

УДК 621.385.833

**ПРОГРАММА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С СОВМЕЩЕННЫМИ
В ПРОСТРАНСТВЕ ОСЕСИММЕТРИЧНЫМИ
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ И МАГНИТНЫМ ПОЛЯМИ**

И. С. Макарова

ГП Научно-исследовательский институт электронной и ионной оптики, Москва, Россия

Описана программа COMBI для IBM PC, которая позволяет рассчитывать основные оптические характеристики электронно-оптических систем, состоящих из магнитной и электростатической осесимметричных линз, совмещенных в пространстве. Программа работает в диалоговом режиме, имеет графическое сопровождение, доступна и полезна для разработчиков электронно-оптического оборудования.

Разработана программа COMBI на языке TURBO-BASIC для IBM PC, позволяющая рассчитывать основные характеристики электронно-оптических систем с совмещенными в пространстве, осесимметричными электростатическим и магнитным полями. Такие системы используются в эмиссионных системах, когда с помощью наложения магнитного поля на поле электронной пушки удавалось уменьшить коэффициенты центральных раберраций последней, а также имеются

сообщения об использовании зондовых систем с совмещенными полями, центральные aberrации которых также удалось уменьшить, благодаря подаче разности электростатического потенциала на полюсные башмаки формирующей линзы [1, 2].

Программа работает в диалоговом режиме и позволяет:

выбирать из меню различные линзы, как магнитные, так и электростатические, чтобы совмещать их в систему, для проведения расчетов подобных электронно-оптических систем;

выполнять необходимые изменения: ускоряющего напряжения, направления прохождения пучка электронов на обратное, смещение одной линзы по отношению к другой вдоль оси системы, а также изменение размеров, любой из линз;

для выбранного сочетания линз (электростатической и магнитной), а также задаваемых или найденных в программе в режиме поиска значения эксплуатационных параметров силы одной или обеих линз, рассчитать основные электронно-оптические характеристики системы: коэффициенты центральных aberrаций $C_{сф}$ и $C_{хр}$, фокусное расстояние, положение главных плоскостей, параметры зонда (размер, оптимальную апертуру, ток зонда и плотность тока в нем).

Программа имеет графическое сопровождение, показывающее конфигурацию используемых линз, распределение полей (производной электростатического потенциала и магнитной индукции) на оси системы, графики стандартных траекторий и результаты расчета. Последние по желанию записываются в отдельный файл.

В программе можно считать оптические характеристики систем с электростатическими линзами, работающими в режиме одиночной или иммерсионной линз.

Необходимые для проведения расчетов распределения электростатического и магнитного полей линз посчитаны по программе расчета электростатического потенциала методом интегральных уравнений ELT-RACE, разработанной для IBM PC в Институте аналитического приборостроения Г. В. Лебедевым и Н. А. Тимченко. Для магнитных линз считается скалярный магнитный потенциал $\Phi(z)$, с помощью которого по формуле $B(z) = -\mu I w \text{grad } \Phi(z)$ находится распределение магнитной индукции на оси $B(z)$ (μ — магнитная проницаемость вакуума; Iw — ампер-витки линзы). Это справедливо для линз, работающих при отсутствии насыщения материала магнитопровода. По этой программе просчитаны поля типичных электростатических и магнитных линз и представлены в меню на экране монитора. Перед началом счета можно просмотреть конструкцию и основные размеры выбранных линз.

Для расчета основных оптических характеристик таких совмещенных систем в данной программе решается следующее уравнение для траектории

$$r'' + \frac{\Phi'(z)}{2\Phi(z)} r' + \frac{1}{4\Phi(z)} \left[\Phi''(z) + \frac{\eta}{2} B^2(z) \right] r = 0. \quad (1)$$

Коэффициенты сферической $C_{сф}$ и хроматической $C_{хр}$ aberrаций считались по формулам:

$$C_{сф} = \frac{1}{\sqrt{\Phi(z)}} \int_{z_0}^{z_j} \left\{ v^4(z) \left[\frac{5}{64} \frac{[\Phi''(z)]^2}{\Phi^{3/2}(z)} - \frac{3}{512} \frac{\Phi''(z)(\Phi'(z))^2}{\Phi^{5/2}(z)} + \frac{3}{128} \frac{\eta^2 B^4(z)}{\Phi^{3/2}(z)} + \frac{\eta}{16} \frac{[B'(z)]^2}{\Phi^{1/2}(z)} + \frac{5}{64} \eta \frac{B^2(z)\Phi''(z)}{\Phi^{3/2}(z)} - \frac{\eta}{32} \frac{B(z)B'(z)\Phi'(z)}{\Phi^{3/2}(z)} \right] + \right.$$

$$\begin{aligned}
& + v^3(z) v'(z) \left[\frac{3 \Phi''(z) \Phi'(z)}{16 \Phi^{3/2}(z)} + \frac{\eta \Phi'(z) B^2(z)}{8 \Phi^{3/2}(z)} \right] + \\
& + v^2(z) [v'(z)]^2 \left[\frac{\Phi''(z)}{4 \Phi^{1/2}(z)} - \frac{\eta B^2(z)}{16 \Phi^{1/2}(z)} \right] + \\
& + v(z) [v'(z)]^3 \frac{\Phi'(z)}{2 \Phi^{1/2}(z)} \Bigg\} dz; \\
C_{\text{xp}} & = \frac{\sqrt{U_1}}{8} \int_{z_{об}}^{z_{из}} \left\{ 3 \frac{[\Phi'(z)]^2}{\Phi^{5/2}(z)} + \eta \frac{B^2(z)}{\Phi^{3/2}(z)} \right\} v^2(z) dz,
\end{aligned}$$

где $\Phi(z)$ — осевое распределение электростатического потенциала на оси линзы в вольтах (и его производных $\Phi'(z)$ и $\Phi''(z)$);

$B(z)$ — осевое распределение z составляющей магнитной индукции на оси линзы в теслах (и ее производной $B'(z)$);

$v(z)$ — стандартная траектория, являющаяся решением уравнения (1) с помощью подстановки $v(z) = r'(z) \Phi(z)^{1/4}$ с начальными условиями $v(z_0) = 0$ и $v'(z_0) = 1$ (и ее производная $v'(z)$);

$\eta = e/m$ — отношение заряда электрона к его массе;

U_1 — энергия электрона на входе в систему линз.

На рисунке приводится копия экрана при работе данной программы. На ней показаны схематичные изображения электростатической и магнитной линз, распределения полей этих линз, стандартные траектории, а также результаты расчета конкретного режима работы, где

$z_{об}$ — координата положения объекта относительно входного торца магнитной линзы;

$L_{из}$ — координата положения изображения относительно входного торца магнитной линзы;

$C_{сф}$ — коэффициент сферической aberrации комбинированной системы;

$C_{хр}$ — коэффициент хроматической aberrации комбинированной системы;

$U_{ср}$ — потенциал среднего электрода;

$U_{кр}$ — потенциал на выходе;

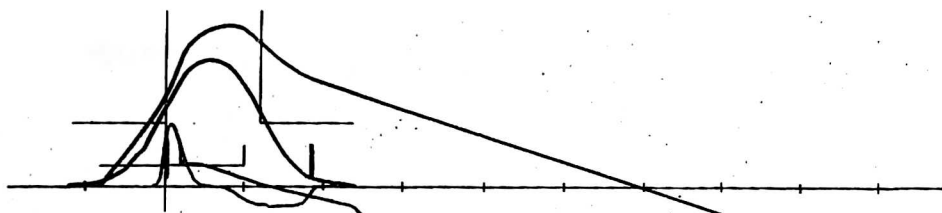
F — фокусное расстояние;

I_w — ампер-витки магнитной линзы;

U_{REL} — релятивистски исправленное ускоряющее напряжение.

Программа рассчитана на использование ее специалистами — конструкторами, разработчиками электронного оборудования.

ЦЕНА ДЕЛЕНИЯ = 25
 ОБЪЕКТИВ СВЭМ $D_1=D_2=S=30$ мм, $H=0,5$ мм, $NH=61$, $NK=121$, $NH_{REV}=61$
 $U_{REL}=20391.2$
 $P_1, P_2 = -0,7490234374999996$; 1
 $W = 1,00$



Линза изобретения (0-1-0), $H = 0,5$, $N = 152$ с

$H = 0,5$ $NH = 31$ Увелич. = $-4,07$

$NK = 122$ $D_1 = 4$ $Z_{ob} = -20,00$

$C_{sf} = 879,21536$

$C_{xp} = 169,40784$

$H_2 = 4,8533E + 00$

$OF = 3,3500E + 01$

$F = -2,8646E + 01$

$W = 1,00$

$I_w = 142,8$

$L_{iz} = 150,00$

$P_1 = -0,7490$

$P_2 = 1,00000$

$C_{xp2} = 1,62$

$U_{cp} = -14980,5$

$U_{kp} = 20000,0$

Копия экрана монитора при работе программы COMBI

Л и т е р а т у р а

1. Т р о у о н М. А magnetic field emission electron probe forming system, 7-th Europ. congress on Electron Microscopy. The Hague, 1980. 1. Physics. P. 56—57.
2. С п и в а к Г. В., С е д о в Н. Н., Д ю к о в В. Г., Ц в е т к о в а Л. Н. Двухэлектродный иммерсионный объектив с магнитными полем на катоде//Изв. АН СССР. Сер. Физ., 1966. Т. 30. № 5. С. 769—773.

THE SOFTWARE FOR COMPUTATION OF MAIN OPTICAL FEATURES OF ELECTRON-OPTIC SYSTEM WITH COMBINED IN THE SPACE ELECTROSTATIC AND MAGNETIC LENSES WITH AXIAL SYMMETRY

I. S. Macarowa

Research Institute for Electron and Ion Optics, Moscow, Russia

IBM PC-compatible software for computation of main features of electron-optic system with electrostatic and magnetic lenses, combined in the space, is elaborated. Program works in the dialogue mode and allows: to choose electrostatic and magnetic lenses from the menu and to combine their in electrooptic system; to image the lens's configuration, standard traectories and distributions of magnetic and electrostatic fields of lenses; to calculate the coefficients of aberration (C_s and C_o) and the main parameters of electron beam; results of computation is imaged on a screen of monitor and is saved in the special file; program can be using by designers of electrooptic systems.