элементы и графики. Препринт. М., 1972 (АН СССР. Ин-т прикладной математики).

2. Единая система ЭВМ. М., "Статистика", 1974.

3. БЕЛИНСКИЙ П.П., ГОДУНОВ С.К., ИВАНОВ Ю.Б., ЯНЕНКО И.К. Применение одного класса квазиконформных отображений для построения разностных сеток в областях с криволинейными границами. - "Журн. вычислит. математики и мат. физики", 1975, № 6.

4. WILLIAMSON H. Algorithm 420 hidden - line plotting. - "Communications ACM", 1972, v.15, N 2.

5. ГОДУНОВ С.К., ПРОКОПОВ Г.П. О решении дифференциальных уравнений с использованием криволинейных разностных сеток. - "Журн. вычислит. математики и мат. физики", 1968, № 1.

Поступила в ред.-изд.отд.
13 июня 1977 года