

4. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ

При решении довольно широкого класса задач графическое устройство используется для изображения различных функциональных зависимостей в виде графиков. В простейшем случае это может быть построение кривой (точнее ломаной), заданной табличными значениями, и проведение осей. При этом координаты точек могут иметь физический смысл (плотность, время, давление и т.д.) и представляться в том масштабе, который удобен для вычислений. В этом случае будем говорить, что функциональная зависимость задана в некотором *математическом пространстве*. Пределы изменения функции и ее аргумента являются характеристиками этого пространства.

Предметом обсуждения данной главы и будут вопросы определения математического пространства и его характеристик, построения кривых вида $y = f(x)$ в декартовой и полярной системах координат, проведение координатных осей. Причем в декартовой системе координат могут использоваться равномерные, логарифмические и полулогарифмические шкалы. В эту главу также включены описания программ для построения гистограмм.

4.1. Определение области. Математические координаты

Как отмечалось выше, страница определяет *физическое пространство*: его размер, связанную с ним систему координат и линейные единицы измерения. При задании математического пространства определяется функция его отображения на физическое пространство, называемое в дальнейшем *областью отображения*, или просто *областью*. Область - это рабочее поле, выделяемое в пределах страницы с некоторой другой, удобной для пользователя системой координат. В частности, при задании страницы ее поле автоматически определяется как область, совпадающая со страницей.

Задание функции преобразования требует обращений к двум программам REGION (область) и LIMITS (пределы). При вызове программы REGION (для полярной системы координат - POLREG) указывается место области на странице и ее размеры. Другая программа, LIMITS, фиксирует *пределы изменения* аргумента и функции. Такое разделение естественно и логично, поскольку можно определить новую область, сохраняя прежние пределы, и наоборот, т.е. эти две компоненты, определяющие математическое пространство, по существу независимы.

Обращение к программе REGION задает в пределах страницы прямоугольную область с границами, параллельными сторонам страницы. При этом определяется место текущего графика и дается разрешение рисовать в этой области. Область может быть очерчена. Вдоль внешней стороны верхней границы области выписывается название области - текст, заданный программистом (см. рис. 1.3).

Программа REGION(X,Y, XL,YL, NAME, N, J) позволяет определить на заданной странице прямоугольную область для построения графиков, изолиний, проекций поверхностей и др. Параметры программы:

X, Y - координаты левого нижнего угла области относительно начала координат страницы (левого нижнего угла страницы);

XL, YL - размеры области вдоль осей X и Y;

NAME - название области;

N - количество литер в названии;

J - признак очерчивания границ области: J = 0 - границы не очерчиваются, J = 1 - границы очерчиваются.

Место расположения и размеры области должны быть такими, чтобы она целиком помещалась внутри страницы. Если длина хотя бы одной стороны области меньше 1 см, область не будет заведена. Если же координаты и размеры сторон заданы так, что область не помещается на странице, то она обрезается по правой и верхней границам страницы. При каждом обращении к программе REGION открывается новая область в пределах текущей страницы, а доступ в предыдущую прекращается. Проверок на пересечение областей не производится. Координаты и размеры области задаются в выбранных единицах измерения.

Все, что строится в области, масштабируется в зависимости от размеров области и пределов изменения функции, заданных программистом при обращении к программе LIMITS. Обычно левой и нижней границам области соответствуют минимальные значения координат X и Y, а правой и верхней - максимальные. Тем самым определяется правая система координат. Поменяв в обращении пределы местами, можно ориентировать оси произвольным образом. Установленные

пределы сохраняются до очередного обращения к программе LIMITS. Величины, связанные с определением математического пространства, хранятся в общем блоке GFTAB (см. табл.1).

Программа LIMITS(XMIN, XMAX, YMIN, YMAX) предназначена для задания пределов изменения функции и ее аргумента. Ее параметры:

XMIN - математическое значение координаты X , соответствующее левой границе области;

XMAX - математическое значение координаты X , соответствующее правой границе области;

YMIN - математическое значение координаты Y , соответствующее нижней границе области;

YMAX - математическое значение координаты Y , соответствующее верхней границе области.

Если программе априори неизвестны пределы изменения функции и/или аргумента, то для поиска в массиве максимальной и минимальной величины можно воспользоваться программой MINMAX.

Программа MINMAX(A, N, AMN, AMX) позволяет определить минимальное и максимальное значения в массиве чисел. Ее параметры:

A - массив чисел длины N, AMN - минимальное значение, AMX - максимальное.

При рисовании в области может понадобиться вывести перо графплоттера в определенную "физическую" точку, координаты которой известны программисту только как математические величины. Это может потребоваться, например, чтобы написать значение какой-либо точки кривой, либо пометить определенную точку маркером и т.п. Для вычисления страничных координат точки по заданным математическим координатам имеется программа TMF.

Программа TMF(XM, YM, XF, YF) позволяет перевести математические координаты точки в области в координаты на странице. Параметры программы следующие:

XM, YM - математические значения координат;

XF, YF - значения координат в заданных единицах измерения.

Существует также и обратное преобразование координат.

Программа TFM(XF, YF, XM, YM) переводит страничные координаты в математические координаты (знак страничной координаты не учитывается). Ее параметры аналогичны одноименным в программе TMF.

4.2. Графики в декартовой системе координат

Функция для вывода в общем случае задается как две последовательности координат точек и график функции рисуется в виде ломаной. Хотя после того как реализованы подпрограммы перехода к страничным координатам алгоритм вывода кривой оказывается тривиальным, некоторые моменты, тем не менее, заслуживают внимания.

Во-первых, после вычисления страничных координат точка может оказаться за пределами области. В этом случае (если не допускается выход за пределы области) точка проецируется на ближайшую границу области. Это экономный способ, но он приводит к искажению ближайшего к границе отрезка кривой. Заметим, что при автоматическом выборе масштаба (с использованием программы MINMAX) описанная ситуация не возникает и, кроме того, обеспечивается наилучшее заполнение поля рисунка.

Во-вторых, в программах для построения кривых выбирается ближайший к местонахождению пера конец кривой и с него начинается проведение этой кривой. При построении нескольких кривых на одном графике такой выбор может сократить (иногда вдвое) путь пера ценой лишь незначительного увеличения времени работы программы.

В-третьих, в комплексе Графор имеется около десятка программ для проведения кривых. Вообще говоря, их можно было бы объединить в одну-две подпрограммы. Но это привело бы к значительному усложнению и удлинению списка параметров. Кроме того, в память загружались бы вспомогательные подпрограммы, которые необходимы в частных случаях, но оказываются "мертвым грузом" в большинстве ситуаций.

И, наконец, в-четвертых, кривые, если на графике их несколько, можно помечать маркерами из имеющегося набора. При этом, если номер маркера задан отрицательным, то размер этого маркера будет вдвое меньше стандартного (не 3 мм, а 1.5 мм).

Программа LINEO(X, Y, N) позволяет начертить в заданной области ломаную, связывающую N точек. В массивах X и Y передаются соответственно значения абсцисс и ординат точек, определяющих функцию, а N указывает количество элементов в этих массивах.

Программа LINEMO(X, Y, N, NM, JS) позволяет начертить в заданной области ломаную, связывающую N точек и пометить заданные точки маркерами или пометить заданные точки маркерами, не вычерчивая кривой. Параметры программы:

X, Y - массивы абсцисс и ординат точек;

N - количество точек;

|NM| - номер маркера (если $NM < 0$ - изображается маркер уменьшенных размеров);

|JS| - шаг маркировки (если $JS < 0$ - линия не проводится, если $JS = 0$ или $JS = 1$ - маркируются все точки).

Вообще говоря, с любой точкой графика можно связать произвольные буквенные и числовые пометки. Для их изображения необходимо преобразовать математические координаты точки в страничные (программа TMF) и затем воспользоваться программой SYMBOL или NUMBER.

В Графоре предусмотрена также возможность проведения замкнутых кривых. Для этого служат программы LINEC и LINEMC, обращение к которым аналогично обращению к программам LINEO и LINEMO. Отличие состоит лишь в том, что проводится отрезок прямой, соединяющий последнюю точку с первой.

В описанных выше программах предполагается, что функция задана в виде последовательности пар координат точек, вычисленных заранее. Однако, если функция задана на равномерной сетке, то нет необходимости хранить все значения аргумента. И тогда можно воспользоваться программой INCLIN.

Программа INCLIN(XBEG, DXEX, JX, Y, N, NM, JS) позволяет вычертить график функции, заданной на отрезке с постоянным шагом. Ее параметрами являются:

XBEG - начальное значение аргумента;

DXEX - величина постоянного шага по аргументу или конечное значение аргумента (в зависимости от значения признака JX);

JX - признак параметра DXEX: $JX = 0$ - задан шаг, $JX = 1$ - задано конечное значение;

Y - вектор значений функции (длины N);

N - количество точек;

|NM| - номер маркера (если $NM < 0$, изображается маркер уменьшенных размеров);

|JS| - шаг маркировки (если $JS > 0$, вычерчивается линия с маркерами, если $JS = 0$, вычерчивается линия без маркеров, если $JS < 0$, изображаются только маркеры).

Следует заметить, что, задавая количество точек кривой N со знаком минус, мы разрешаем выход кривой за пределы области, но не далее границ страницы. Это замечание имеет отношение ко всем ранее описанным программам проведения линий.

В одной и той же области могут быть изображены несколько функциональных зависимостей. Один из способов различения кривых, соответствующих этим зависимостям был описан ранее (маркировка). Другая возможность связана с рисованием прерывистых (штриховых и штрихпунктирных) линий. Эта возможность реализуется с помощью программы BRLINE. Предварительно до обращения к ней задается режим проведения линии и размеры штрихов и просветов между штрихами (программы FULL и BROKEN).

Программа FULL задает режим проведения непрерывной линии. Эта программа не имеет параметров.

Программа BROKEN(A1, A2, A3, A4) задает режим проведения прерывистой линии и характер линии. Ее параметры следующие:

A1 - длина первого штриха;

A2 - длина просвета после первого штриха;

A3 - длина второго штриха;

A4 - длина второго просвета.

Все значения задаются в выбранных единицах измерения. Конфигурация, заданная двумя штрихами и двумя просветами, повторяется необходимое число раз.

Программа BRLINE(X, Y, N) позволяет начертить непрерывную, штриховую или штрихпунктирную линию по заданной последовательности точек. Вид линии зависит от установленного режима. В массивах X и Y передаются соответственно значения абсцисс и ординат точек, определяющих функцию, а N указывает количество элементов в этих массивах. Задавая параметр N отрицательным, можно начертить "негативную" линию, когда штрихи заменяются просветами, а просветы штрихами.

Еще одна программа, LINNUM, предоставляет возможность вычерчивания прерывистых линий в зависимости от установок программами FULL или BROKEN. Кроме того, она позволяет вписать заданное число в разрыв линии. Число задается при обращении к программе SIZNUM.

Программа SIZNUM(SIZE, FNUM, N, M) устанавливает режим вписывания числа в разрыв линии. Параметры программы:

SIZE - высота литеры в выбранных единицах измерения;

FNUM - число с плавающей точкой;

N - количество цифр в числе;

M - количество требуемых дробных знаков.

Отменить режим вписывания числа можно обратившись к программе RENUM. Эта программа не имеет параметров.

Программа LINNUM(X, Y, N) позволяет по данному массиву точек начертить линию и в том месте, где линия имеет наименьшую кривизну, вписать заданное число. Если длина линии меньше восьми длин текста, то это вписывание не произойдет. Параметры программы X, Y, как и в программе BRLINE, передают значения абсцисс и ординат точек, а N указывает количество элементов в этих массивах. Для программы LINNUM программа BRLINE является служебной (рис. 4.1).

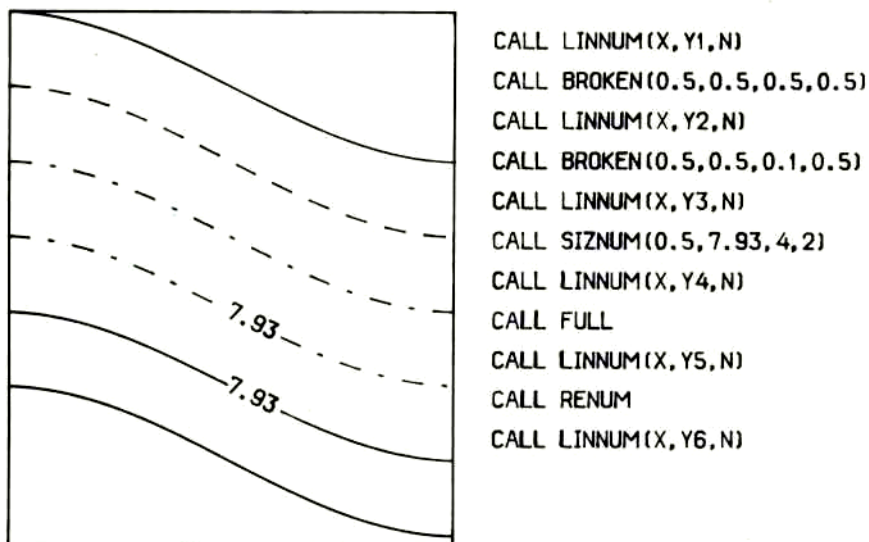


Рис. 4.1. Пример использования программ вычерчивания и разметки линий

На рис.1.3 показан пример построения графиков с использованием описанных программ, а на рис.1.4 приведена программа, с помощью которой выполнено это построение

На рис. 4.2 три простые кривые изображены в двух системах координат, отличающихся только направлением оси ординат. Смена направления выполняется очень просто - заданием новых пределов (LIMITS). Приводится также пример нанесения надписи, связанной с точкой математического пространства. Страничные координаты определяются при обращении к программе TMF.

```
DIMENSION YL(50), YP(50), YG(50)
M = 36
X = 0.
YL(1) = 0.
YP(1) = 0.
CALL PAGE(20., 26., 0, 0, 0)
CALL LIMITS(-.5, 4.3, -4., 68.)
CALL REGION(1., 13.5, 14., 12., 0, 0, 0)
J = 1
DO 100 I = 2, M
X = X + .1
YL(I) = 9. * X
YP(I) = X * 3
100 YG(I) = 32. / X
102 CALL INCLIN(0., .1, 0, YP, M, 5, 5)
CALL INCLIN(0., .1, 0, YL, M, 0, 0)
CALL TMF(3., 27., XF, YF)
```

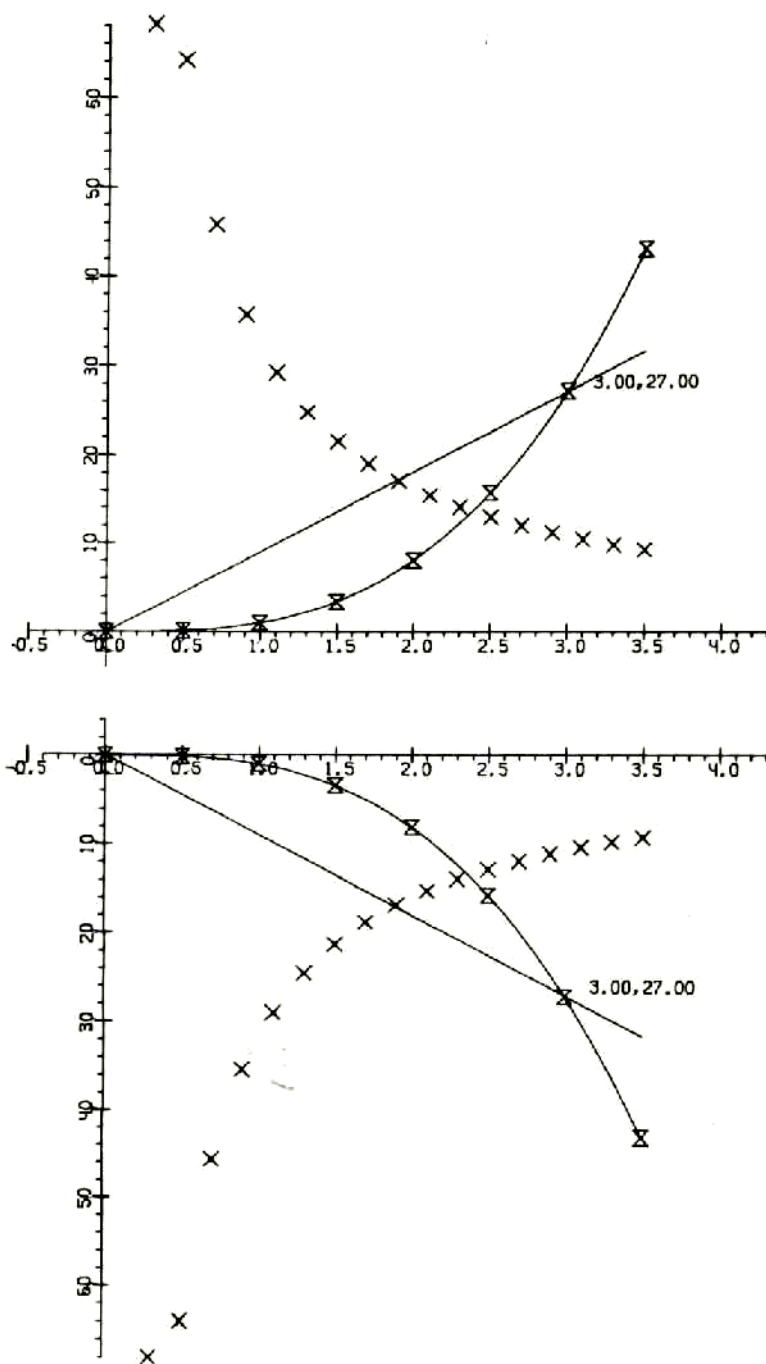


Рис. 4.2. Изображение графиков функций

```

CALL SYMBOL(XF+.5,YF,.3,'3.00,27.00',10,0.)
CALL INCLIN(.3,.1, 0,YG(4), M-3, 2, -2)
CALL AXES(0, 0, 0.,5, 0, 0, 10.,5, 0)
GO TO (106,107) J
106 CALL LIMITS(-.5, 4.3, 68.,-4.)
CALL REGION(1.,0.5, 14.,12.,0, 0, 0)
J = 2
GO TO 102
107 CALL ENDPG('4.2')
END

```

4.3. Построение осей координат в декартовой системе

При оформлении графика важное значение имеют оси с пометками (или шкалы). При конструировании алгоритмов и программ для построения осей приходится учитывать разнообразные требования в различных сочетаниях и вариантах. Так, в Графоре не удалось ограничиться одной программой AXES, которая автоматически выбирает расположение осей в области, проводя их через нулевое или ближайшее к нулевому основное деление. Были добавлены программы, предоставляющие программисту возможность управлять положением осей и ориентацией числовых пометок. Кроме того, для построения логарифмических шкал в прямоугольной системе координат и для построения осей в полярной системе координат были разработаны отдельные программы.

Обратим внимание на принципы построения осей, принятые в Графоре. Оси могут быть названы и их названия подписываются за пределами области, вдоль ее границ (AXES) или рядом с осью (XAXIS, YAXIS). Ось размечается основными и дополнительными делениями. С основными делениями соотносятся их численные (математические) значения. Количество дополнительных делений внутри основного задается при обращении к соответствующей программе.

Размер основного деления задается программистом или выбирается автоматически. Автоматический выбор происходит в том случае, если указан нулевой размер или если размер задан неправильно и делается попытка разместить на оси более 20 основных делений. При автоматическом выборе на оси размещается от 5 до 15 основных делений.

Численные значения, которые соответствуют основным делениям, фиксируются на графике. Их дробная часть состоит не более, чем из трех цифр, а общее количество значащих цифр не должно превышать пяти. Это ограничение, с одной стороны, определяется подпрограммой перевода двоичных чисел в десятичные (BCD), с другой стороны, оно разумно, поскольку возникают затруднения при чтении графика. (Следует заметить, что при ручном построении графиков, как правило, ограничения еще жестче.) Однако эти ограничения чисто графические, и они не предъявляют каких-либо дополнительных требований к величинам, с которыми оперирует программа (т.е. к математическому пространству). При необходимости проводится масштабирование и указывается масштабный коэффициент $\cdot 10^{\pm m}$ вслед за названием оси (см., например, рис. 4.5). Кроме того, через основные деления на осях может быть проведена координатная сетка.

Программа AXES(NAMEX, NX, UX, KX, NAMEY, NY, UY, KY, M) позволяет провести и разметить оси абсцисс и ординат. Параметры программы:

NAMEX - название оси абсцисс;

NX - число литер в названии оси абсцисс;

UX - шаг основного деления на оси абсцисс (задается в математических единицах) (если UX = 0.0, производится автоматический выбор шага);

KX - число дополнительных делений внутри основного на оси абсцисс ($0 \leq KX \leq 12$);

NAMEY - название оси ординат;

NY - число литер в названии оси ординат;

UY - шаг основного деления на оси ординат (задается в математических единицах) (если UY = 0.0, производится автоматический выбор шага);

KY - число дополнительных делений внутри основного на оси ординат ($0 \leq KY \leq 12$);

M - признак нанесения координатной сетки: M = 00 – сетка не наносится, M = 10 - сетка по оси абсцисс, M = 01 - сетка по оси ординат, M = 11 - сетка по обоим осям.

Итак, программы построения осей позволяют автоматически:

а) выбрать положение осей;

б) определить размер литер в числовых и буквенных надписях;

в) выбрать размер крупного деления;

г) вычислить масштабный коэффициент МК, который в виде $\cdot 10^{\pm m}$ записывается вслед за названием оси;

д) определить количество значащих десятичных разрядов (но не более трех) в дробной части чисел, используемых в качестве пометок.

Три последние функции выделены в отдельную служебную программу ASTEP, которая используется не только в программе AXES, но также и в других программах построения осей: XAXIS, YAXIS, XLGAX, YLGAX, RAXES, THAXES, которые будут описаны ниже.

Программа ASTEP(AN, AX, BS, MK, KD) осуществляет корректировку или автоматический выбор шага. Вычисляются масштабный коэффициент и количество дробных знаков шага. В параметрах AN

и AX задаются минимальные и максимальные значения для данной оси. Параметр BS содержит заданное значение шага. В случае корректировки шага программа ASTEP соответствующим образом изменяет это значение. Значениями параметров МК и KD являются соответственно вычисленные значения масштабного коэффициента и числа дробных знаков.

С помощью программ XAXIS, YAXIS можно в области графика провести и разметить произвольное количество осей координат. Положение оси абсцисс (в программе XAXIS) определяется значением математической координаты Y в пределах области. Аналогично, положение оси ординат (в программе YAXIS) определяется значением математической координаты X в пределах области.

Так же как и в программе AXES, оси маркируются с заданным шагом, и на графике фиксируются математические значения, которые соответствуют основным делениям. Через основные деления на осях может быть проведена координатная сетка. Размерные надписи, относящиеся к осям, могут располагаться по одну, либо по другую сторону от соответствующей оси как вдоль осей, так и перпендикулярно им. Название оси пишется вдоль оси непосредственно под разметкой (если размерные надписи располагаются вдоль оси) или по другую сторону от оси (если размерные надписи располагаются перпендикулярно оси).

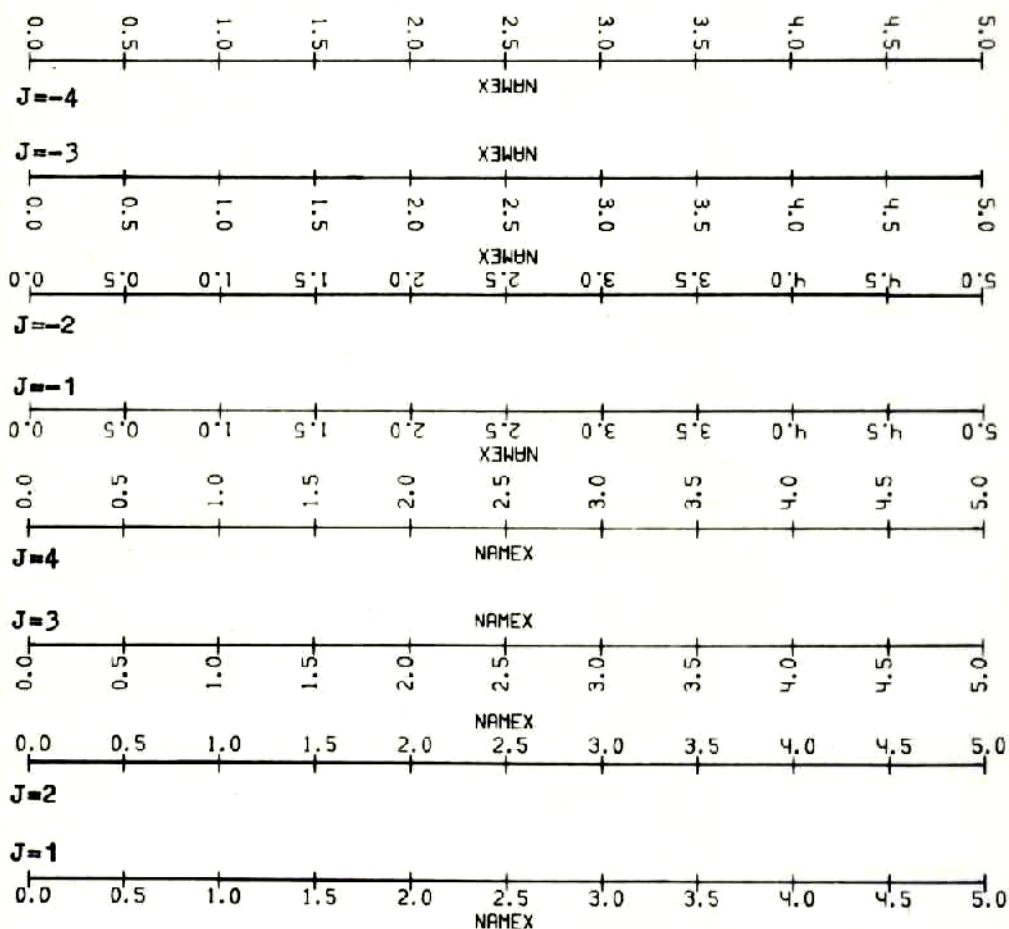


Рис. 4.3. Восемь возможных вариантов расположения пометок и названия оси X

Программа XAXIS(Y0, NAMEX, NX, UX, KX, M, J) позволяет провести и разметить ось абсцисс, т.е. прямую $Y = Y_0$. Параметры программы:

Y0 - математическая координата Y, определяющая положение оси абсцисс;

NAMEX - название оси абсцисс;

NX - число литер в названии;

UX - шаг основного деления на оси (задается в математических единицах)

(если $UX = 0.0$, производится автоматический выбор шага);

KX - число дополнительных делений внутри основного ($0 \leq KX \leq 12$);

M - признак нанесения координатной сетки: $M = 0$ - без нанесения сетки, $M = 1$ - с нанесением сетки;

J - признак расположения именующих и размерных надписей относительно оси абсцисс; если $J = 0$, то размерные надписи отсутствуют, игнорируется также название оси.

Восемь возможных вариантов расположения пометок и названия оси X (при $0 < |J| \leq 4$) показаны на рис. 4.3.

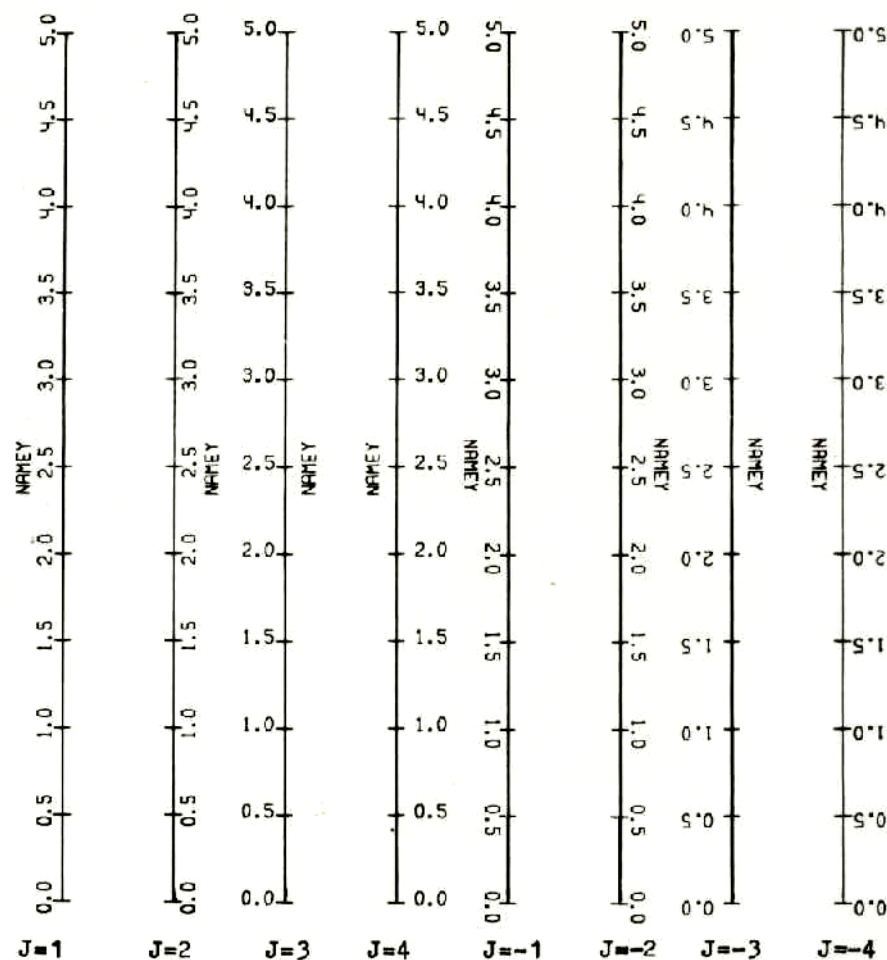


Рис. 4.4. Восемь возможных вариантов расположения пометок и названия оси Y

Программа YAXIS($X0$, NAMEY, NY, UY, KY, M, J) позволяет провести и разметить ось ординат, т.е. прямую $X = X0$. Программа имеет следующие параметры:

$X0$ - математическая координата X , определяющая положение оси ординат;

NAMEY - название оси ординат;

NY - число литер в названии;

UY - шаг основного деления на оси (задается в математических единицах)

(если $UY = 0.0$, производится автоматический выбор шага);

KY - число дополнительных делений внутри основного ($0 \leq KY \leq 12$);

M - признак нанесения координатной сетки: $M = 0$ - без нанесения сетки, $M = 1$ - с нанесением сетки;

J - признак расположения именующих и размерных надписей относительно оси ординат; если $J = 0$, то размерные надписи отсутствуют, игнорируется также название оси.

Восемь возможных вариантов расположения пометок и названия оси Y (при $0 < |J| \leq 4$) показаны на рис. 4.4.

4.4. Графики в логарифмической и полулогарифмической сетках

При построении графика изменяющейся в широких пределах зависимости логарифмическая шкала имеет преимущество перед равномерной. График функции в этом случае, также как и при равномерных шкалах, вычерчивается внутри прямоугольной области, задаваемой обращением к программе REGION. Пределы изменения функции и ее аргумента определяются программой LIMITS.

Естественно, что предельные значения координаты, относящейся к логарифмической шкале, должны быть положительными. С помощью программы LGLINE можно начертить кривую по заданным массивам точек X и Y .

Программа LGLINE(X, Y, N, LG, NM, JS, L) позволяет по последовательности точек начертить в заданной области кривую в прямоугольной системе координат с логарифмической шкалой.

Параметры программы:

X, Y - массивы координат точек (длины N);

$|N|$ - количество точек (если $N < 0$, допускается выход за пределы области);

LG - признак логарифмической шкалы: $LG = 1$ - по оси абсцисс, $LG = -1$ - по оси ординат, $LG = 0$ - по обоим осям;

$|NM|$ - номер маркера (если $NM < 0$, изображается маркер уменьшенных размеров);

$|JS|$ - шаг маркировки: $JS > 0$ - проводится линия с маркерами, $JS = 0$ - проводится линия без маркеров, $JS < 0$ - отмечается маркером каждая JS -тая точка, причем линия не проводится;

L - признак замкнутости: $L = 0$ - незамкнутая линия, $L = 1$ - замкнутая линия.

Для перевода математических координат в страничные имеется программа TMLGF.

Программа TMLGF(XM, YM, LG, N, XF, YF) позволяет перевести математические координаты точки в страничные с учетом логарифмической сетки. Параметры программы:

XM, YM - математические значения координат X и Y ;

LG - признак логарифмической шкалы: $LG = 1$ - по оси абсцисс, $LG = -1$ - по оси ординат, $LG = 0$ - по обоим осям;

N - параметр, определяющий, может ли точка находиться за пределами области: $N = -1$ - может, $N = 0$ - точка, оказывающаяся за пределами области, проецируется на границу области;

XF, YF - значения координат X и Y в заданных единицах измерения;

Для проведения осей координат с логарифмической шкалой предназначены программы XLGAX и YLGAX. Оси метятся основными и дополнительными делениями. С основными делениями соотносятся их численные значения. Через основные деления могут быть проведены координатные линии.

Программа XLGAX($Y0, NAMEX, NX, JS, KX, M$) позволяет провести и разметить ось абсцисс с логарифмической шкалой. Параметры программы:

$Y0$ - математическое значение координаты Y в точке, через которую проводится ось абсцисс;

$NAMEX$ - название оси;

NX - количество литер в названии;

JS - определяет шаг 10^{JS} , с которым наносятся основные деления;

$|KX|$ - число дополнительных делений внутри основного ($|KX| \leq 10$): $KX > 0$ - ось ординат с равномерной шкалой, $KX \leq 0$ - ось ординат с логарифмической шкалой;

M - признак нанесения координатной сетки по оси абсцисс:

$M = 0$ - без нанесения сетки, $M = 1$ - с нанесением сетки;

Программа YLGAX($X0, NAMEY, NY, JS, KY, M$) позволяет провести и разметить ось ординат с логарифмической шкалой. Параметры программы:

$X0$ - математическое значение координаты X в точке, через которую проводится ось ординат;

$NAMEY$ - название оси;

NY - количество литер в названии;

JS - определяет шаг 10^{JS} , с которым наносятся основные деления;

$|KY|$ - число дополнительных делений внутри основного ($|KY| \leq 10$): $KY > 0$ - ось абсцисс с равномерной шкалой, $KY \leq 0$ - ось абсцисс с логарифмической шкалой;

M - признак нанесения координатной сетки по оси ординат:

$M = 0$ - без нанесения сетки, $M = 1$ - с нанесением сетки.

Если используется полулогарифмическая шкала, т.е. одна из осей имеет логарифмическую шкалу, а другая - равномерную, то ось с равномерной шкалой проводится с помощью подпрограмм XAXIS или YAXIS. Чтобы определить координату точки на логарифмической оси, через которую проходит ось с равномерной шкалой, следует воспользоваться подпрограммой-функцией COORD.

Функция COORD($C0, J$) позволяет получить математическое значение координаты на оси с равномерной шкалой, соответствующее заданному значению координаты на оси с логарифмической шкалой. Здесь:

$C0$ - математическое значение координаты на логарифмической оси;

J - признак координаты: $J = 0$ - координата на оси абсцисс, $J = 1$ - на оси ординат.

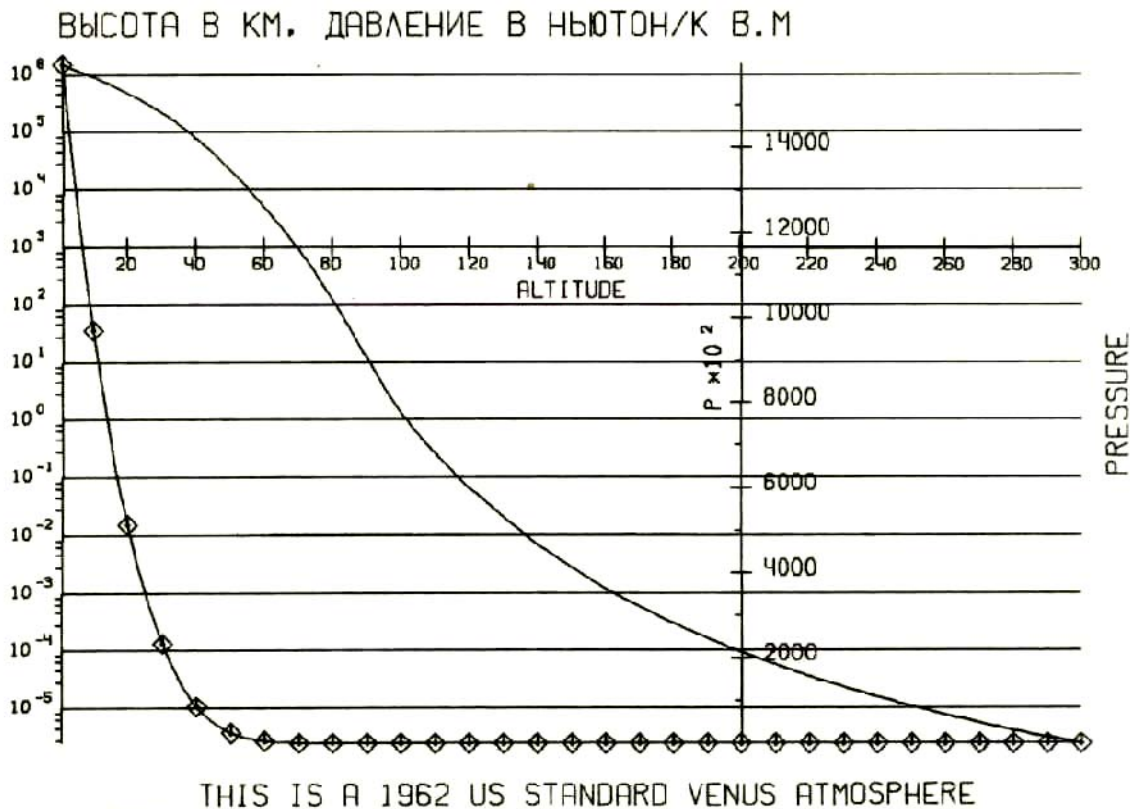


Рис. 4.5. Графики функций с обычной и полулогарифмической шкалами

Значение, полученное с помощью функции COORD, используется при обращении к подпрограммам XAXIS или YAXIS.

На рис. 4.5 приведены два графика, характеризующие изменение давления в атмосфере Венеры в зависимости от высоты, в декартовой системе координат и в прямоугольной системе координат с логарифмической шкалой по оси ординат. Рисунок получен с помощью следующей программы:

```

DIMENSION P(400), Z(400), CS(400), RHO(400), TM(400)
DO 2 I = 1, 300
  Z(I) = I
  CALL VENUSA(Z(I), P(I), CS(I), RHO(I), TM(I))
2 CONTINUE
CALL PAGE(20.,22.,0, 0, 0)
CALL REGION(1.,3.,18.,12.,
* 'ВЫСОТА В КМ, ДАВЛЕНИЕ В НЬЮТОН/КВ.М', 35, 0)
CALL MINMAX(P, 300, AMN, AMX)
CALL LIMITS(1.,300.,AMN, AMX)
CALL YLGAX(Z(1),'PRESSURE', 8, 0, 5, 1)
CN = COORD(1000.,1)
CALL XAXIS(CN, 'ALTITUDE', 8, 0.,1, 0, 1)
CALL LGLINE(Z, P, 300,-1, 1, 0, 0)
CALL LINEMO(Z, P, 300, 3,10)
CALL YAXIS(200.,'P',1, 0.,2, 0, 4)
CALL ENDPG('4.5')
END

```

4.5. Графики в полярной системе координат

Наряду с декартовыми координатами широко используется полярная система координат. В настоящем параграфе читатель может познакомиться с программами Графора, которые позволяют рисовать графики функций, заданных в этой системе координат.

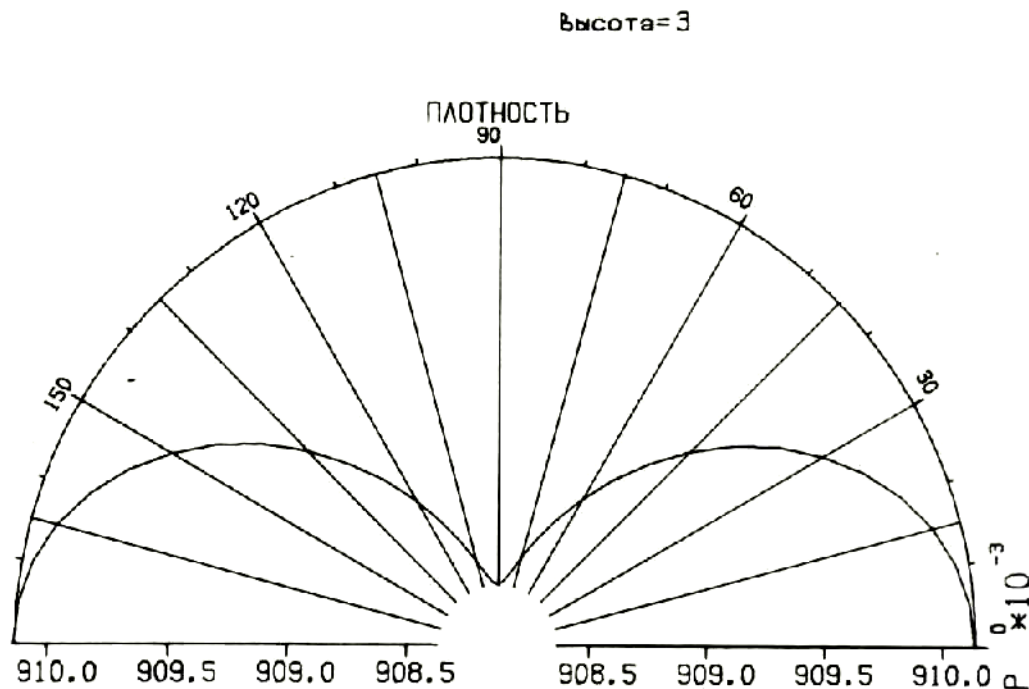
Напомним некоторые общие положения. Если на плоскости зафиксирована точка O (полюс) и задана направленная прямая OX (полярная ось), то с каждой точкой P плоскости, на которой задана полярная система координат, можно связать пару чисел ρ, θ (полярные координаты). Полярный радиус ρ есть длина отрезка OP , а полярный угол θ - величина угла между полярной осью и отрезком OP , причем положительным направлением отсчета углов считается направление противоположное вращению часовой стрелки. Полярные координаты определяются однозначно с точностью до изменения θ на $360^\circ \times n$, где n - любое целое число.

Если на этой же плоскости выбрана система прямоугольных координат с началом в точке O так, что положительное направление оси X совпадает с полярной осью, то, зная полярные координаты точки, можно легко найти значения декартовых координат.

Для этой цели применяются общеизвестные формулы преобразования:

$$x = \rho \cos \theta, \quad y = \rho \sin \theta.$$

При построении графиков в полярной системе координат сохраняются правила и соглашения, принятые для декартовой прямоугольной системы координат. Итак, в пределах страницы можно



THIS IS A 1962 US STANDARD EARTH ATMOSPHERE

Рис. 4.6. Пример графика в полярной системе координат

определить полярную область, в которой будут рисоваться графики. В общем случае полярная область имеет форму кольцевого сектора. Задается полярная область обращением к программе POLREG, являющейся аналогом программы REGION в прямоугольной системе координат. Определение полярной области обязательно.

На рис. 4.6 приведен пример графика в полярной системе координат. Он описывает зависимость плотности атмосферы Земли от широты на некоторой заданной высоте.

Программа POLREG(X, Y, RIN, RFN, THO, THF, NAME, N, H, J) позволяет определить на заданной странице полярную область для построения графиков. Параметры программы:

X, Y - координаты центра области в выбранных единицах измерения;

RIN, RFN - внутренний и внешний радиусы в выбранных единицах измерения, $RFN - RIN \geq 0.5$ см;

THO, THF - минимальный и максимальный углы, определяющие радиальные граничные значения области (углы задаются в градусах), $360^\circ \geq THF - THO \geq 5^\circ$;

NAME - название области;

|N| - количество литер в названии (если $N > 0$, название области выписывается вдоль оси Y, если $N < 0$ - вдоль оси X);

H - высота литеры (если $H \leq 0$, высота принимается равной 0.5 см);

J - признак очерчивания границ области: J = 0 - границы не очерчиваются, J = 1 - очерчиваются.

Для задания математического пространства используется программа LIMITS. Однако параметры этой программы имеют теперь другой смысл.

Программа LIMITS(RIN, RFN, THO, THF) позволяет зафиксировать пределы изменения функции в области рисования. Параметры программы:

RIN - математическое значение радиуса, соответствующее внутренней круговой границе области;

RFN - математическое значение радиуса, соответствующее внешней круговой границе области;

THO - математическое значение угла, соответствующее начальному радиальному граничному значению области;

THF - математическое значение угла, соответствующее конечному радиальному граничному значению области.

Как и при работе в прямоугольной системе координат, для определения пределов изменения функции и ее аргумента можно воспользоваться программой MINMAX.

Построение графиков в полярной области осуществляется с помощью программы POLINE. Кроме того, имеется возможность построить полярные оси координат и, если необходимо, провести координатные линии (координатную сетку).

Программа POLINE(R, TH, N, KS, NM, JS, L) позволяет в заданной полярной области начертить кривую. Параметры программы:

R - массив радиусов;

TH - массив углов (в градусах или радианах в зависимости от KS);

N - количество точек (при $N < 0$ кривая может выходить за пределы области);

|KS| - шаг по массиву данных (если $KS > 0$, углы задаются в радианах, если $KS < 0$ - в градусах);

|NM| - номер маркера (если $NM < 0$, изображается маркер уменьшенных размеров);

|JS| - шаг маркировки (если $JS > 0$, проводится линия с маркерами, если $JS = 0$ - без маркеров, если $JS < 0$, изображаются только маркеры);

L - признак замкнутости: $L = 0$ - незамкнутая кривая, $L = 1$ - замкнутая кривая.

Провести и разметить в полярной области радиальные и угловые оси координат можно с помощью программ RAXES и THAXES. Оси маркируются с заданным шагом и математическое значение, соответствующее основному делению, фиксируется на графике. Величина шага задается в математических единицах или выбирается автоматически. Разрешается не более десяти основных делений на радиальной оси и до 72 основных делений на угловой оси. Допускается не более двенадцати вспомогательных делений внутри основного.

Численное значение, приписываемое основным делениям, может состоять из шести целых и трех дробных знаков. При необходимости проводится масштабирование и указывается масштабный коэффициент вида $\cdot 10^{\pm n}$ вслед за названием оси. Для перевода математических координат точки в полярной области в координаты на странице имеется программа TPF.

Программа RAXES(NAME, N, H, UR, KR, MR, T) позволяет провести и разметить радиальную ось. Параметры программы:

NAME - название оси;

|N| - количество литер в названии: $N > 0$ - название оси пишется справа от области вдоль оси Y, $N < 0$ - внизу;

|H| - высота литер в названии (если $H = 0$, высота полагается равной 0.4 см, если $H < 0$, ось не проводится);

UR - размер основного деления на радиальной оси (если $UR = 0$, то производится автоматический выбор шага);

|KR| - количество вспомогательных делений внутри основного (если $KR < 0$, математические значения не подписываются);

MR - признак проведения радиальных координатных линий:

MR = 0 - координатные линии не проводятся,

MR = 1 - через основные деления проводятся дуги окружностей,

MR = 2 - через основные и вспомогательные деления проводятся дуги окружностей (через вспомогательные - штриховой линией);

T - математическое значение угла (в градусах), под которым проводится ось.

Программа THAXES(NAME, N, H, UT, KT, MT, R) позволяет провести и разметить угловую ось. Параметры программы:

NAME - название оси;

|N| - количество литер в названии (если $N > 0$, название оси пишется справа от области вдоль оси Y, если $N < 0$, название оси пишется внизу);

$|H|$ - высота литер в названии (если $H = 0$, высота полагается равной 0.4 см, если $H < 0$, ось не проводится);

UT - размер основного деления по угловой оси (в градусах)
(если $UT = 0$, производится автоматический выбор шага);

$|KT|$ - количество вспомогательных делений внутри основного (если $KT < 0$, математические значения не подписываются);

MT - признак проведения угловых координатных линий:

$MT = 0$ - координатные линии не проводятся,

$MT = 1$ - координатные линии проводятся через основные деления,

$MT > 1$ - внутри основного деления проводится $MT - 1$ угловых координатных линий;

R - математическое значение радиуса, с которым проводится ось.

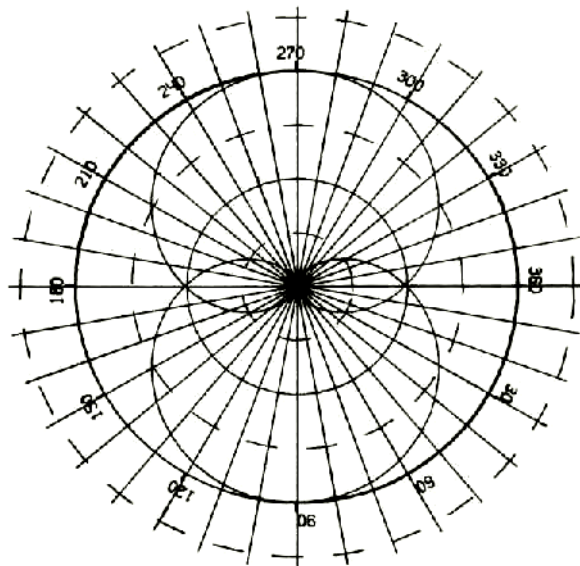


Рис. 4.7. Две кардиоиды в полярной системе координат

Программа TPF(RM, TM, KN, RF, TF, X, Y) позволяет перевести математические координаты точки в полярной области в координаты на странице. Параметры программы:

RM - математическое значение радиуса;

TM - математическое значение угла;

KN - признак угла: $KN = \pm 1$ - угол задан в градусах, $KN = \pm 2$ - угол задан в радианах, $KN < 0$ - точка может находиться за пределами области, $KN > 0$ - точка, попадающая за пределы области, проецируется на границу области;

RF - расстояние точки от центра области в выбранных единицах измерения;

TF - угол между полярным радиусом и осью X (в градусах);

X, Y - координаты точки на странице.

Здесь выходные параметры: RF, TF, X, Y .

В программах RAXES и THAXES используется служебная программа SIGNA.

На рис. 4.7 показаны две кардиоиды, симметричные относительно оси X . Ниже приводится программа, с помощью которой выполнен этот рисунок.

```
DIMENSION R(180), T(180)
DO 1 I = 1, 180
  T(I) = 2. * I - 2.
1 R(I) = 1. + SIN(T(I) * .01745329)
CALL PAGE(15., 15., 0, 0, 0)
CALL POLREG(7.5, 7.5, 0., 6., 0., 360., 0, 0, 0, 0)
CALL LIMITS(0., 2.6, 0., 360.)
CALL POLINE(R, T, 180, -1, 1, 0, 1)
CALL LIMITS(0., 2.6, 360., 0.)
CALL POLINE(R, T, 180, -1, 1, 0, 1)
CALL THAXES('HEARTS', -6., 35, 30., 1, 3, 2.)
```

```
CALL RAXES(0, 0, 0., 1., -2, 2, 0.)  
CALL ENDPG('4.7')  
END
```

4.6. Гистограммы и календарная ось

Читатель, несомненно, встречался с таким способом представления информации, как *гистограмма* или столбчатая диаграмма. Это один из видов графического изображения статистических распределений по количественному признаку. Гистограмма представляет собой совокупность смежных прямоугольников (столбиков), построенных на одной прямой линии. Высота каждого прямоугольника пропорциональна частоте нахождения данной величины в изучаемой совокупности.

В Графоре предусмотрено два слегка отличающихся способа построения гистограмм (программы HISTGM и BARS). Программа BARS позволяет одновременно строить две связанные зависимости (например, выпуск автомобилей, в том числе легковых). При этом одна из зависимостей, а именно та, которая представляет собой часть, выделяется штриховкой. Того же можно добиться и с помощью программы HISTGM, но за два обращения к ней. В программе HISTGM гистограмма строится относительно заданного базисного уровня (например, за 100% принят уровень 1940 года).

В связи с гистограммами довольно часто используется так называемая *календарная ось*. Программа AXISC позволяет построить такую ось, на которой пометками являются сокращенные (трехбуквенные) названия месяцев. Календарная ось может быть проведена как по нижней, так и по верхней границам области.

В Графоре принято определять место графика на странице и пределы изменения аргумента и функции в обращениях к программам REGION и LIMITS. Эти соглашения полностью применимы и к программам, которые описаны в настоящем параграфе. Некоторым исключением является программа AXISC, при вызове которой указывается информация, заменяющая пределы.

Программа AXISC(NAME, NC, MMIN, MS, NM) позволяет провести и разметить календарную ось. Параметры программы:

NAME - название оси (обычно указывается год);

NC - количество литер в названии;

MMIN - номер месяца для первого деления оси;

MS - шаг по месяцам;

[NM] - количество делений на календарной оси (если NM > 0, ось проводится по нижней границе области, если NM < 0 – по верхней, если NM = 0, ось не рисуется).

Размер каждой буквы в названиях месяцев зависит от фактической ширины деления и выбирается в пределах от 0.1 см до 0.4 см. Высота литеры в названии равна 0.5 см.

Программа HISTGM(XS, DX, Y0, YV, N, NP1) позволяет построить гистограмму относительно заданного базисного уровня. Ее параметры:

XS - абсцисса первого прямоугольника;

DX - ширина одного столбика гистограммы;

Y0 - базисный уровень, относительно которого строится гистограмма;

YV - вектор значений функции длины N;

[N] - количество столбиков в гистограмме (если N > 0, штриховка отсутствует, если N < 0, штриховка слева направо);

NP1 - количество линий штриховки на 1 см.

Высота каждого прямоугольника равна YV(I) - Y0, где I = 1, 2, ..., N. На высоте Y0 проводится базисная линия.

Программа BARS(Y, YP, N, W, IHAT, NP1) позволяет построить гистограмму для двух зависимостей. Параметры программы:

Y - вектор значений функции длины N;

YP - вектор значений функции (часть от Y) длины N;

N - количество столбиков в гистограмме;

W - ширина одного столбика гистограммы;

IHAT - признак штриховки для столбиков, определяемых YP:

IHAT = 1 - штриховка отсутствует, IHAT = 2 - штриховка слева направо, IHAT = 3 - штриховка справа налево, IHAT = 4 - штриховка в обоих направлениях;

NP1 - количество линий штриховки на 1 см.

Программа BAR(X,Y, H,W, SH, IHAT, NP1) позволяет построить один столбик гистограммы и заштриховать его часть. Параметры программы:

X, Y - математические координаты левого нижнего угла прямоугольника;

H - высота прямоугольника;

W - ширина прямоугольника;

SH - высота части прямоугольника, подлежащая штриховке;

IHAT - признак штриховки: IHAT = 1 - штриховка отсутствует, IHAT = 2 - штриховка слева направо, IHAT = 3 - штриховка справа налево, IHAT = 4 - штриховка в обоих направлениях;

NP1 - количество линий штриховки на 1 см.

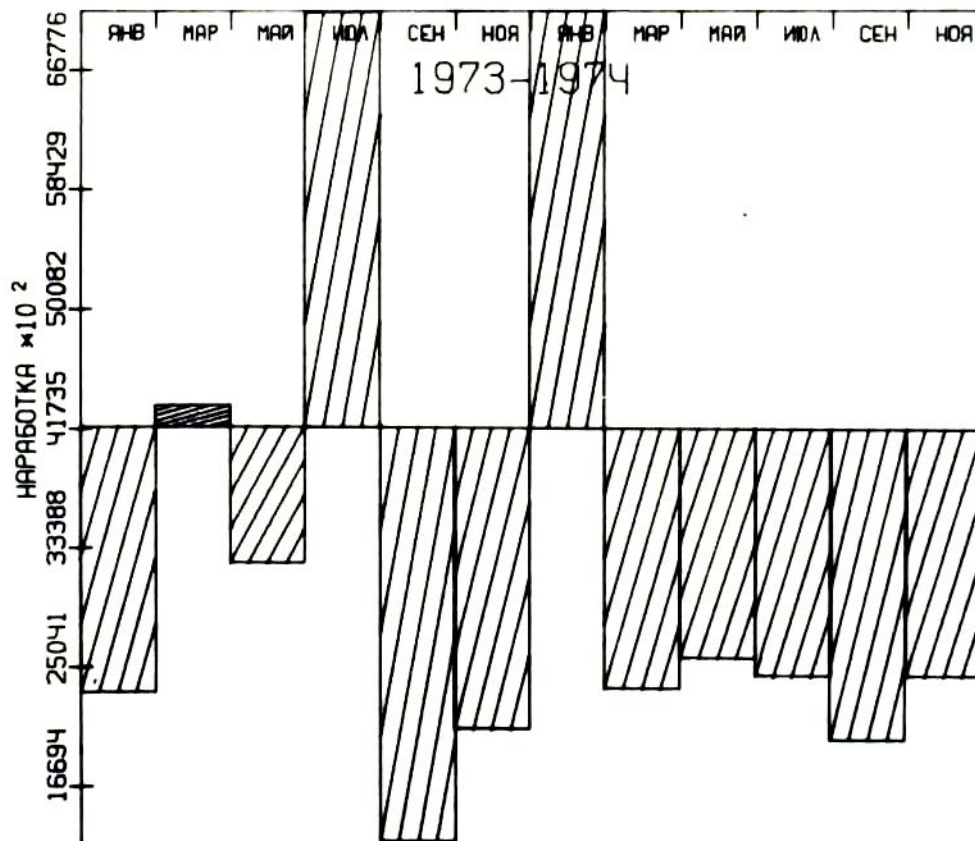


Рис. 4.8. Пример, иллюстрирующий работу программы HISTGM.

На рис. 4.8 иллюстрируются возможности программ AXISC и HISTGM. Гистограммы показывают так называемую наработку на магнитофонах БЭСМ-6. (Использовалась статистическая информация, собираемая ОС Диспак). Рис.4.8 получен как результат работы следующей программы:

```

DIMENSION YV(12)
C.....МАССИВ YV ВВЕДЕН С КАРТ
CALL MINMAX(YV,12,YMN,YSX)
Y0 = (YMN + YSX) / 2
SM = (YMN +YSX) /10
CALL PAGE(15.,15.,'PAGE',4, 0)
CALL REGION(1.,0.,12.,11.,0, 0, 0)
CALL LIMITS(0.,12.,YMN,YSX)
CALL YAXIS(0.,'НАРАБОТКА', 9, SM, 0, 0, 1)
CALL AXISC('1973/1974', 9, 1, 2,-12)
CALL HISTGM(0.,1.,Y0,YV,-12, 4)
CALL ENDPG('4.8')
END

```

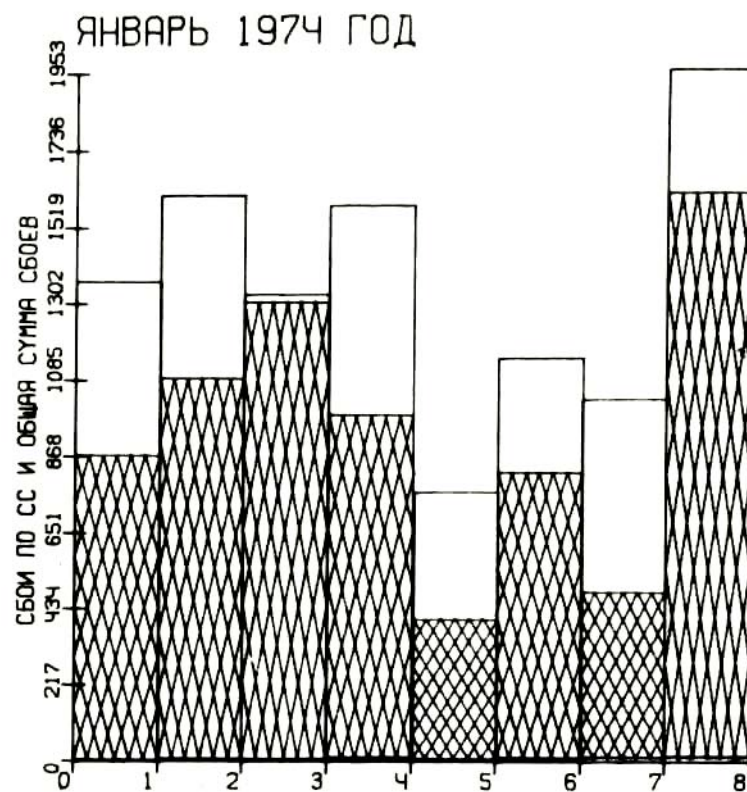


Рис. 4.9. Изображение гистограмм, построенных с помощью программы BARS.

На рис.4.9 исследуется характер сбоев на магнитофонах БЭСМ-6. Гистограммы строятся программой BARS.