

+

Борисовская Э. В. учр.

Б1-9-85-232



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЦС 8409

4494/85

Б 1-9-85-232

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 85г.

## Содержание

- I. Введение
  - I.1 Система единиц
  - I.2 Структура системы программы MAGSYS
  - I.3 Формат входных данных
  - I.4 Пример управляющих карт
2. MAGLIB, исходные данные.
  - 2.1 Магниты циклотронного типа
  - 2.2 Магниты синхротронного типа
3. COILS, исходные данные.
  - 3.1 Обмотки магнитов циклотронного типа
  - 3.2 Обмотки для магнитов синхротронного типа
4. ODIW, исходные данные
5. TRAW, исходные данные
6. Программы графического изображения трехмерных объектов
  - 6.1 MAGDIS
  - 6.2 IZOM
7. Ограничения
8. Вывод на печать
9. Примеры
  - 9.1 Дейтронный циклотрон радиально-секторной структуры (ДЦ-I)
  - 9.2 Дейтронный циклотрон спирально-секторной структуры (ДЦ-II)
  - 9.3 Магнит броневго типа со спиральными полюсными шиммами
  - 9.4 Дипольный магнит
  - 9.5 Квадруполь типа линзы Пановского
  - 9.6 Квадрупольная линза с квадратной апертурой
10. Литература

## I. Введение

Специализированная система программ MAGSYS предназначена для расчетов трехмерных магнитоэстатических полей методом объемных интегральных уравнений. При помощи MAGSYS было проведено численное моделирование циклотронных и синхротронных магнитных систем со сверхпроводящей обмоткой:

магнита броневго типа со спиральными полюсными шиммами;  
 дейтронного циклотронного комплекса с радиально-секторной и спирально-секторной структурой (ДЦ-I и ДЦ-II);  
 дипольных и квадрупольных магнитов /2/, /3/.

В настоящей работе приводится описание новой версии системы программ MAGSYS, которая организована в виде частной библиотеки. Такая форма организации упрощает работу пользователя с системой и дает возможность варьировать параметрами исходных данных. Кроме того, в MAGSYS включена новая программа графического изображения трехмерных объектов на экране дисплея ТЕКПРО/IX-4012.

### I.1 Система единиц

Рассматривается нелинейное векторное интегральное уравнение относительно индукции магнитного поля. В системе "СИ" :

$$\vec{B} - \frac{1}{4\pi} \int_V \frac{(\mu-1)}{\mu} \left[ \frac{3\vec{R}(\vec{B} \cdot \vec{R})}{R^5} - \frac{\vec{B}}{R^3} \right] dV = \vec{B}_c, \quad (I)$$

где  $\vec{R}$  - радиус-вектор между точкой источника и точкой наблюдения;  
 $\mu = \mu(|\vec{B}|)$  - магнитная проницаемость;  
 $\vec{B}_c$  - магнитная индукция токовой обмотки.

Интеграл в (I) является вкладом в индукцию поля от намагниченной среды. Решение (I) определяется лишь в пределах области магнитопровода, которая представляется как совокупность подобластей - конечных элементов - в виде многогранников. В пределах каждого элемента магнитная индукция и, следовательно, магнитная проницаемость предполагаются постоянными. Поле токовой обмотки вычисляется как сумма вкладов от составляющих ее областей - прямоугольных параллелепипедов, прямых призм с основаниями в виде трапеций - с известными аналитическими выражениями распределения поля. В пределах каждой такой области направление и величина плотности тока считаются постоянными.

Уравнение (I) в результате разбиения на конечные элементы сводится к нелинейной алгебраической системе:

$$B_{mn} - \frac{1}{4\pi} \sum_{i=1}^M \left( \frac{\mu_i - 1}{\mu_i} \right) \sum_{j=1}^3 f_{ij}^{mn} B_{ij} = B_{mn}^c \quad (2)$$

- $m = \overline{1, M}$ ,  $M$  – число элементов магнитопровода.
- $n, j = \overline{1, 3}$  – номера компонент векторов.
- $f_{ij}^{mn}$  – функции координат, зависящие от формы конечных элементов. С помощью этих функций вычисляется поле от равномерно намагниченного элемента-источника в центре элемента – наблюдения.
- $B_{mn}^c$  – магнитная индукция от токовой обмотки, вычисляемая в центральной точке конечных элементов.
- $\mu_i$  – магнитная проницаемость элемента-источника.
- $B_{ij}$  – магнитная индукция элемента – источника с номером  $i$ .
- $B_{mn}$  – магнитная индукция в центре элемента – наблюдения с номером  $m$ .

Алгоритм для аналитического вычисления  $f_{ij}^{mn}$  в случае конечных элементов – многогранников – реализован в MAGSYS. Решение нелинейной алгебраической системы (2) с полностью заполненной матрицей осуществляется методом "погружения" в сочетании с методом минимальных невязок [1].

Система единиц представлена в таблице I.

Таблица I. Единицы измерения

Величина	Единица
1. Магнитная индукция	Тл
2. Сила тока	А
3. Энергия	МэВ
4. Частота	МГц
5. Углы	град
6. Размеры магнита	см
7. Радиальный импульс	МэВ/с
8. Сила	МН/м

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

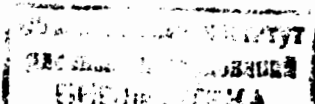
51-9-85-232

З.В.Борисовская, С.Б.Ворожцов, М.Б.Калинкина,  
Н.В.Сергеева

*MAGSYS* - КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ПО РАСЧЕТУ ТРЕХМЕРНЫХ  
МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ЦИКЛОТРОННЫХ И СИНХРОТРОННЫХ  
МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

Дубна, 1985 г.

Руководитель лаборатории  
и заместитель директора  
.. 2. *апрель* 1985г.



## I.2 Структура системы программ MAGSYS

Библиотека программ MAGSYS состоит из следующих программ :

MAGLIB	MAGDIS
COILS	IZOM
ODIN	
MAT	
TRAW	
SUCLOP	

Их взаимодействие осуществляется через систему файлов (TAPE), которые содержат необходимую информацию для работы той или иной программы (рис.1). Назначение каждой программы следующее :

1. MAGLIB - программа подготовки исходных данных по конфигурации магнитопровода, который разбивается на конечные элементы заданного типа (шестигранники или пятиугольники);

2. COILS - подпрограмма подготовки исходных данных по конфигурации обмотки, которая собирается из отдельных элементов, описывающих ее геометрию. Этими элементами являются шестигранники - прямоугольные параллелепипеды и прямые призмы с основаниями в виде трапеций. Программа содержит набор различных обмоток для магнитов циклотронного и синхротронного типа.

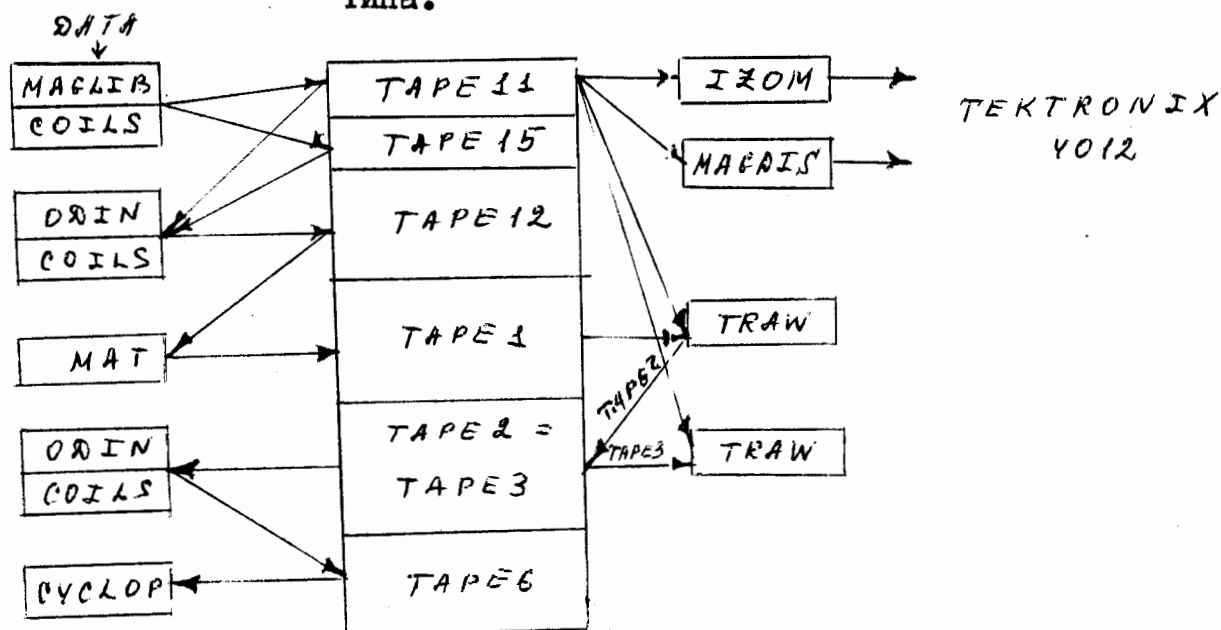


Рис.1

- ТАРЕ II { MM - число элементов магнитопровода  
 MCUR - число токовых элементов  
 IMAG - тип магнитопровода  
 ISHAP - тип многогранников конечных элементов  
 ICOIL - тип обмотки  
 ISYM - вид симметрии  
 VET - массив координат конечных элементов магнитопровода и обмотки.
- ТАРЕ I5 - исходные данные к обмотке
- ТАРЕ I2 { F - матрица геометрии магнитопровода  
 HCR - поле обмотки  
 XM - координаты центра конечных элементов магнитопровода.
- ТАРЕ I { F - преобразованная матрица геометрии магнитопровода  
 HCR - поле обмотки (с ТАРЕ I2)  
 XM - координаты центра конечных элементов магнитопровода (с ТАРЕ I2).
- ТАРЕ2= { T - непрерывный параметр метода погружения  
 ТАРЕ 3 { X - вектор индукции магнитного поля  
 AM - магнитная проницаемость.
- ТАРЕ 6 - исходные данные к программе СУС/ОР.

Результаты работы программ MAGLIB и COILS записываются на файл ТАРЕ II.

3. OPIV - эта программа работает в двух режимах. Первый режим состоит в проведении расчета матрицы геометрии магнитопровода и поля от токовых элементов. При этом используется информация с ТАРЕ II и ТАРЕ I5. Результат записывается на ТАРЕ I2. Второй режим работы - проведение гармонического анализа магнитного поля от магнитопровода и обмотки в медианной плоскости для циклотронов и в плоскости, перпендикулярной оси магнита, для синхротронов. Для этого используются данные с ТАРЕ 2. Одновременно во втором режиме проводится подготовка исходной информации к программе СУС/ОР (для циклотронов) на ТАРЕ 6.

4. MAT - программа преобразования матрицы задачи (с ТАРЕ I2). Преобразованная матрица записывается на ТАРЕ I.

5. TRAW - программа, в которой решается система нелинейных алгебраических уравнений для нахождения намагниченности каждого элемента магнитопровода. В ней реализован метод "погружения". Программа TRAW использует информацию с ТАРЕ II и ТАРЕ I, результат записывается на ТАРЕ 2.

6. CYCLOP – программа расчета равновесных орбит, частот поперечных колебаний  $Q_R$ ,  $Q_z$ , параметров матрицы Твисса, частот обращения частиц в полученном поле для циклотронов. Использует информацию с TAPE 6.

7. MAGDIS – программы графического построения трехмерных объектов. IZOM Работают с TAPE II.

### I.3. ФОРМАТ ВХОДНЫХ ДАННЫХ.

Все исходные данные задаются с помощью фортранной программы NAMELIST, подробное описание которой приведено в /9/. Отметим только основные правила ее использования:

1. Все входные перфокарты в первой позиции имеют пробел;
2. Во второй позиции пробивается символ \$, затем следует имя списка параметров, далее – сам список параметров, которые отделены друг от друга запятой;
3. Между \$ и именем списка, а также в самом имени и идентификаторах переменных (параметров) списка пробелы запрещены;
4. Входная информация заканчивается символом \$.

Пример. \$ XYZ, X=10., Y=0.5, Z=6., NOM=8 \$

Возможна и другая форма задания исходных данных :

```
$ XYZ, X=10.,
      Y=0.5,
      Z=6.,
      NOM=8,
$ END
```

### I.4. Пример пакета управляющих карт.

Библиотека программ MAGDIS хранится на системном диске и на ленте 92966

Диск	Лента
ШИФР, TL ... . ФАМИЛИЯ	ШИФР, TL ..., NTI. ФАМИЛИЯ
ACCOUNT, ...	
REDUCE.	
REQUEST, TAPE11, *PF.	
REQUEST, TAPE15, *PF.	
REQUEST, TAPE1, *PF.	
REQUEST, TAPE2, *PF.	
REQUEST, TAPE6, *PF.	



Диск	Лента
ATTACH, LIB, MARSYS, ID = LNPNV, CY = 01, MR = 1.	REQUEST, DUMTAPE, S, E, NT, VSN = 92966, NORING.
LIBRARY, LIB.	LOADPF, PF = MARSYS, ID = IW, CY = 01. UNLOAD, DUMTAPE. RETURN, DUMTAPE. ATTACH, LIB, MARSYS, ID = IW, CY = 01. PURGE, LIB. LIBRARY, LIB.

LDSET, PRESET = ZERO.  
MAGLIB.

CATALOG, TAPE11, PF, ... → для MARSIS, IZOM, OJIN, TRAW

LDSET, PRESET = ZERO.  
OJIN.

Первый режим

LDSET, PRESET = ZERO.  
MAT.  
RETURN, TAPE12.

CATALOG, TAPE1, PF, ... → для TRAW

ATTACH, C, LIBCERN, ID = LCST, MR = 1.  
LIBRARY, LIB, C.  
LDSET, PRESET = ZERO.  
TRAW.

CATALOG, TAPE2, PF1, ... → для OJIN и продолжения счета  
TRAW в случае нехватки времени

LDSET, PRESET = ZERO.  
OJIN.

Второй режим

CATALOG, TAPE6, PF, ... → для CYCLOP

REWIND, TAPE6.  
LDSET, PRESET = ZERO.  
CYCLOP.

для циклотронов

```

7 / 8 / 9 -----
                Данные к ОЦИВ
7 / 8 / 9 -----
                Данные к ТРАУ
7 / 8 / 9 -----
                Данные к ОЦИВ
-----

```

В случае, если программа ТРАУ из-за недостатка времени проработала не до конца, необходимо сделать следующее:

```

ATTACH, TAPE11, PF, ...
ATTACH, TAPE15, PF, ...
ATTACH, TAPE1, PF, ...
ATTACH, TAPE3, PF1, ...
ATTACH, C, LIBCERN, ID = АСТА, MR = 1.
LIBRARY, LIB, C.
LDSET, PRESET = ZERO.
TRAU.
RETURN, TAPE1, TAPE3.
-----

```

## 2. MAGLIB, исходные данные.

Для задания конфигурации магнитопровода служит параметр  $IMAG$ :

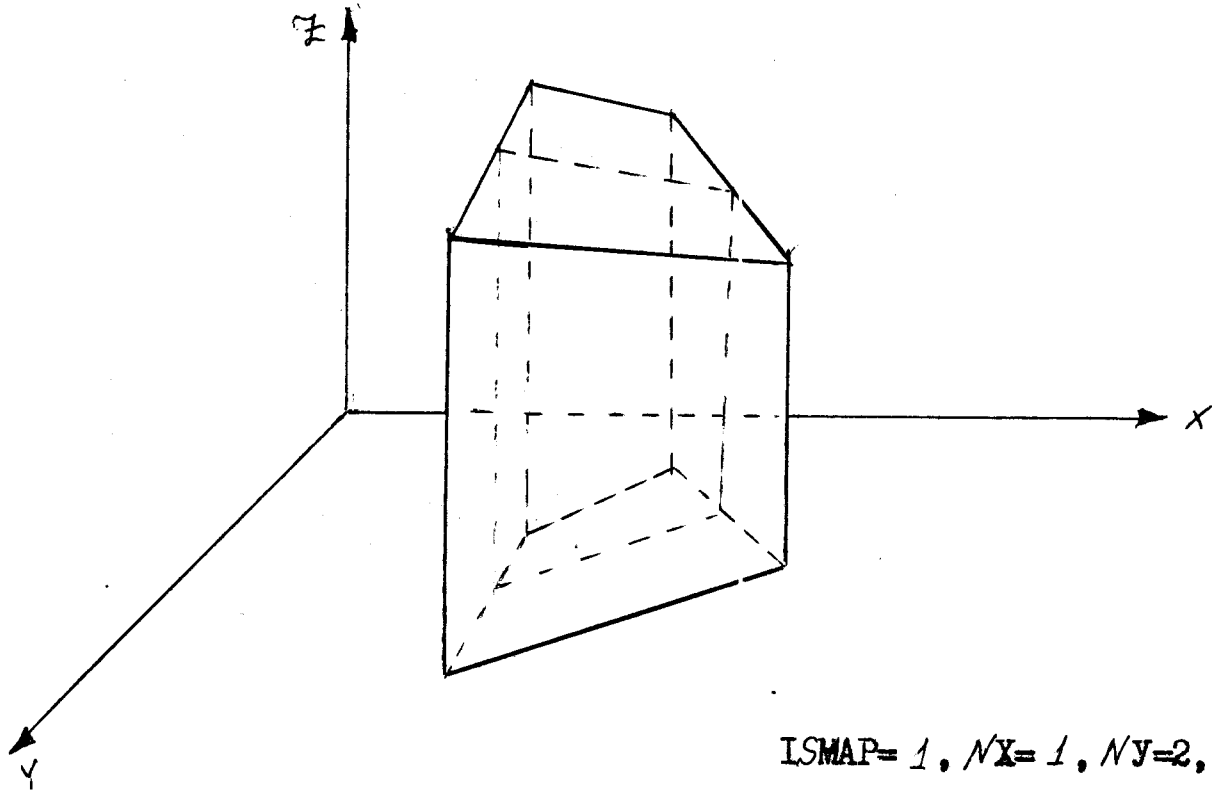
$IMAG = \begin{cases} 1 - \text{магниты синхротронного типа} \\ 3 - \text{магниты циклотронного типа} \end{cases}$

Параметры  $ISUMX$ ,  $ISUMY$ ,  $ISUMZ$  задают симметрию магнита относительно осей координат.

$ISUMX, ISUMY, ISUMZ = \begin{cases} 1 - \text{симметрия} \\ 0 - \text{нет отражений} \\ -1 - \text{антисимметрия} \end{cases}$

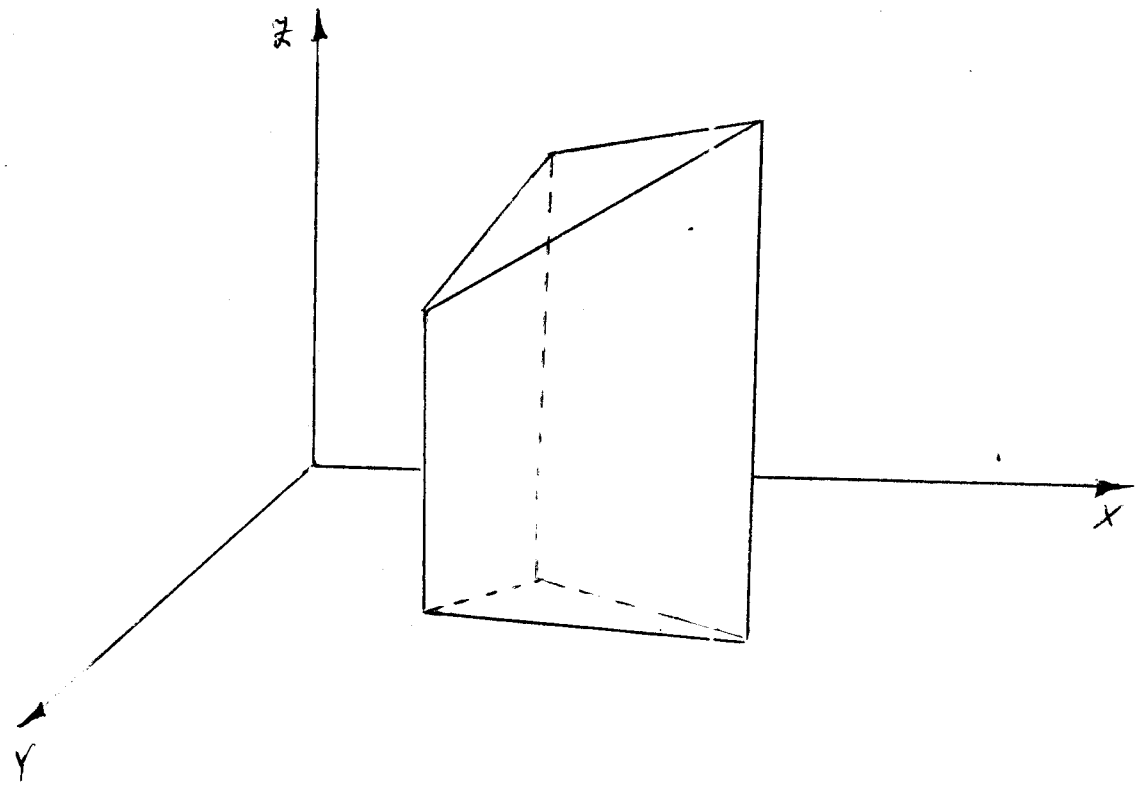
В программе магнитопровод делится на области, которые в дальнейшем подвергаются разбиению на конечные элементы. Количество таких областей задается параметром  $NREG$ , а параметры  $NX$ ,  $NY$  и  $NZ$  определяют число разбиений по осям  $X, Y, Z$  каждой области (см. рис. 2). Параметр  $ISHAP$  задает тип многогранников - конечных элементов.

$ISHAP = \begin{cases} 1 - \text{шестигранники (рис.2)} \\ 2 - \text{пятигранники (рис.3)} \end{cases}$



ISMAP= 1, NX= 1, NY=2, NZ= 1

Рис.2



ISMAP=2, NX=1, NY=1, NZ= 1

Рис.3

## 2.1 Магниты циклотронного типа.

Для задания конфигурации магнитов циклотронного типа вводится система координат, представленная на рис.4. Магнитные системы в этом случае, как правило, состоят из нескольких одинаковых секторов, расположенных на разных углах вращения (см. рис.4). Поэтому достаточно описать только один сектор, находящийся в первом квадранте, задав для этого параметр  $N_{ROT}$ , равный числу вращений его вокруг центра координат. Из рис.4 ясно, что для задания полной магнитной системы здесь вполне достаточно описать даже половину сектора, введя для этого  $ISUMX=1$ ,  $N_{ROT}=4$

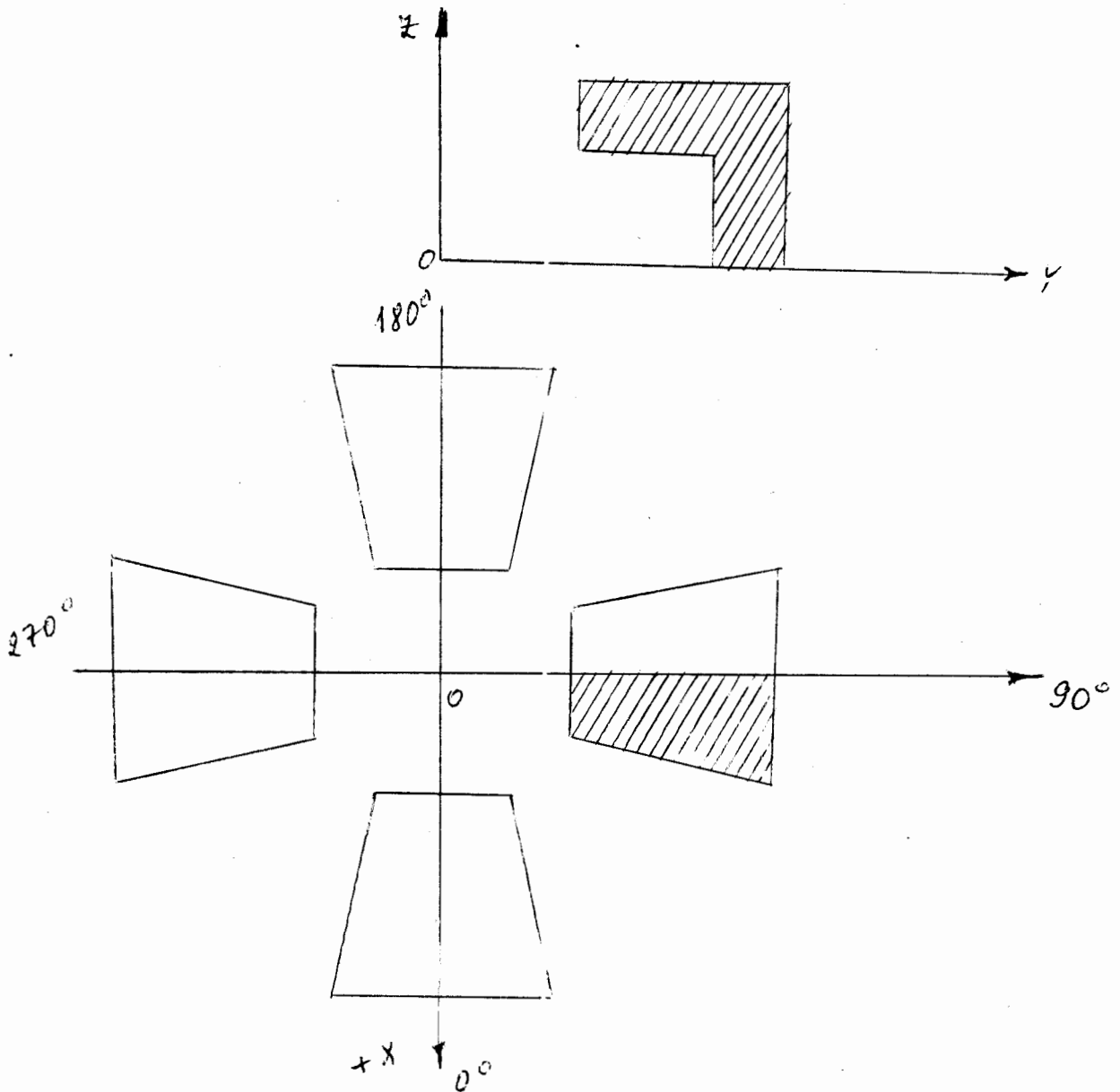
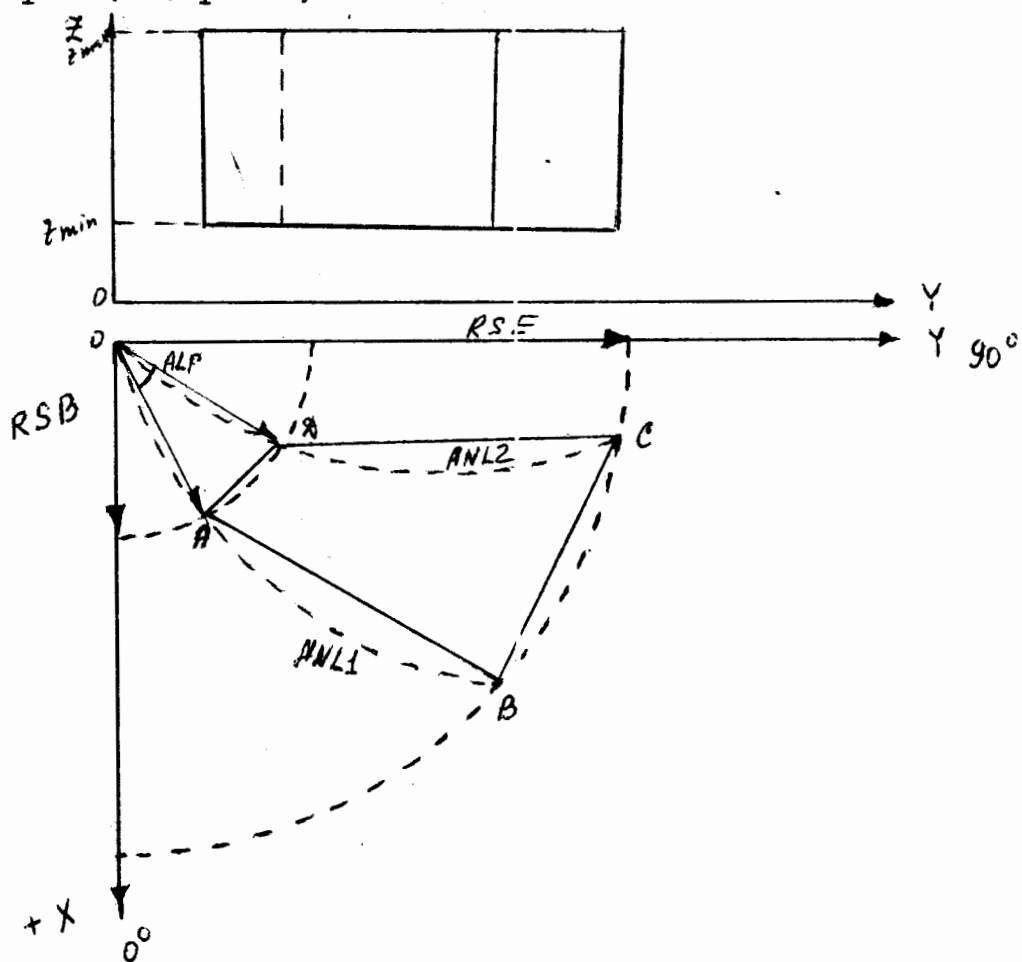


Рис.4

Для вычисления координат вершин конечных элементов-шестигранников — служит набор подпрограмм :

SPIRAL  
 POKER  
 POKER1  
 YOKE

2.1.1 Подпрограмма SPIRAL требует задания следующих параметров (см. рис.5)



- $RSB$  — начальный радиус спирали  
 $RSE$  — конечный радиус спирали  
 $NY$  — число разбиений по радиусу  
 $ALP$  — угол от одной границы спирали до другой  
 $NA$  — число разбиений по углу  $ALP$  ( $NA \leq 2$ ),  
 по умолчанию  $NA = 1$ .

Рис.5

$$NA \leq 2$$

При  $NA = 1$  задаются параметры :

$ANL 1$  - спиральность верхней границы (AB)

$ANL 2$  - спиральность нижней границы (DC)

При  $NA = 2$

$ANL 1$  - спиральность верхней

$ANL 2$  - спиральность средней

$ANL 3$  - спиральность нижней

$NZ$  - число разбиений по оси  $Z$  (по умолчанию  $NZ = 1$ ).

Необходимо также задать  $Z_{min}$  и  $Z_{max}$ .

2.1.2 PУOKEP - подпрограмма вычисления координат вершин конечных элементов, представленных на рис.6, где даны их проекции на плоскости  $YOZ$  и  $XOY$

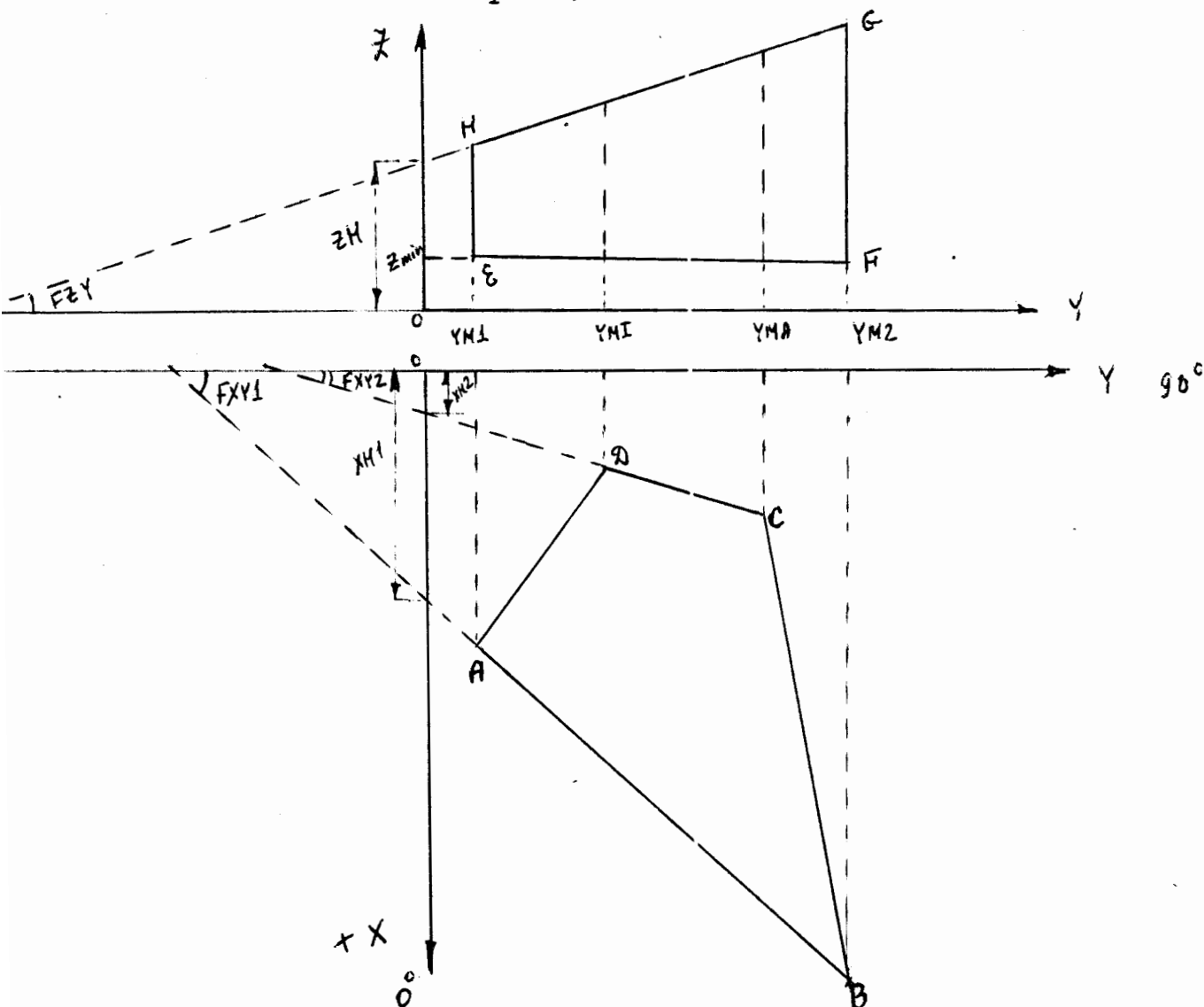


Рис.6

В этом случае необходимо указать следующие параметры :

$УМ1, УМ2$  - проекции вершин А и В на ось  $У$

$УМ1, УМ2$  - проекции вершин Д и С на ось  $У$

$ЗМ1$  - проекция вершин Е и F на ось  $З$

$NУ$  - число разбиений по оси  $У$

$FХУ1, FХУ2$  - тангенсы углов наклона между положительным направлением оси  $У$  и прямыми АВ и СД соответственно.

$ХН1, ХН2$  - отрезки, отсекаемые на оси  $Х$  прямыми АВ и СД соответственно.

За первую сторону (с параметрами  $FХУ1, ХН1$ ) принимается та (АВ), которая проходит через вершины, лежащие выше главных диагоналей четырехугольника. Вторая сторона должна проходить через вершины, лежащие ниже главных диагоналей.

$FZY$  - тангенс угла наклона между положительным направлением оси  $У$  и прямой  $HG$  (в плоскости  $УOZ$ ).

$ЗН$  - отрезок, отсекаемый на оси  $З$  прямой  $HF$ .

По умолчанию  $УМ1=УМ1, УМ2=УМ2$ .

2.1.3 Подпрограмма PУOKER 1 предназначена для вычисления координат вершин конечных элементов типа (рис.7) :

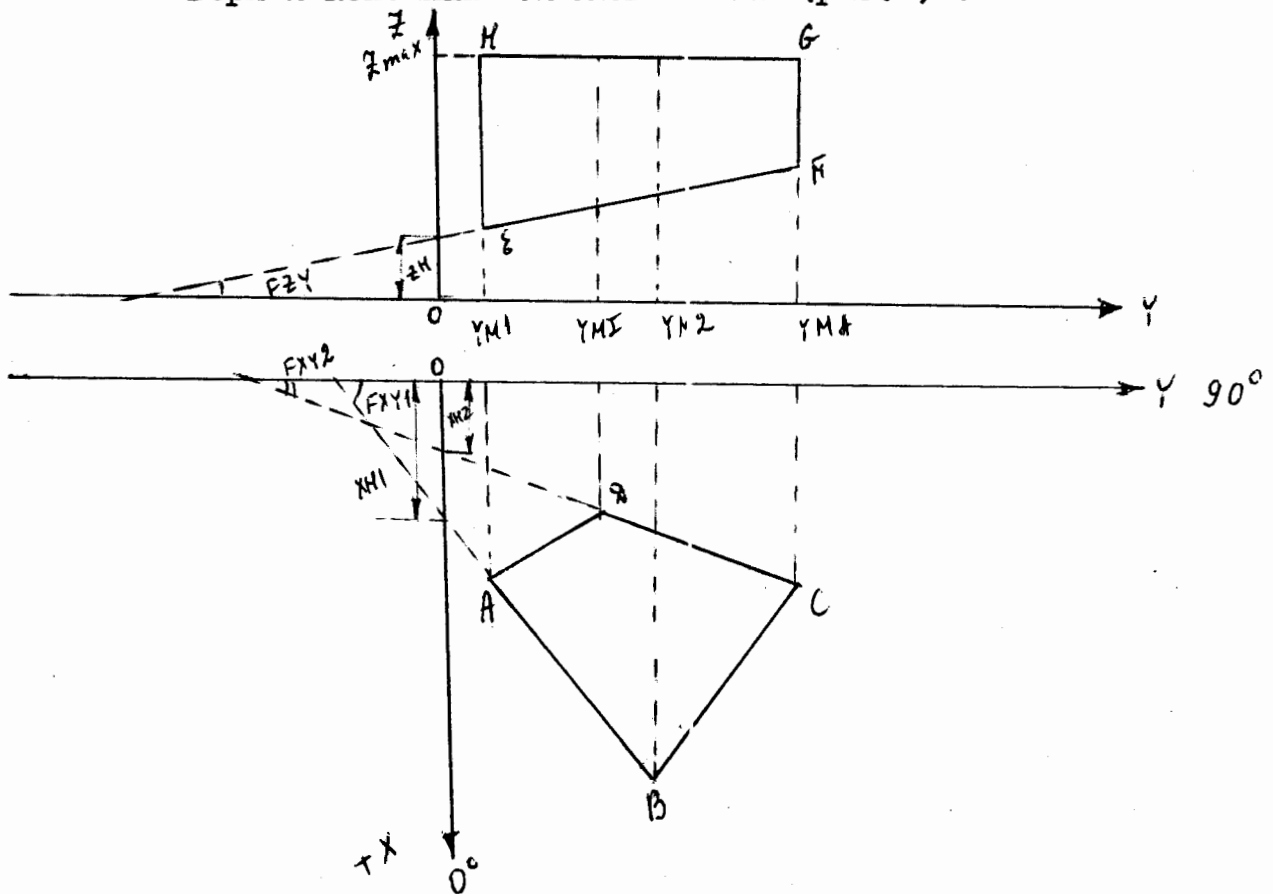


Рис.7

Здесь необходимо указать следующие параметры, смысл которых указан в разделе 2.1.2 :  $УМ1, УМ2, УМ1, УМ2, ЗМ1, NУ,$

$FХУ1, ХН1, FХУ2, ХН2, FZY, ЗН, ХН1, ХН2$

2.1.4 УОКЕ - подпрограмма для вычисления координат вершин прямоугольных параллелепипедов. Она требует задания следующих параметров:

$XMI, XMA, YMI, YMA, ZMI, ZMA, NX, NY, NZ$

( $NX=1, NY=1, NZ=1$  по умолчанию).

Эта подпрограмма является частным случаем РУОКЕР и РУОКЕР1.

При  $ISHAP=2$  происходит автоматическое деление вышеописанных шестигранников при помощи диагональных плоскостей на четыре пятигранника.

Таким образом, каждая из областей магнитопровода характеризуется следующими параметрами:

$NUMBER$  - порядковый номер области  
 $NSUB$  - порядковый номер подпрограммы.

$NSUB = \begin{cases} 1 & - \text{SPIRAL} \\ 2 & - \text{РУОКЕР} \\ 3 & - \text{РУОКЕР1} \\ 4 & - \text{УОКЕ} \end{cases}$

Для магнитов циклотронного типа исходные данные объединены следующим образом:

$\$ TIRON \_ IMAG = , ISHAP = , ISYMX = , ISYMY = , ISYMZ = , NROT = \$$

$\$ PROB \_ NREG = \$$

$\$ REGION \_ NUMBER = , NSUB = \$$

$\$ XYZ \_ XMI = , XMA = , YMI = , YMA = , ZMI = , ZMA = , NX = , NY = , NZ = \$$

$\$ GMT \_ YM1 = , YM2 = , FXY1 = , XM1 = , FXY2 = , XM2 = , FZY = , ZH = \$$

$\$ RSS \_ RSB = , RSE = , ANL1 = , ANL2 = , ANL3 = , ALP = , NA = \$$



Порядок задания исходных данных :

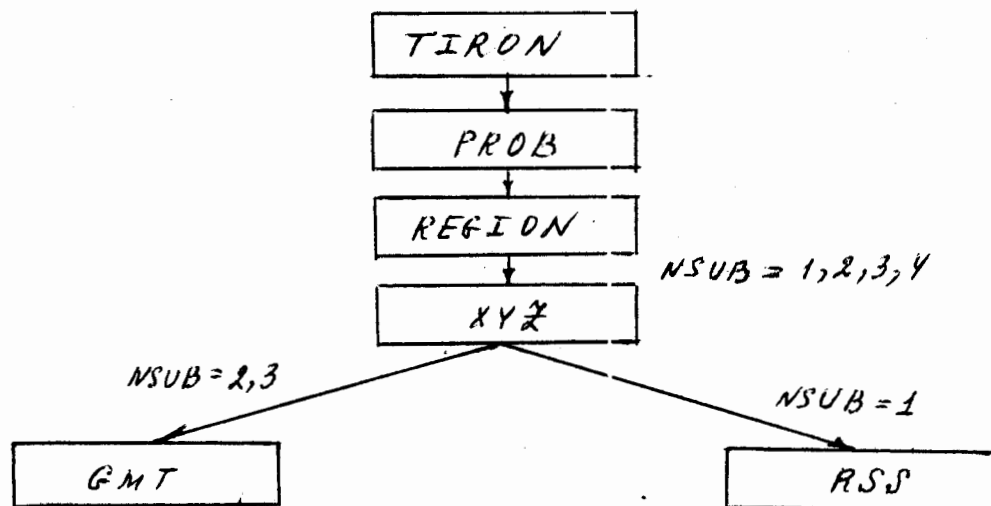


Рис.8

## 2.2 Магниты синхротронного типа.

Конечными элементами, составляющими магнитопровод синхротронного типа, служат прямоугольные параллелепипеды ( $ISHAP = 1$ ) или прямые треугольные призмы ( $ISHAP = 2$ ), т.е. для всех областей  $NSUB = 4$ . Этот параметр можно не задавать, подпрограмма УОКЕ вызывается по умолчанию.

Исходные данные задаются в следующем порядке :

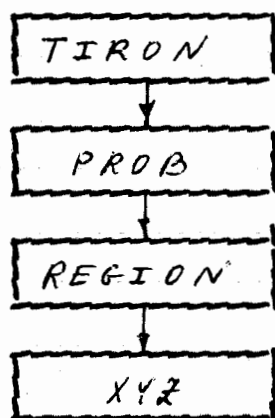


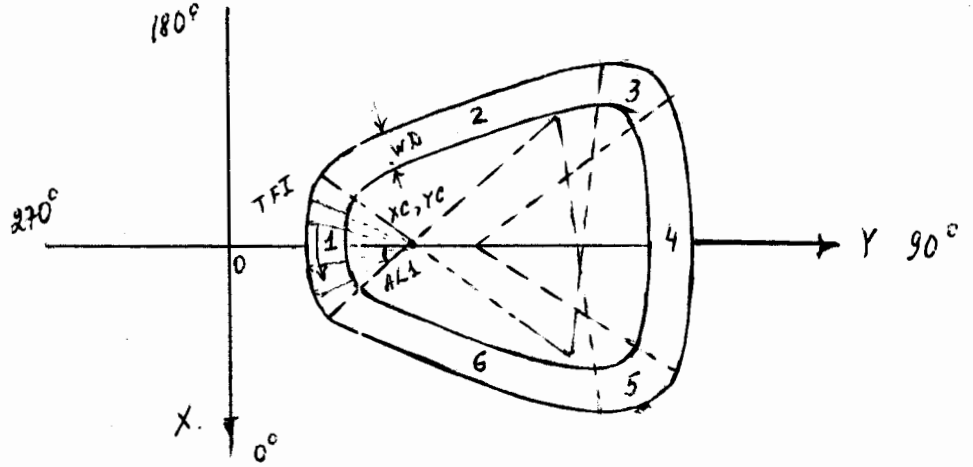
Рис.9

3. COILS, исходные данные.

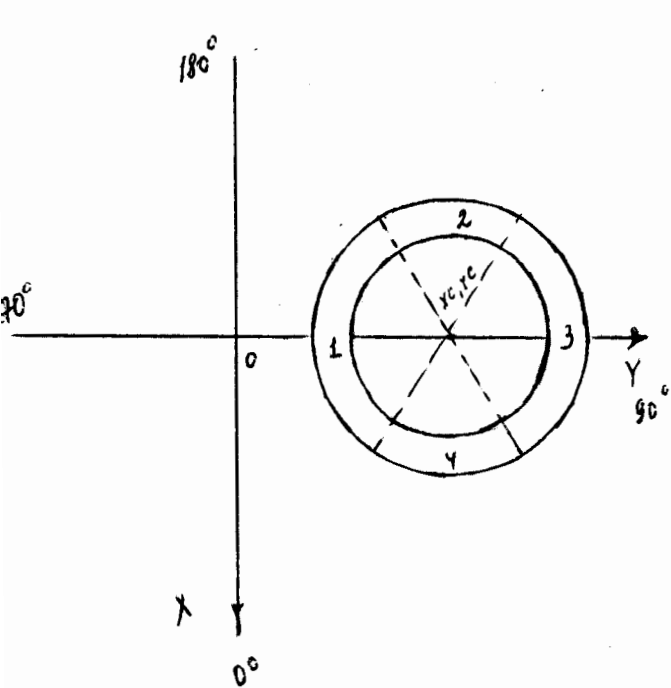
3.1 Обмотки для магнитов циклотронного типа ( $\text{IMA } \ell = 3$ )

Для задания конфигурации обмотки служит параметр ICOIL

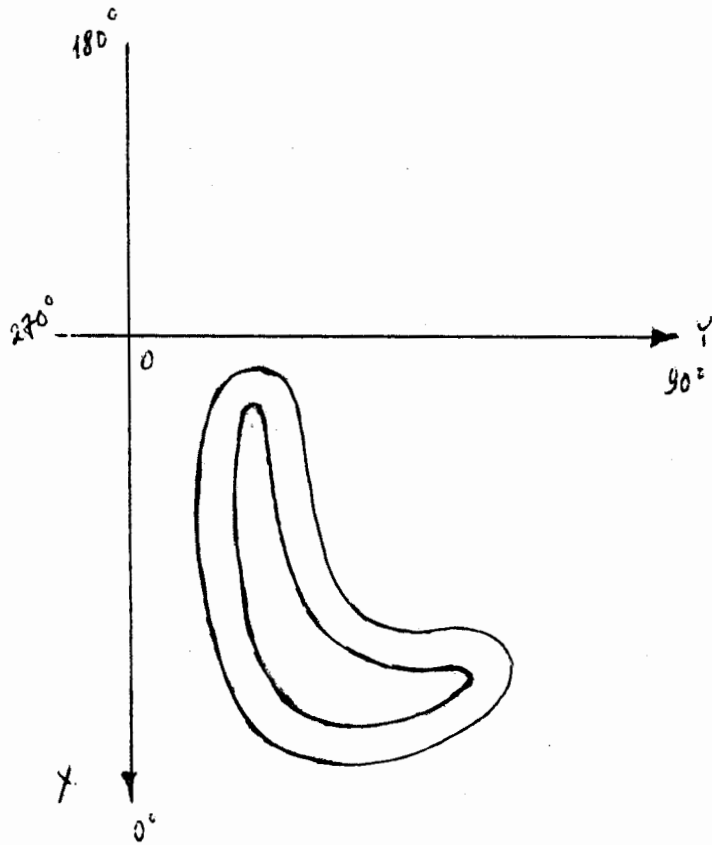
- ICOIL =
- 1 - радиально-секторная, кольцевая, спиральная (рис. 10)
  - 2 - двухсекционная радиально-секторная, кольцевая, спиральная



а) радиально-секторная



б) кольцевая



в) спиральная

Рис. 10

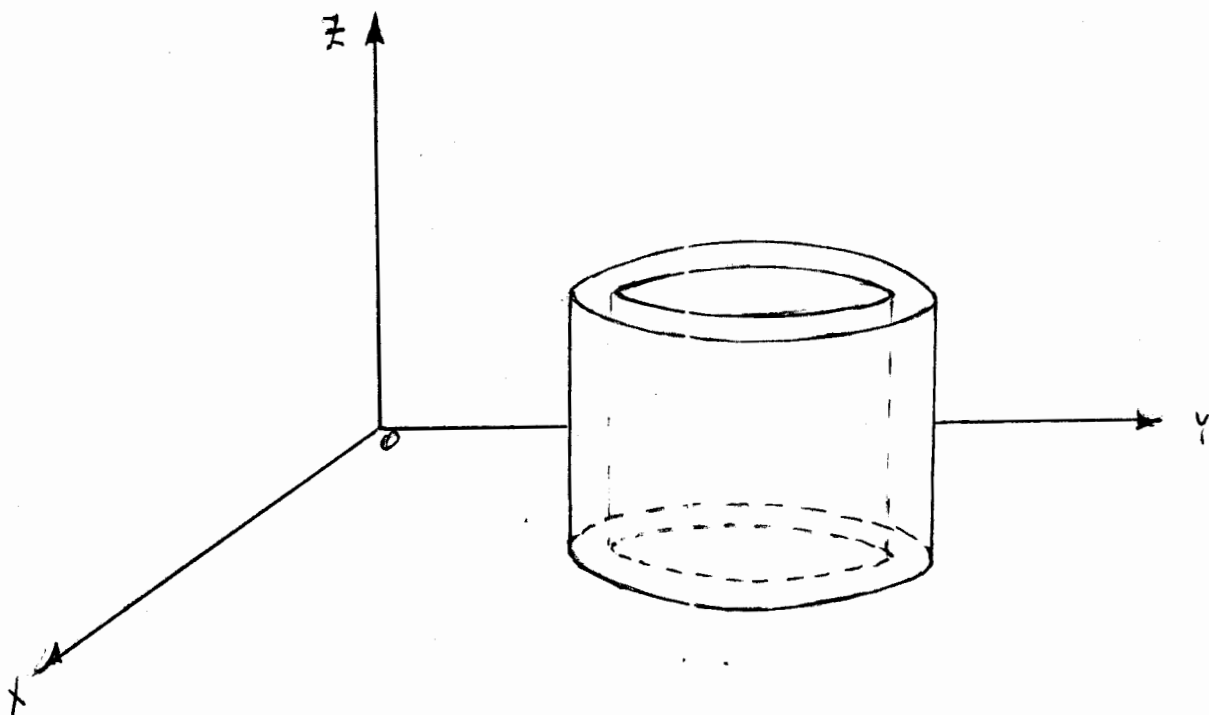


Рис. II

Обмотка собирается из дуг окружностей, при помощи которых ее можно описать.

Параметр  $MBE$  задает число таких дуг. Для каждого дугового участка обмотки необходимо указать следующие параметры :

$RN$  - внутренний радиус кривизны дуги окружности

$AL1$  - половина сектора (кругового), соответствующего данной дуге

$XC, UC$  - координаты центра кривизны

$FI$  - угол отсчета середины кругового сектора в глобальной системе координат (см. рис. 10).

$TFI$  - шаг по углу  $2 \cdot AL1$

$JA1$  - направление тока внутри каждого сектора

$JA1 \equiv \begin{cases} +I - \text{против часовой стрелки} \\ -I - \text{по часовой стрелке.} \end{cases}$

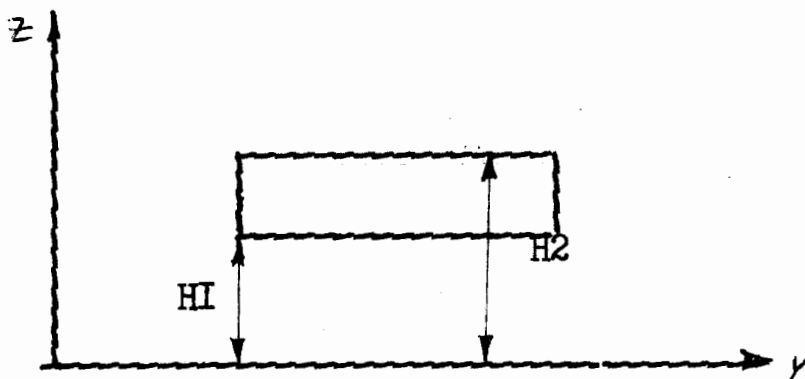


Рис. I2

$H1$  - расстояние от медианной плоскости до обмотки,

$H2$  - ( $H1$  + высота обмотки)

$W$  - толщина обмотки.

При  $ICOIL=2$  проекция обмотки на плоскость  $YOZ$  представлена на рис.13 :

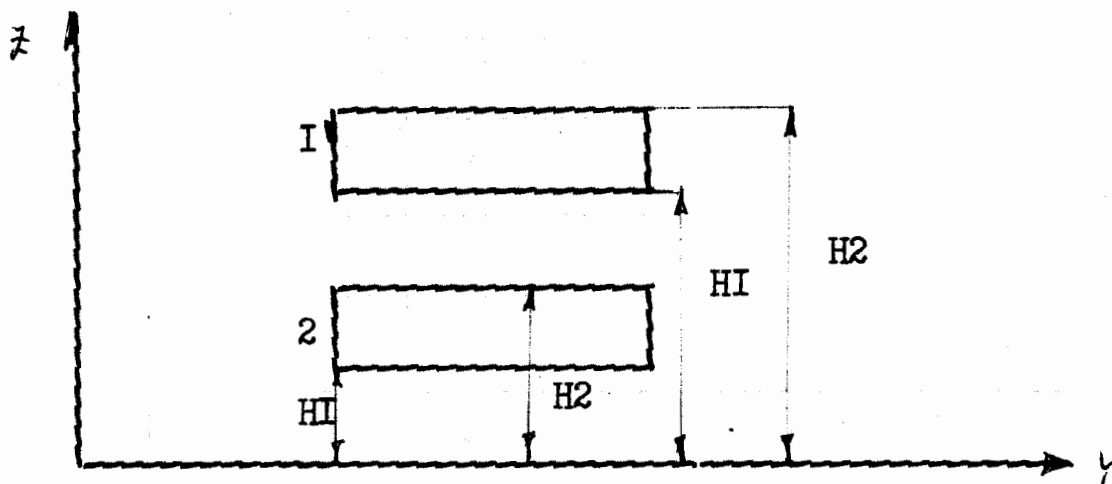


Рис.13

Исходные данные объединены следующим образом :

\$ TCOIAS  $\sqcup$  ICOIL = , NSEC = \$  
 \$ REG  $\sqcup$  NBE = \$  
 \$ SPC  $\sqcup$  N = , RN = , ALI = , XC = , YC = \$  
 \$ SPC1  $\sqcup$  FI = , TFI = , JAI = \$  
 \$ SPB  $\sqcup$  H1 = , H2 = , WR = \$

$N$  - порядковый номер дуги

$NSEC$  - число секторов обмотки в магнитной системе.

Порядок задания исходных данных :

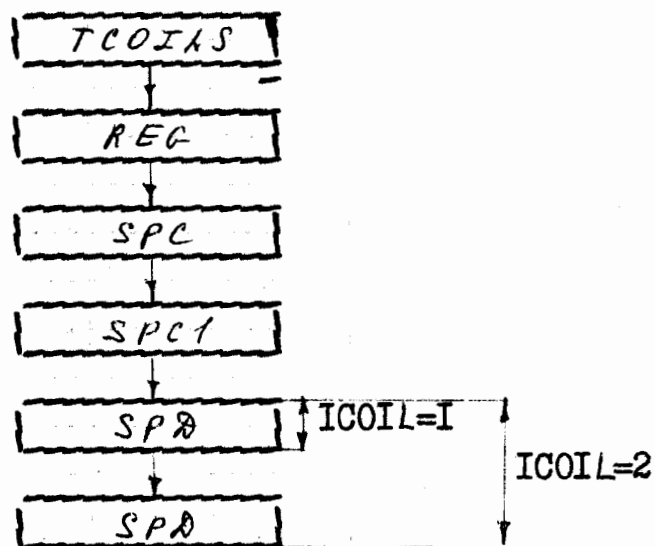
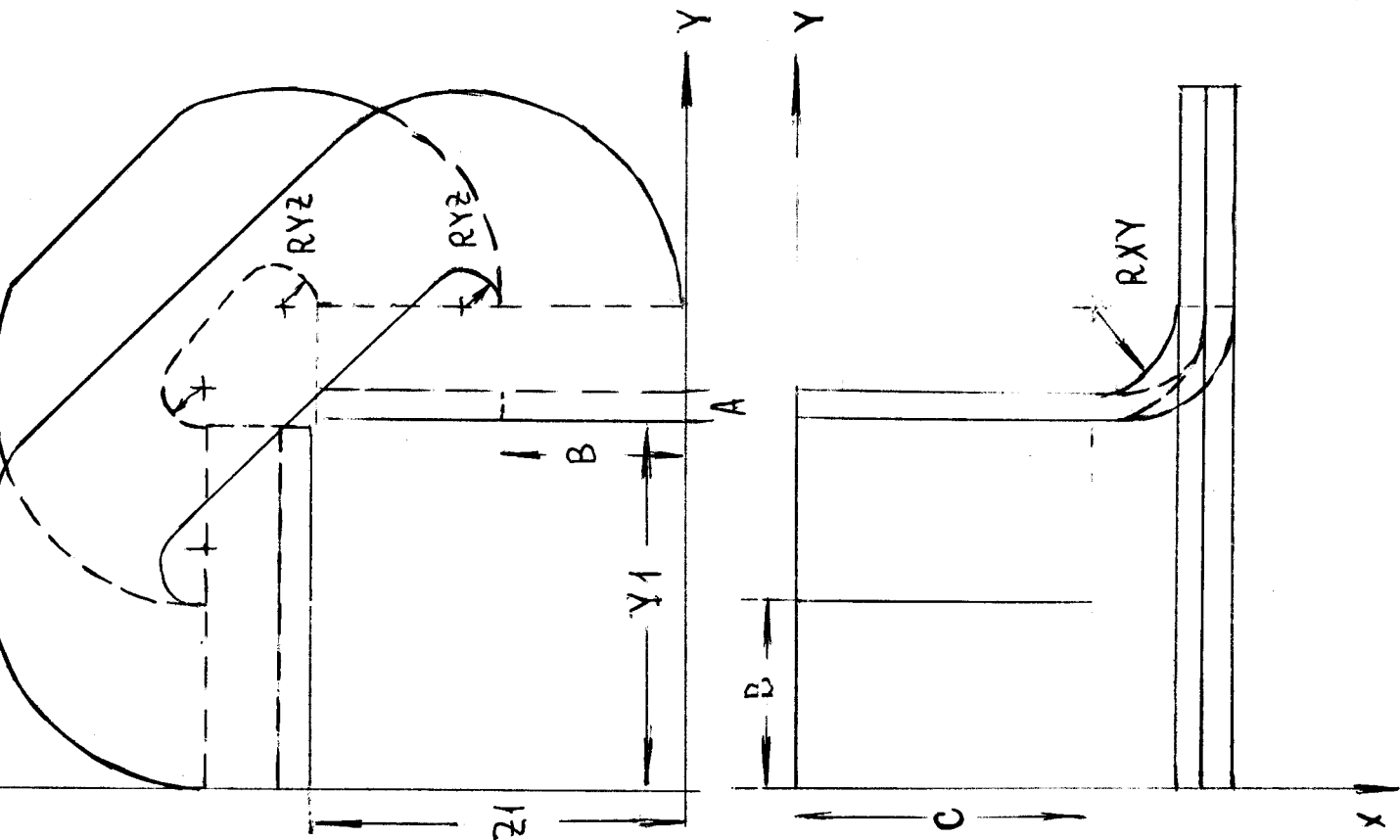
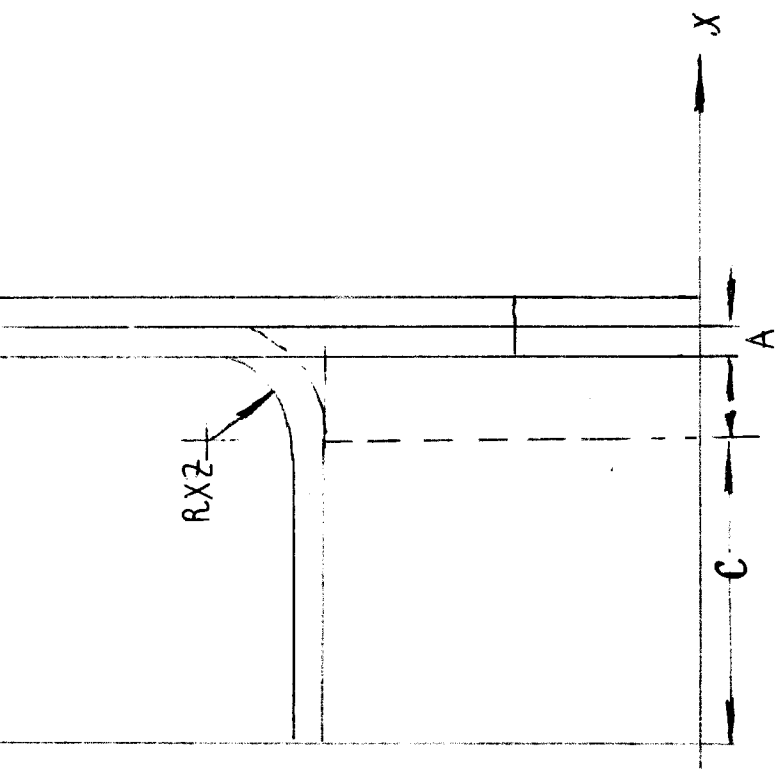


Рис.14



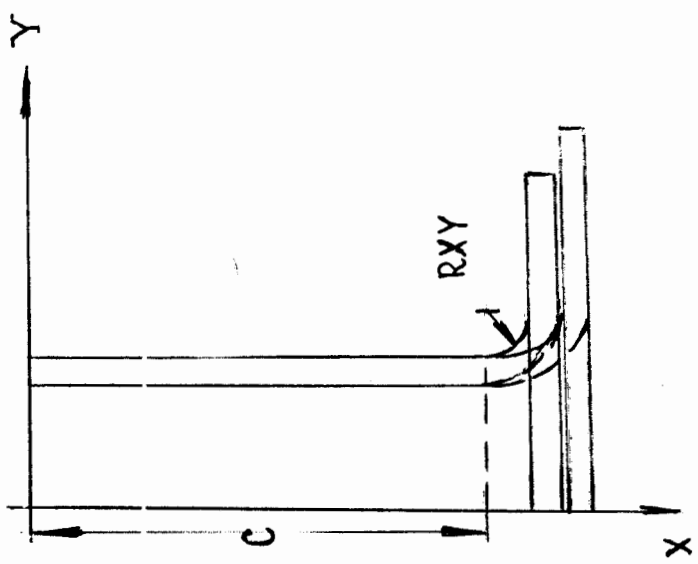
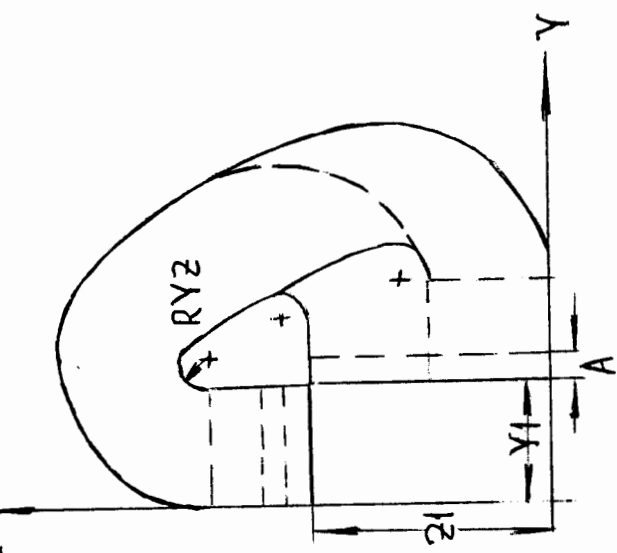
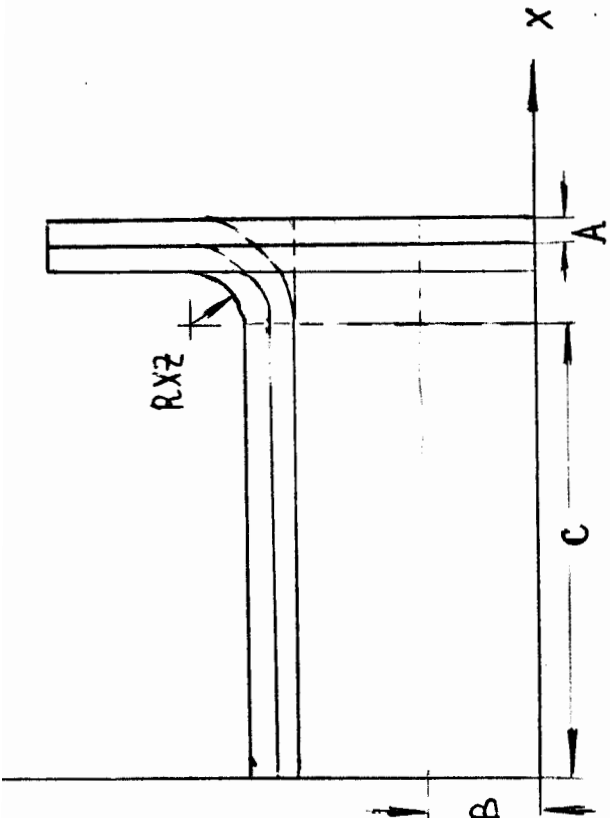


Рис. 16

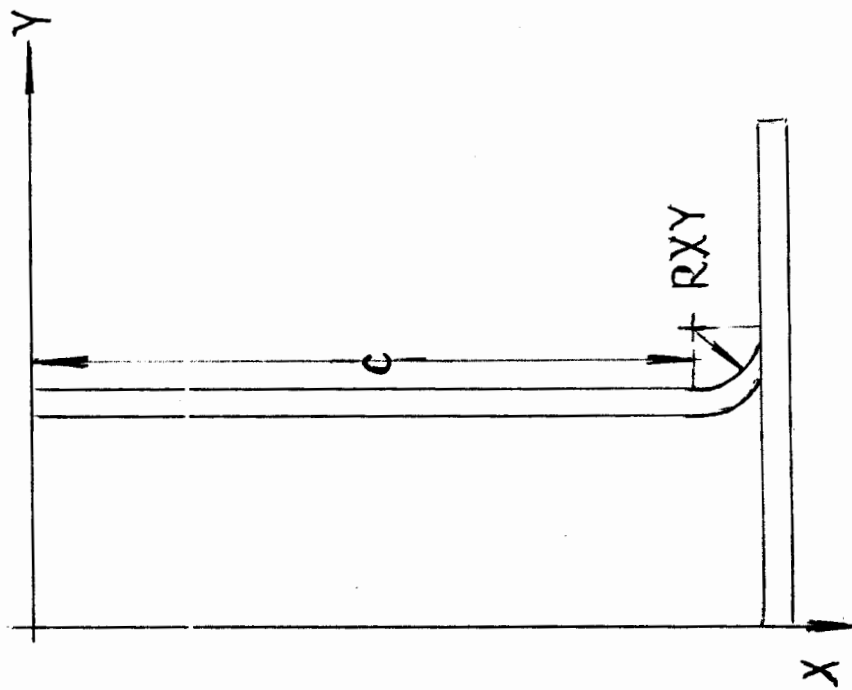
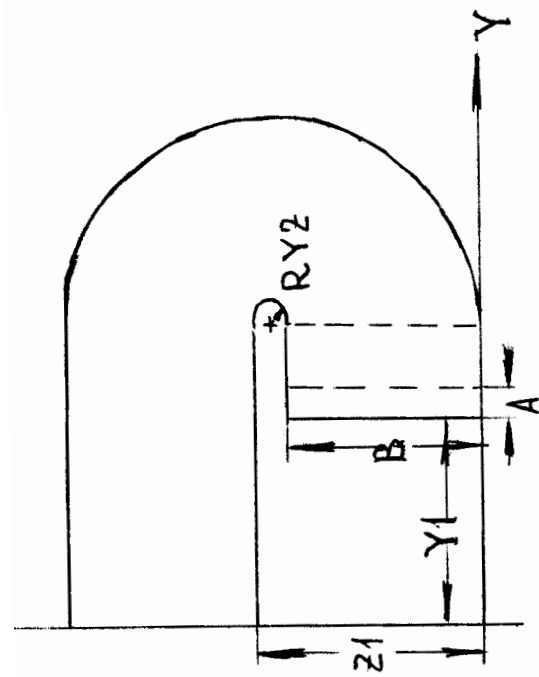
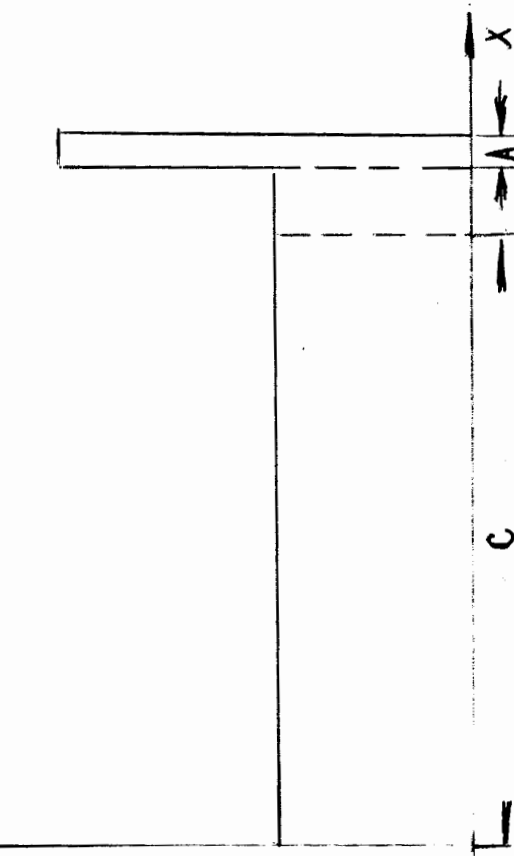


Рис. 17

### 3.2 Обмотки для магнитов синхротронного типа.

Для магнитов синхротронного типа также вводится параметр  $ICOIL$

$$ICOIL = \begin{cases} 1 - \text{двухслойная обмотка на торцах для симметричного квадрупольного магнита} & (\text{рис. I5}) \\ 2 - \text{обмотка квадрупольного магнита типа линзы Пановского} & (\text{рис. I6}) \\ 3 - \text{обмотка дипольного магнита "Дубна"} & (\text{рис. I7}) \end{cases}$$

Для всех этих магнитов задаются параметры :

- A - толщина обмотки
- B - высота обмотки
- C - длина обмотки от центра
- RXY - радиус поворота обмотки в плоскости XOY
- RYZ - радиус поворота обмотки в плоскости YOZ
- RXZ - радиус поворота обмотки в плоскости XOZ
- Z1 - расстояние от центра апертуры магнита до обмотки по оси Z
- Y1 - расстояние от центра апертуры магнита до обмотки по оси Y

Исходные данные объединены следующим образом :

$$\$ TC O I L S \_ I C O I L = \$$$

$$\$ C L \_ A = , B = , C = , Y 1 = , Z 1 = , R X Y = , R X Z = , R Y Z = \$$$

Порядок задания исходных данных :

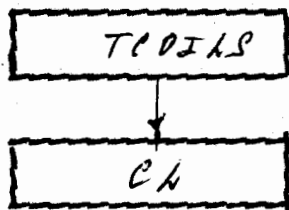


Рис. I8



#### 4. ОДІВ, исходные данные.

Как уже было отмечено, программа ОДІВ работает в двух режимах, которые задаются параметром ІМАТ.

$$ІМАТ = \begin{cases} 1 - \text{заполнение матрицы задачи, расчет поля от обмотки.} \\ 0 - \text{расчет поля от обмотки и магнитопровода, гармонич. анализ} \end{cases}$$

Кроме того, вводятся параметры:

$$ІНАР = \begin{cases} 0 - \text{расчет поля без гармонического анализа} \\ 1 - \text{проведение гармонического анализа в медианной плоскости для циклотронных магнитов} \\ 2 - \text{гармонический анализ поля в плоскости, перпендикулярной оси магнита, для синхротронных магнитов} \end{cases}$$

АУ - ампервитки

$$ІFORCE = \begin{cases} 1 - \text{расчет сил, действующих на обмотку} \\ 0 - \text{расчет сил не проводить} \end{cases}$$

$$ІRON = \begin{cases} 0 - \text{расчет поля только от обмотки} \\ 1 - \text{расчет поля от обмотки и магнитопровода} \end{cases}$$

По умолчанию  $ІFORCE=0$ ,  $ІRON=0$ ,  
 $ІНАР=0$ .

Таким образом, первый режим работы ОДІВ характеризуется следующими значениями перечисленных параметров :

$$ІМАТ=1, \quad ІНАР=0, \quad ІFORCE=0, \quad ІRON=0$$

Второй режим работы программы ( $ІМАТ=0$ ) предполагает возможность проведения гармонического анализа поля.

При  $ІНАР=1$  задаются :

RV - начальный радиус обзора поля

ΔR - шаг по радиусу

NR - число радиусов наблюдения

FIB - начальный угол наблюдения (по умолчанию FIB=0)

ΔFI - приращение угла

NFI - число точек по углу (четное) на периоде магнитной системы

$$NFI \cdot \Delta FI = T$$

NHARM - число гармоник поля

Z - расстояние от медианной плоскости, на котором проводится гармонический анализ.

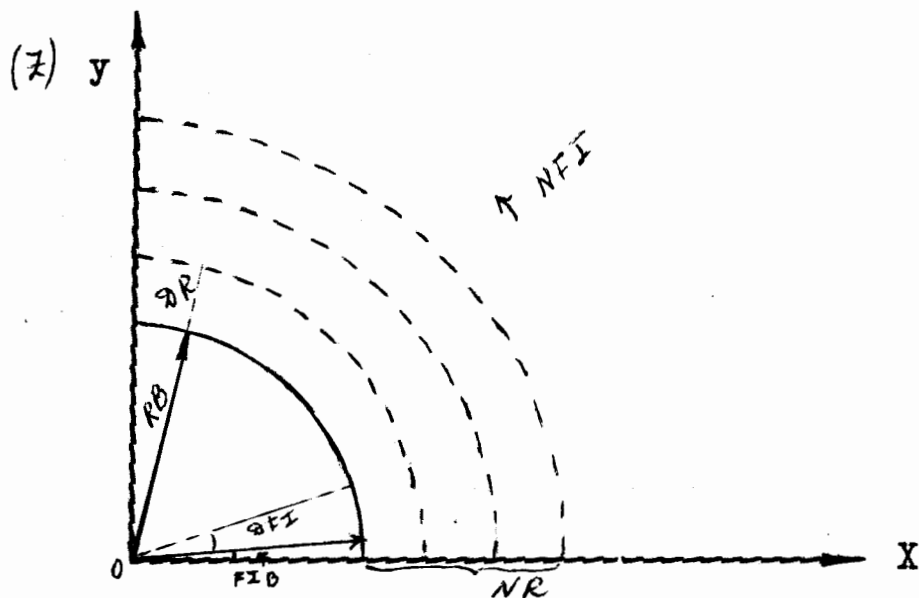


Рис. I9

При  $INAR=2$  задаются :

$RBN$  - нормализованный радиус

$RB$  - начальный радиус обзора поля

$\Delta R$  - шаг по радиусу

$NR$  - число радиусов наблюдения

$\Delta FI$  - приращение угла (в этом случае начальный угол наблюдения всегда равен 0).

$NFI$  - число точек по углу

$NNARM$  - число гармоник поля

$NN = \begin{cases} 1 - \text{гармонический анализ поля для дипольных магнитов} \\ 2 - \text{гармонический анализ поля для квадрупольных магнитов} \end{cases}$

$Z$  - расстояние от центра магнита, на котором проводится гармонический анализ.

$\Delta Z$  - приращение по оси  $Z$

$NZ$  - число точек по  $Z$

В библиотеку *MAGSYS* включена программа *CYCLOP* для расчета равновесных орбит частиц в циклотронах. Данные для неё готовятся в *ODIN*. Вводится параметр *MCYC* :

$MCYC = \begin{cases} 1 - \text{счет по CYCLOP} \\ 0 - \text{нет.} \end{cases}$

При  $MCYC=1$  необходимо указать :

$E0$  - энергия поля

$AR$  - циклотронный радиус

$BCONV$  - поле в центре ускорителя

$ANUP$  - частота

$NSTEPS$  - число шагов по энергии

$KSTEPS$  - число шагов интегрирования на одном периоде, четное.

$ENCMEV$  - шаг по энергии

PRAPPR - начальное значение радиального импульса (по умолчанию PRAPPR = 0).

Начальное значение радиуса и энергии, а также амплитуды и фазы гармоник поля (  $INAR = I$  ) вычисляются в программе OДIN.

Исходные данные объединены следующим образом :

```

$ MD _ IMAT = $
$ MD1 _ INAR = , IFORCE = , AJ = , IRON = $
$ HARM _ NHARM = , MCYC = $
$ HARM1 _ NN = , RBN = , RB = ,  $\lambda R =$  , NR = , FIB = ,  $\delta FI =$  , NFI = $
$ MZ _ Z = ,  $\delta Z =$  , NZ = $
$ CYC _ E $\emptyset$  = , AR = , BCONV = , ANUD = $
$ CYC1 _ NSTEPS = , KSTEPS = $
$ CYC2 _ ENCMEV = , PRAPPR = $

```

Порядок задания исходных данных.

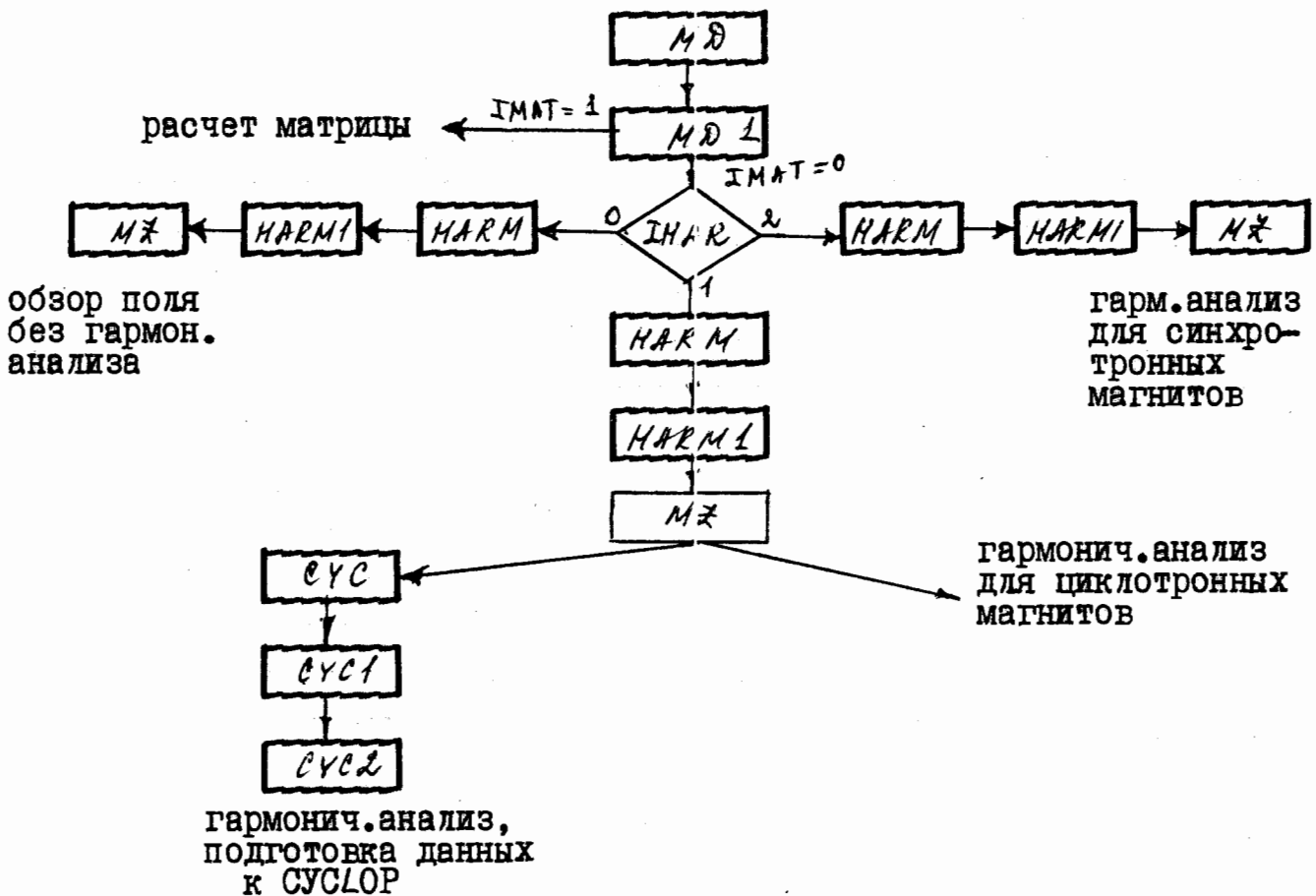


Рис .20

## 5. TRAW, исходные данные.

Для обеспечения работы программы при нехватке времени вводится параметр *IFIRST* :

$$IFIRST = \begin{cases} 0 & \text{- первый счет} \\ 1 & \text{- продолжение счета} \end{cases}$$

## 6. Программы графического построения трехмерных объектов

### 6.1 Программа MAGDIS

Программа *MAGDIS* работает в интерактивном режиме с СДС-6500, поэтому она хранится не на ленте, а на системном диске. Как видно из схемы, иллюстрирующей структуру системы программ *MAGSYS*, для *MAGDIS* необходимо подготовить файл *TARE II*, сделав в пакете управляющих карт *CATALOG*, *TARE II*, *PF*, *ID=*, *SU=* после карты *MAGLIB*.

Для работы *MAGDIS* необходимо вызвать вспомогательную графическую библиотеку *LCFTLIB*.

Пример работы :

```

LOGIN, PLJAP, PW - вход в машину
COMMANД - ЕЩ ТОР          - режим реактора
.. ETL, 300 - заказ времени
.. АТТАСН, ДИС, МАГДИС, ID= LNPNVU, SU = 01, MR=1.
.. АТТАСН, ТАРЕ II, PF, ID=, SU=
.. АТТАСН, LCFTLIB
.. LIBRARY, LCFTLIB
.. E, ДИС, S
.. CONNECT, INPUT, OUTPUT
.. RUN, F

```

На экране высвечиваются вопросы :

1. TYPE VIEW
2. STRIGHT(1), LEFT(2), WRIGHT(3), VP(4)
3. ALL PROBLEM=1 OR PART=0

Последовательно на каждый надо ответить :

1. 2
2. 1 либо 2, либо 3, либо 4
3. если 0, то необходимо задать размеры :  $\frac{DIMH}{DIMV} = 100.$

и получить в большем масштабе часть объекта.

## 6.2 Программа IZOM

В качестве исходных данных для программы IZOM используется файл TAPE II. В отличие от MAGDIS IZOM выводит на экран дисплея только видимые части объекта. Для определения видимой и невидимой частей используется метод конечных элементов /5,6/. Суммарное число элементов, на которые разбивается магнитопровод и обмотка, не должно превышать 60 .

IZOM требует подключения комплекса программ GRAFOR .

Пример работы :

```

LOGIN, P&JAP, PW          - вход в машину
COMMAND - ATTACH, XX, MAGSYS, ID=LNPNONU, CY=01, MR=1
ATTACH, TAPE11, PF, ID=, CY=
ATTACH, GRAFOR, ID=LCGT, MR=1
LIBRARY, GRAFOR, XX
CONNECT, INPUT, OUTPUT
ETL, 500
REQ, L&DSET, PRESET=ZERO, LIB=GRAFOR,
LIBLOAD=XX, IZOM, EXECUTE

```

На экране высвечивается :      YOU HAVE N SECTOR(S)  
WHAT SECTOR DO YOU WANT TO SEE?

Пользователь должен ввести нужный номер сектора магнитной системы в формате I1 .

Затем на экране высвечивается :      YOU HAVE N FIG  
INPUT (I2): FIG1, FIG2, IVIEW

Пользователь должен ввести три числа в формате I2

FIG1, FIG2      - номера фигур (элементов) в возрастающем порядке ( ≤ 60)

IVIEW      - задание проекции; всего можно построить четыре вида :

STRIGHT(1), LEFT(2), WRIGHT(3), VP(4)

Примеры ответов :

1. L160L1      - построить 60 элементов, вид (1) (STRIGHT)
2. 1012L3      - построить элементы с номерами I0 по I2, вид 3 (WRIGHT).

7. Ограничения

При работе с библиотекой программ *MAGSYS* необходимо учитывать ограничения на некоторые параметры. Они отражены в таблице 2.

Таблица 2.

Программа	Величина	Обозначение	Ограничение
<i>MAGIB</i>	Максимальное число элементов магнитопровода	<i>MM</i>	60
	Максимальное число разобений по углу <i>ALP</i> ( <i>SPIRAL</i> )	<i>NA</i>	2
<i>COILS</i>	Максимальное число дуг окружностей, описывающих обмотку (для циклотронных магнитов)	<i>NBE</i>	9
<i>ODIN</i>	Максимальное число радиусов наблюдения	<i>NR</i>	25
	Максимальное число гармоник поля (для циклотронных магнитов)	<i>NHARM</i>	3
	Число точек наблюдения по углу на периоде магнитной системы	<i>NFI</i>	четное (циклотр.) нечетное (синхротр.)
	Максимальное число шагов интегрирования	<i>KSTEPS</i>	120 четное
<i>MAGDIS</i>	Общее число элементов магнитопровода и обмотки	<i>MM+MCUR</i>	$\leq 350$
<i>IZOM</i>	Общее число элементов магнитопровода и обмотки	<i>MM+MCUR</i>	$\leq 60$

8. Вывод на печать.

Выходная информация представлена в таблице 3.

Таблица 3.

Программа	Величина	Обозначения при печати	
<i>МАГНИВ</i>	I. Исходные данные		
	2. Общее число элементов магнитопровода	<i>MM</i>	
	3. Число спиральных элементов магнитопровода	<i>NSPI</i>	
<i>COILS</i>	I. Исходные данные		
	Магниты циклотронного типа		
	2. Геометрия обмотки :		
	а) номер дуги окружности	<i>I</i>	
	б) номер деления дуги	<i>J (≤3)</i>	
	в) координаты кольца, соответствующие данному делению	<i>X1, Y1</i> <i>X2, Y2</i>	
	3. Общее число токовых элементов	<i>MCUR</i>	
	<i>ORIN</i>	I. Исходные данные	
		2. Координаты вершин конечных элементов магнитопровода	<i>X1, Y1, Z1</i> <i>X2, Y2, Z2</i> <i>X3, Y3, Z3</i> <i>X4, Y4, Z4</i>
		3. Координаты центров конечных элементов магнитопровода	<i>XM, YM, ZM</i>
4. Магнитная индукция обмотки		<i>BX, BY, BZ</i>	
5. Магнитная индукция элементов магнитопровода		<i>MV<sub>θ</sub> * MX</i> <i>MV<sub>θ</sub> * MY</i> <i>MV<sub>θ</sub> * MZ</i>	
Магниты циклотронного типа			
6. Радиус обзора поля		<i>R</i>	
7. Угол наблюдения		<i>FI</i>	
8. Расстояние от медианной плоскости, на котором проводится гарм. анализ		<i>Z</i>	
9. Вектор магнитной индукции		<i>BX, BY, BZ</i>	
10. Среднее поле на данном радиусе	<i>B</i>		
II. <i>FLATTER</i>	<i>FLATTER</i>		
12. Амплитуда <i>N</i> -ой гармоники магнитного поля	<i>AMP</i>		

## Продолжение таблицы 3.

Программа	Величина	Обозначения при печати
14. Расчет сил, действующих на обмотку		
	а) радиус кривизны среднего сечения данного элемента обмотки,	$R$
	б) координаты точек среднего сечения, в которых вычисляются проекции вектора силы,	$X, Y, Z$
	в) проекции вектора магнитной индукции и его модуль в этих точках,	$B_X, B_Y, B_Z$ $B_{TOT}$
	г) координаты центра элемента в цилиндрической системе координат (начало координат находится в центре кривизны элемента), при этом азимут вычисляется в глобальной системе координат (рис. 10),	$R, \varphi$
	д) координаты центра элемента	$X, Y, Z$
	е) проекции вектора силы	$F_X, F_Y, F_Z$
	ж) нормальная составляющая силы	$F_N$
	з) тангенциальная составляющая силы	$F_T$
Магниты синхротронного типа		
	6. координаты точек окружности, на которой проводится гармонический анализ	$X, Y, Z$
	7. Проекция вектора магнитной индукции и его модуль	$B_X, B_Y, B_Z$ $B_{TOT}$
	8. Величина амплитуды $N'$ -ой гармоники поля	$A(N')$
	9. Величина амплитуды $N$ -ой гармоники поля в относительных единицах	$C(N)$
TRAW	1. Исходные данные	
	2. Непрерывный параметр метода "погружения"	$T$
	3. Число итераций для каждого фиксированного $T$	$IT$
	4. Норма невязки на данной итерации	$DN$
	5. Норма отклонения магнитной проницаемости на данной итерации	$DMU$
	6. Норма решения на данной итерации	$HN$
	7. Магнитная проницаемость на данной итерации	$AMN$
	8. Параметр метода минимальных невязок	$AL$
	9. Магнитная индукция магнитопровода	$MUD+MX$ $MUD+MY$ $MUD+MZ$
	10. Магнитная проницаемость	$MU/MUP$



## Продолжение таблицы 3.

Программа	Величина	Обозначение при печати
СУСЛОР	1. Исходные данные	
	2. Энергия	ENERGY
	3. Средний радиус	RAVE
	4. Относительное отклонение частоты обращения	$\frac{\omega_0}{\omega} - 1$
	5. Равновесная орбита	R
	6. Радиальный импульс	PR
	7. $Q_R$	NU R
	8. $Q_Z$	NU Z
	9. Частота обращения ( $\omega/2\pi$ )	FREQ (MC/SEC)

## 9. Примеры

## 9.1. Дейтронный циклотрон радиально-секторной структуры

(рис.21,22)

Исходные данные выглядят следующим образом:

```

$TIRON IMAG=3,ISHAP=1,ISYMX=1,ISYMY=0,ISYMZ=-1,NROT
=4$
$PROB NREG=15$
$REGION NUMBER=1,NSJB=3$
$XYZ YMI=35.,YMA=44.5,ZMA=26.$
$GMT FXY1=0.272,XH1=-3.672,ZH=5.$
$REGION NUMBER=2,NSJB=3$
$XYZ YMI=44.5,YMA=50.,ZMA=26.$
$GMT FZY=0.90909,ZH=-35.4545$
$REGION NUMBER=3,NSJB=3$
$XYZ YMI=50.,YMA=60.$
$GMT FZY=0.576,ZH=-18.8$
$REGION NUMBER=4,NSJB=3$
$XYZ YMI=60.,YMA=75.$
$GMT FZY=0.18,ZH=4.8$
$REGION NUMBER=5,NSJB=3$
$XYZ YMI=75.,YMA=90.$
$GMT FZY=-0.04666,ZH=21.7999$
$REGION NUMBER=6,NSJB=3$
$XYZ YMI=90.,YMA=115.$
$GMT FZY=-0.108,ZH=27.32$
$REGION NUMBER=7,NSUB=3$
$XYZ YMI=115.,YMA=140.$
$GMT FZY=-0.196,ZH=37.44$
$REGION NUMBER=8,NSJB=2$
$XYZ YMI=140.,YMA=152.5,ZMI=10.$
$GMT YM2=149.5,FZY=0.,ZH=26.$
$REGION NUMBER=9,NSJB=3$
$XYZ YMI=35.,YMA=140.,ZMA=46.$
$GMT FZY=0.,ZH=30.$
$REGION NUMBER=10,NSUB=2$
$XYZ YMI=140.,YMA=152.5,ZMI=30.$
$GMT YM2=149.5,ZH=46.$
$REGION NUMBER=11,NSUB=3$
$XYZ YMI=10.,YMA=35.,ZMA=140.$
$GMT FXY1=0.5714,XH1=0.,ZH=56.$
$REGION NUMBER=12,NSUB=3$
$XYZ YMI=35.,YMA=90.$
$GMT FXY1=0.3478,XH1=6.956,ZH=56.$
$REGION NUMBER=13,NSUB=3$
$XYZ YMI=90.,YMA=180.$
$GMT FXY1=0.222,XH1=19.98$
$REGION NUMBER=14,NSUB=4$
$XYZ XMI=0.,XMA=60.,YMI=180.,YMA=250.,ZMI=56.,ZMA=1
40.$
$REGION NUMBER=15,NSUB=4$
$XYZ ZMI=0.,ZMA=56.$
$TCOILS ICOIL=1,NSEC=4$
$REG NBE=6$
$SPC N=1,RN=9.279,AL1=66.8769,XC=0.,YC=39.2790$
$SPC1 FI=270.,TFI=65.,JA1=1$
$SPC N=2,RN=461.6,AL1=6.9002,XC=415.9829,YC=216.909
3$
$SPC1 FI=196.2229,TFI=6.,JA1=1$
$SPC N=3,RN=10.,AL1=43.4113,XC=-29.6522,YC=143.7526
$
$SPC1 FI=145.9113,TFI=43.,JA1=1$
$SPC N=4,RN=147.,AL1=12.5,XC=0.,YC=10.$
$SPC1 FI=90.,TFI=12.,JA1=1$
$SPC N=5,RN=10.,AL1=43.4113,XC=29.6522,YC=143.7526$
$SPC1 FI=34.0887,TFI=43.$
$SPC N=6,RN=461.6,AL1=6.9002,XC=-415.9829,YC=216.90
93$
$SPC1 FI=343.7771,TFI=6.,JA1=1$
$SPC H1=29.,H2=47.,WD=5.$
$MD IMAT=1$
$MD1 AJ=0.923E6$
$MT IFIRST=0$
$MD IMAT=0$
$MD1 IHAR=1,AJ=0.923E6,IRON=1$
$HARM NHARM=2,MCYC=1$
$HARM1 RB=40.,OR=5.0,NR=10,FIB=0.1,DFI=5.0,NFI=18$
$YZ Z=0.$
$CYC E0=1876.512,AR=337.,BCOMW=1.855,ANUD=14.154$
$CYC1 NSTEPS=130,KSTEPS=80$

```

## 9.2. Дейтронный циклотрон спирально-секторной структуры (рис.23,24)

Исходные данные :

```

$TIRON IMAG=3,ISHAP=1,ISYMX=0,ISYMY=0,ISYMZ=-1,NROT
=9$
$PROB NREG=4$
$REGION NUMBER=1,NSJB=2$
$XYZ YMI=10.,YMA=60.,ZMI=100.$
$GMT YM2=95.,FXY1=-0.7,XH1=267.,XH2=80.,ZH=200.$
$REGION NUMBER=2$
$XYZ YMI=10.,YMA=95.$
$GMT YMI=130.,YM2=240.,FXY1=-0.8,XH1=516.4,FXY2=-0.
7,XH2=267.3$
$REGION NUMBER=3$
$XYZ YMI=130.,YMA=240.$
$GMT YMI=195.,YM2=305.,XH1=649.55,FXY2=-0.8,XH2=516
.4$
$REGION NUMBER=4$
$XYZ YMI=0.$
$GMT YMI=195.,YM2=305.,ZH=100.$
$TCOILS ICOIL=1,NSEC=9$
$REG NBE=7$
$SPC N=1,RN=10.2681,AL1=63.7595,XC=105.2647,YC=40.2
647$
$SPC1 FI=163.7668,TFI=53.,JA1=1$
$SPC N=2,RN=891.0682,AL1=3.5315,XC=-53.1015,YC=937.
7356$
$SPC1 FI=283.5388,TFI=6.$
$SPC N=3,RN=120.9857,AL1=33.9386,XC=172.9522,YC=201
.5788$
$SPC1 FI=321.0089,TFI=33.$
$SPC N=4,RN=5.,AL1=84.9475,XC=308.4095,YC=189.6027$
$SPC1 FI=90.,TFI=84.$
$SPC N=5,RN=161.3825,AL1=12.4906,XC=484.1043,YC=205
.1364$
$SPC1 FI=197.5431,TFI=24.$
$SPC N=6,RN=70.,AL1=38.78,XC=275.1319,YC=84.3222$
$SPC1 FI=351.2537,TFI=76.$
$SPC N=7,RN=165.9151,AL1=42.4737,XC=210.3656,YC=155
.0699$
$SPC1 FI=270.,TFI=84.$
$SPC H1=10.8,H2=72,WD=10.$
$MD IMAT=1$
$MD1 AJ=9.E6$
$MT IFIRST=0$
$MD IMAT=0$
$MD1 IHAR=1,AJ=9.E6,IRON=1$
$HARM NHARM=2,MCYC=1$
$HARM1 RB=140.,OR=20.,NR=8,DFI=5.,NFI=8$
$MZ Z=0.$
$CYC E0=1876.512,AR=337.,BCONV=1.855,ANU0=14.154$
$CYC1 NSTEPS=130,KSTEPS=80$
$CYC2 ENCMEV=1.,PRAPPR=0.$

```

### 9.3. Магнит броневого типа со спиральными полюсными шиммами (рис.25)

Исходные данные :

```

$TIRON IMAG=3,ISHAP=2,ISYMX=1,ISYMY=0,ISYMZ=-1,NROT
=4$
$PROB NREG=3$
$REGION NUMBER=1,NSJB=1$
$XYZ ZMI=2.,ZMA=20.,NY=2,NZ=1$
$RSS RSB=2.,RSE=15.,ANL1=50.,ANL2=50.,ALP=45.,NA=1$
$REGION NUMBER=2,NSJB=2$
$XYZ YMI=1.5,YMA=45.,ZMI=20.,NY=1$
$GMT YM1=1.0687,YM2=31.8198,FX1=1.,ZH=35.$
$REGION NUMBER=3,NSJB=4$
$XYZ XMI=0.,XMA=10.,YMI=35.,YMA=45.,ZMI=0.,ZMA=20.,
NY=1,NZ=1$
$TCOILS ICOIL=1,NSEC=4$
$REG NBE=1$
$SPC N=1,RN=20.,AL1=45.,XC=0.,YC=0.$
$SPC1 FI=90.,TFI=18.,JA1=1$
$SPD H1=1.,H2=12.,WJ=4.$
$MD IMAT=1$
$MD1 AJ=0.5E6$
$MT IFIRST=0$
$MD IMAT=0$
$MD1 IHAR=1,AJ=0.5E6,IRON=1$
$HARM NHARM=2,MCYC=0$
$HARM1 RB=2.,DR=3.0,NR=8,DFI=5.0,NFI=18$
$MZ Z=0.$

```

## 9.4. ДИПОЛЬНЫЙ МАГНИТ (рис.26)

```

$TERRD1 IMA=1,ISHAP=2,ISYMX=1,ISYMY=1,ISYMZ=-1$
$PROB1 IREG=3$
$REGD11 NUMBER=1$
$XYZ X1I=1.,X1A=19.8,Y1I=0.,Y1A=3.25,Z1I=2.75,Z1A=7
.,NX=4$
$REGD11 NUMBER=2$
$XYZ Y1I=3.25,Y1A=7.5$
$REGD11 NUMBER=3$
$XYZ Z1I=1.,Z1A=2.75$
$TDOILS IC0IL=3$
$COL A=1.,B=2.7,C=19.8,Y1=2.75,Z1=4.,RXY=0.8,RXZ=0.,
RYZ=0.85$
$ID1 IAT=1$
$ID1 AJ=0.12E5$
$IT IPOST=0$
$ID IAT=0$
$ID1 IAR=2,AJ=0.12E5,IPCN=1$
$HAR1 IHAR1=9$
$HAR11 NN=1,RBN=2.5,RB=2.5,DR=0.,NR=1,DFI=9.,NFI=11
$H1 Z=1.,DZ=0.,NZ=1$

```

## 9.5. Квадруполь типа линзы Пановского (рис. 27)

```

$TERRI IHAS=1,ISHAR=2,ISYMX=1,ISYMY=-1,ISYMZ=-1$
$PROB IPEG=3$
$REGI01 NUMBER=1$
$XYZ X1I=0.,XHA=5.,YMI=0.,YMA=2.05,ZMI=4.,ZMA=7.5$
$REGI01 NUMBER=2$
$XYZ Y1I=2.05,YHA=5.5$
$REGI01 NUMBER=3$
$XYZ Z1I=1.,ZHA=4.5$
$COPIES IC01L=2$
$CLA A=0.325,B=1.5,C=5.,Y1=1.61,Z1=3.29,RYX=0.6,RYZ=
3.6,RYZ=0.325$
$ID IAT=1$
$AD1 AJ=0.1455$
$IT ICRST=0$
$ID IAT=3$
$ID1 IHAR=2,AJ=0.1455,IRCN=1$
$HAR1 IHAR1=14$
$HAR11 NN=2,ROU=1.5,RO=1.5,DR=0.,NR=1,OFI=9.,NFI=11$
$H2 Z=1.,OZ=1.,NZ=1$

```

## 9.6. Квадрупольная линза с квадратной апертурой (рис. 28)

Исходные данные :

```

$TERRD1 IMAG=1, ISHAP=2, ISYMX=1, ISYMY=-1, ISYMZ=-1$
$PROP1 IREG=3$
$REGD01 NUMBER=1$
$XYZ X1I=0., XNA=10.5, Y1I=0., YNA=0., Z1I=0., ZNA=10., N
Y=2$
$REGD01 NUMBER=2$
$XYZ Y1I=5., YNA=10., NY=1$
$REGD01 NUMBER=3$
$XYZ Z1I=0., ZNA=5., NZ=2$
$TODDLS IDOIL=1$
$COL A=1.4, B=2.45, C=10.5, Y1=4.35, Z1=0.35, RXY=1.1, RYZ
=1.1, RYZ=0.5$
$ID1 IDT=1$
$ID1 AJ=0.12E5$
$ID1 IFRST=0$
$ID1 IAT=0$
$ID1 SHAP=2, AJ=0.12E5, IRON=1$
$HAR1 HAR1=14$
$HAR11 NN=2, R1I=4.5, R2I=4.5, DF=1., NR=1, DFI=9., NFI=11
$HAR1 Z=0., DZ=0., NZ=1$

```

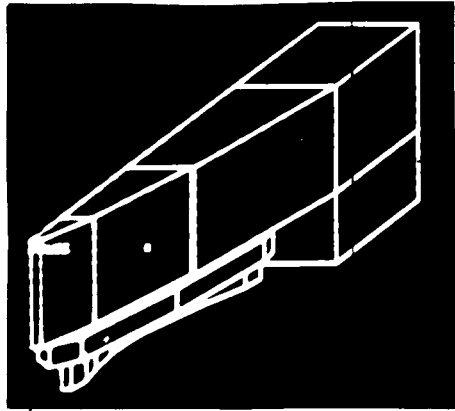


Рис. 21 Радиально-секторный магнит ДЦ-I

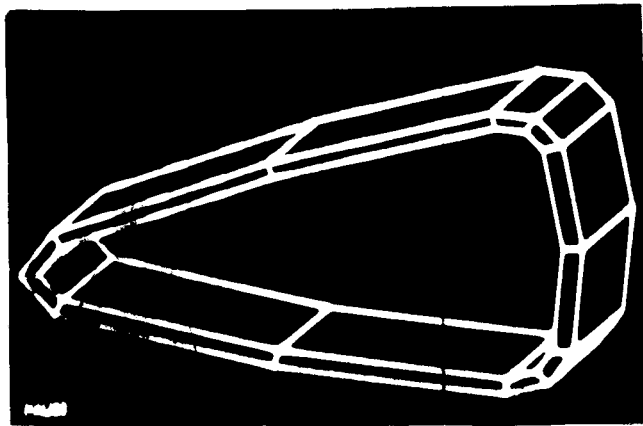


Рис. 22 Обмотка ДЦ-I



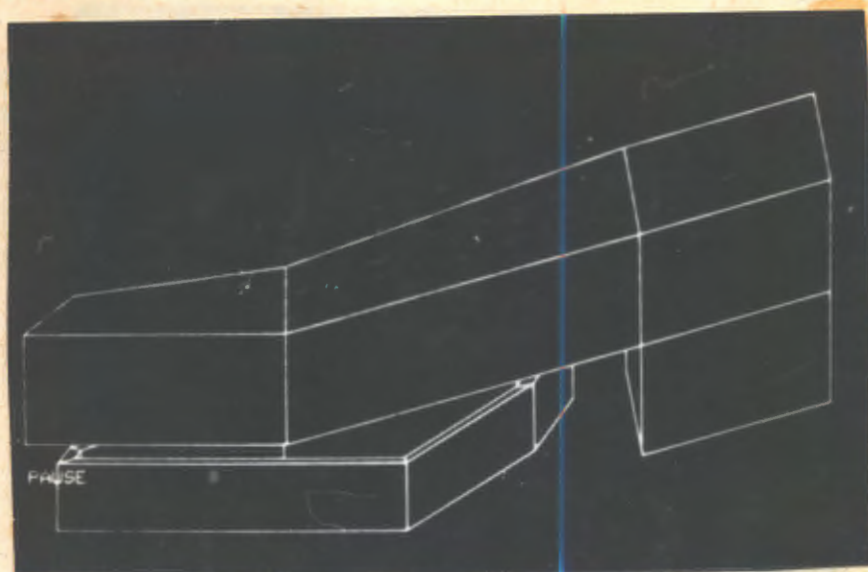


Рис. 23 Спирально-секторный магнит ДЦ-П

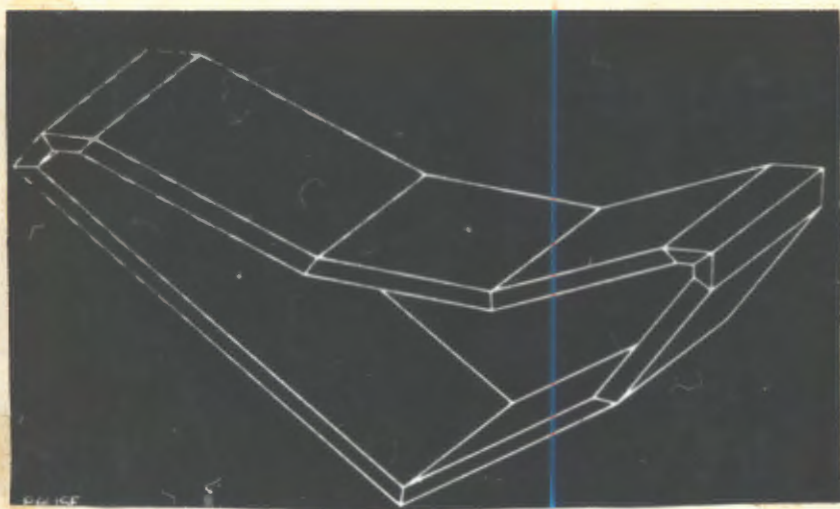


Рис. 24 Обмотка ДЦ-П

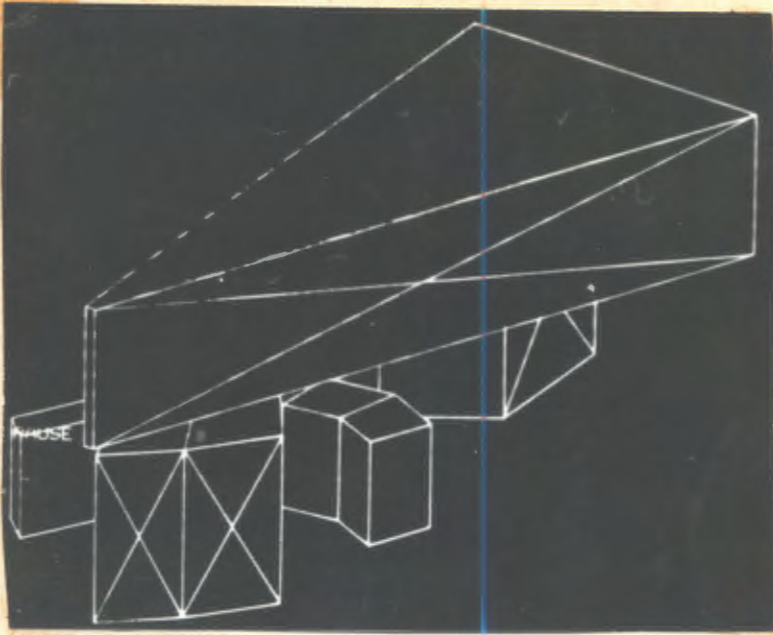


Рис. 25 Структура миланского циклотрона

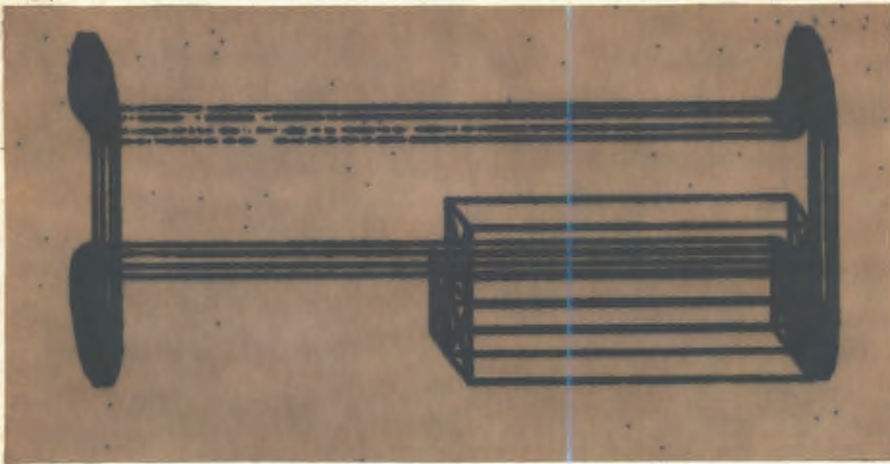


Рис. 26 Дипольный магнит

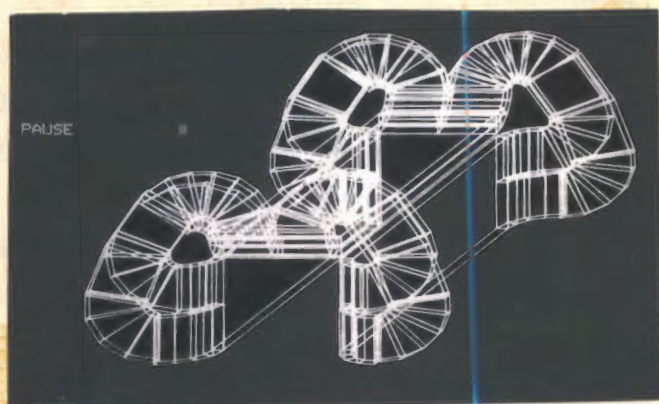


Рис. 27 Квадруполь типа линзы Пановского

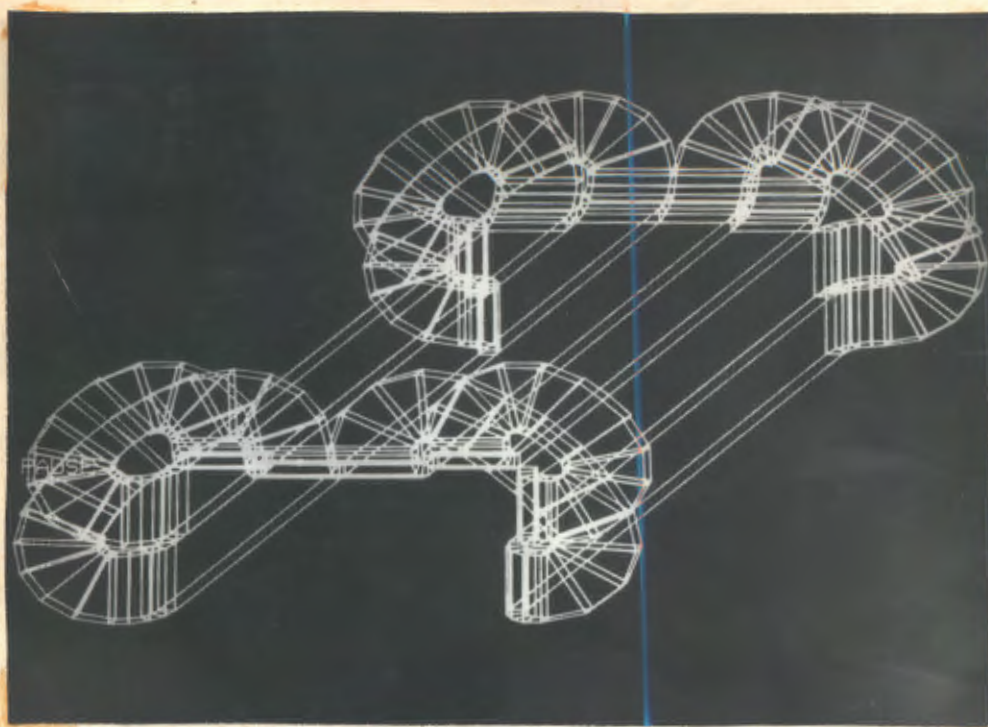


Рис. 28 Квадрупольная линза с квадратной апертурой

## 10. Литература

1. Акишин П.Г., Ворожцов С.Б., Жидков Е.П. ОИЯИ, Е9-11859, Дубна, 1978.
2. Борисовская З.В., Ворожцов С.Б., Дударева Т.Н. ОИЯИ, Р9-83-753, Дубна, 1983.
3. Борисовская З.В., Алфеев В.С., Ворожцов С.Б., Донягин А.М., Лобанов В.И., Шелаев И.А. ОИЯИ, 9-84-523, Дубна, 1984.
4. Глазов А.А. и др. ОИЯИ, Р9-81-734, Дубна, 1981.
5. Сегерлинд Л. "Применение метода конечных элементов", М., "Мир", 1979.
6. RAFFINEJAD P., SOLOMB T. L. "INTERACTIVE COMPUTER TECHNIQUES IN THREE DIMENSIONAL MODELIZATION OF FIELD PROBLEMS BY FINITE ELEMENT METHOD", FRANCE, GRENOBLE, 1978
7. Босековский Ю.М. и др. "Графтор: комплекс графических программ на фортране".
8. ARMSTRONG A. J., ET, AL., PL-76-029/A
9. FORTRAN EXTENDED REFERENCE MANUAL