

- 
15. Богдановский С.В., Симонов А.Н., Овчаренко К.Л. Метод определения координат источников радиоизлучения на основе поляризационных измерений // Труды Военно-космической академии им. А.Ф.Можайского, № 657, 2017. С. 41–46.
  16. Дворников С.В., Симонов А.Н. Поляризационное пеленгование интерферирующих радиоизлучений источников мобильного телевидения // Вопросы радиоэлектроники. Техника телевидения, 2018. Вып. 3. С. 116–122.
  17. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1977. 832 с.

*Симонов Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, [sanmailbox.ru](http://sanmailbox.ru), Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного*

***INTERFERING RADIO SIGNALS DATA PROCESSING MODEL BY POLARIZATION  
DIRECTION FINDING OF EMITTER SOURCES***

*A.N. Simonov*

*Model is used for processing interfering radio signals data from orthogonal antenna output. It is based on electrical vector result projection of interfering radio signals to scanning vector in space.*

*Key words: direction finding, interfering radio signals, model.*

*Simonov Alexey Nikolaevich, candidate of technical sciences, docent, [sanmailbox@yandex.ru](mailto:sanmailbox@yandex.ru), Russia, Sankt-Petersburg, Military Telecommunications Academy named after Marshal of the Soviet Union S. Budyonny*

УДК 004

**ПРОГРАММА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
КОМПОНЕНТОВ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В ZEMAX**

**В.А. Горячева, В.Л. Мазаев**

*Предлагается макрос программы Zemax для вычисления фокусного расстояния и фокальных отрезков компонентов оптической системы.*

*Ключевые слова: макрос, оптическая система, фокусное расстояние, передний фокальный отрезок, задний фокальный отрезок.*

Программа ZEMAX предназначена для расчета, моделирования, анализа оптических систем и является очень удобной программой, значительно облегчающей работу расчетчика. Спроектированная в данной программе оптическая система проходит несколько этапов разработки, последним этапом является выпуск чертежей. В соответствии с ГОСТ 2.412-81 [1] на чертежах оптических деталей разрабатываемой системы требуется указывать расчетные данные: фокусное расстояние и фокальные отрезки.

Программа ZEMAX позволяет получать расчетные данные отдельной оптической детали разработанной системы, при этом остальные компоненты оптической системы должны быть исключены. Поэтому для того, чтобы оформить чертежи оптических деталей разработанной системы, приходится затрачивать достаточно большое количество времени, особенно, если разработанная система состоит из шести компонентов и более.

Программирование на специально разработанном языке ZEMAX, значительно расширяет возможности пользователя, позволяя выполнять вычисления в самой программе ZEMAX с помощью макросов. Некоторые примеры макросов имеются в директории \MACROS, среди которых находится макрос по расчету фокусного расстояния, фокальных отрезков и главных плоскостей. Недостатком является то, что этот макрос написан для одиночных линз, т.е. эта программа непригодна, если оптическая система имеет две и более склеенные линзы.

Можно создать макрос для расчета фокусного расстояния и фокальных отрезков оптических деталей из двух и более склеенных линз.

Расчет хода параксиального луча через систему из  $k$  поверхностей осуществляется по следующей формуле [2]:

$$\begin{aligned}\alpha_{k+1} &= (n_k \cdot \alpha_k / n_{k+1}) + (h_k / (n_{k+1} \cdot r_k))(n_{k+1} - n_k), \\ h_k &= h_{k-1} - \alpha_k \cdot d_{k-1},\end{aligned}\quad (1)$$

где  $\alpha_k$  – угол падения параксиального луча на  $k$ -ую поверхность;  $h_k$  – высота параксиального луча, проходящего через  $k$ -ую поверхность;  $n_k$  – показатель преломления  $k$ -ой среды;  $r_k$  – радиус кривизны  $k$ -ой поверхности,  $d_k$  – толщина  $k$ -ой поверхности.

Из формулы (1) можно найти заднее фокусное расстояние и задний фокальный отрезок (2):

$$h_1/\alpha_{k+1} = f', h_k/\alpha_{k+1} = S'_{F'} \quad (2)$$

Применяя формулы (1) – (2) для расчета системы в обратном ходе луча, находим переднее фокусное расстояние и передний фокальный отрезок.

Далее создается макрос [3]. Приведем описание составленного макроса с пояснениями.

Макрос состоит из двух циклов, т.к. трассировку луча необходимо совершать в прямом и обратном ходе.

Вначале добавляется опорная поверхность (если ее нет).

*IF (IDX(1)!=1) THEN INSERT 1*

Печатается «шапка» таблицы, в которой будут представлены результаты расчета.

```
PRINT "_____"
PRINT "№ пов-ти: alpha : h"
PRINT "_____"
```

Задаются начальные условия.

$$\alpha=0; h=1 \quad (3)$$

Далее назначается цикл для трассировки луча через оптическую систему в прямом ходе луча.

*FOR N=1,NSUR()-1,1*

Для того, чтобы избежать деление на нуль, задается следующее условие:

*IF (CURV(N+1)==0) THEN CURV(N+1)=0.00000000000000000000000000000001*

*FORMAT 2.0*

*PRINT "(,N,"-",N+1,") :",*

*FORMAT 8.4*

Задаются  $\alpha$  и  $h$ .

*alpha=(INDX(N)\*alpha/INDX(N+1))+h\*(INDX(N+1)-  
INDX(N))/(INDX(N+1) \*RADI(N+1))*

*h=h-(alpha\*THIC(N+1))*

Поскольку нужно вычислить основные характеристики каждого компонента оптической системы, задается следующее условие:

*IF (INDX(N)==1)*

*THIC(N)=0*

*alpha=0*

*h=1*

*alpha=(INDX(N)\*alpha/INDX(N+1))+h\*(INDX(N+1)-  
INDX(N))/(INDX(N+1)\*RADI(N+1))*

*h=h-(alpha\*THIC(N+1))*

*ENDIF*

*PRINT alpha,":",h*

Из этого условия следует, что как только луч проходит среду «воздух», для предыдущего оптического компонента выводятся на печать рассчитанные  $\alpha$  (*alpha*),  $h$ , а для следующего компонента задаются начальные  $\alpha$ ,  $h$  (3) и луч трассируется с начальными условиями через следующие поверхности, пока снова не дойдет до среды «воздух».

Затем рассчитываются и выводятся на печать фокусное расстояние и задний фокальный отрезок, как только луч проходит среду «воздух».

*IF (INDX(N+1)==1)&(alpha!=0)*

*F=1/alpha*

*SFP=h/alpha*

*IF(F>=10000000)*

*F=0*

*SFP=0*

*ENDIF*

*PRINT "f'=", F, " Sf'=", SFP*

*PRINT "\_\_\_\_\_"*

*ENDIF*

Завершение цикла.

*NEXT*

Для расчета переднего фокусного расстояния и переднего фокального отрезка, задается новый цикл.

Печатается напоминание и «шапка» таблицы, в которой будут представлены результаты расчета.

*PRINT*

*PRINT* "Так как расчет идет в обратном ходе луча, параметры первого компонента показаны в конце"

*PRINT*

*PRINT* "\_\_\_\_\_ "

*PRINT* "№ пов-ти: alpha : h"

*PRINT* "\_\_\_\_\_ "

Задаются начальные условия.

*alph=0*

*hd=0*

При задании трассировки луча в обратном цикле, цикл задается от последней поверхности к первой. Принцип написания программы для этого случая тот же, что и для вышеприведенного, поэтому дальнейшие пояснения не требуются.

*FOR i=NSUR()-1,2,-1*

*FORMAT 2.0*

*PRINT "(" ,i,"-",i-1,"):" ,*

*FORMAT 8.4*

*alph=(INDX(i)\*(alph)/INDX(i-1))+hd\*(INDX(i-1)-INDX(i))/(INDX(i-1)\*(-1)\*RADI(i))*

*hd=hd-(alph\*THIC(i-1))*

*IF (INDX(i)==1)*

*alph=0*

*hd=1*

*alph=(INDX(i)\*(alph)/INDX(i-1))+hd\*(INDX(i-1)-INDX(i))/(INDX(i-1)\*(-1)\*RADI(i))*

*hd=hd-(alph\*THIC(i-1))*

*ENDIF*

*PRINT alph,":",hd*

*IF (INDX(i-1)==1)&(alph!=0)*

*F=-1/alph*

*SF=-hd/alph*

*IF(F>=10000000)*

*F=0*

*SF=0*

*ENDIF*

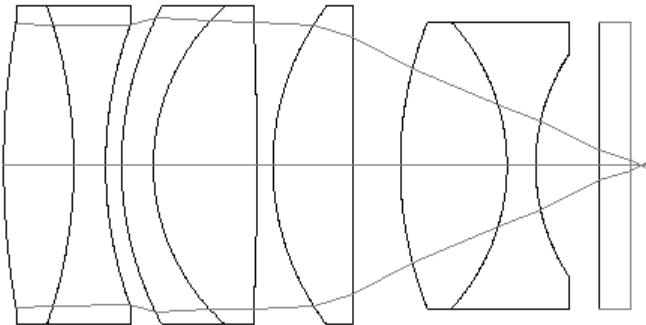
*PRINT "f=", F, " Sf=", SF*

*PRINT "\_\_\_\_\_ "*

*ENDIF*

*NEXT*

Для проверки работы программы, возьмем систему четырехкомпонентного объектива, имеющего три компонента из двух склеенных линз, представленную на рис. 1. В чертежах на оптические детали необходимо указывать основные расчетные характеристики для  $\lambda=0,546$  мкм, поэтому в окне 'Wavelength Data' основную длину волны следует ставить 0,546 мкм.



**Рис. 1. Объектив из четырех компонентов**

Далее вызвав созданный макрос, откроется окно *Text Viewer* с результатами расчета, представленное на рис. 2.

4: Text Viewer

Update Settings Print Window

# пов-ти: alpha : h

```

( 1- 2) : 0.0063: 0.9725
( 2- 3) : 0.0009: 0.9707
( 3- 4) : -0.0259: 0.9967
F=-38.5442 SF'=-38.4158

( 4- 5) : 0.0195: 0.9609
( 5- 6) : 0.0173: 0.8487
( 6- 7) : 0.0307: 0.8180
F= 32.5669 SF'= 26.6406

( 7- 8) : 0.0259: 0.8707
( 8- 9) : 0.0443: 0.7377
F= 22.5551 SF'= 16.6394

( 9-10) : 0.0161: 0.8920
(10-11) : 0.0131: 0.8685
(11-12) : -0.0269: 0.9762
F=-37.1394 SF'=-36.2559

(12-13) : 0.0000: 1.0000
(13-14) : 0.0000: 1.0000
F= 0.0000 SF'= 0.0000

(14-15) : 0.0000: 1.0000

```

Так как расчет идет в обратном ходе луча, параметры первого компонента показаны в конце

```

# пов-ти: alpha : h

(14-13): -0.0000: 1.0000
(13-12): -0.0000: 1.0000
F= 0.0000 SF= 0.0000

(12-11): -0.0330: 1.0594
(11-10): -0.0373: 1.3896
(10- 9): -0.0269: 1.3896
F= 37.1394 SF= 48.6365

( 9- 8): -0.0005: 1.0026
( 8- 7): 0.0443: 1.0026
F=-22.5551 SF=-22.6141

( 7- 6): 0.0019: 0.9875
( 6- 5): -0.0012: 0.9899
( 5- 4): 0.0307: 0.9899
F=-32.5669 SF=-32.2379

( 4- 3): -0.0163: 1.0326
( 3- 2): -0.0246: 1.1407
( 2- 1): -0.0259: 1.1407
F= 38.5442 SF= 43.9674

```

**Рис. 2. Окно редактора Text Viewer**

Созданный макрос облегчает работу пользователя, позволяет рас- считать фокусное расстояние и фокальные отрезки оптических деталей из одиночных линз, а также из склеенных двух и более линз. Кроме того, значитель но сокращается время разработки чертежа оптической детали спро-ектированной системы.

### **Список литературы**

1. ГОСТ 2.412-81 (СТ СЭВ 139-86). Правила выполнения чертежей и схем оптических изделий. 3 с.
2. Панов В.А., Кругер М.Я. и др. Справочник конструктора оптико- механических приборов. Л.: Машиностроение, 1980. С. 71-72.
3. ZEMAX Optical design program. User's guide. Tucson, Arizona, USA: Zemax Development Corporation, 2010. С. 822 – 932.

*Горячева Варвара Александровна, аспирант, [irina-gorjacheva31@rambler.ru](mailto:irina-gorjacheva31@rambler.ru),  
Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Мазаев Вячеслав Леонидович, аспирант, [Mazaev-slava@mail.ru](mailto:Mazaev-slava@mail.ru), Россия, Тула,  
Тульский государственный университет*

### **GENERAL DATA OF OPTICAL SYSTEM COMPONENTS ZEMAX PROGRAM**

*V.A. Goryacheva, V.L. Mazaev*

*There is suggested the macros of Zemax for finding both an effective focal length and a back focal length and a front focal length of the optical system components.*

*Key words: macros, optical system, effective focal length, front focal length, back focal length.*

*Goryacheva Varvara Alexandrovna, postgraduate, [irina-gorjacheva31@rambler.ru](mailto:irina-gorjacheva31@rambler.ru),  
Russia, Tula, Tula State University,*

*Mazaev Vyacheslav Leonidovich, postgraduate, [Mazaev-slava@mail.ru](mailto:Mazaev-slava@mail.ru), Russia,  
Tula, Tula State University*