

ОПТИМИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н.Е. РОССОМАХИНА, Н.А. АГАПОВ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: rossomahina96@mail.ru

Проблемы оптимизации, то есть поиска наилучшего решения (от лат. optimum – наилучшее), естественным образом возникают при рассмотрении самых разнообразных задач. В общем случае не существует точных аналитических методов решения поставленной задачи оптимизации, поэтому поиск минимума оценочной функции всегда строится как итерационный процесс последовательных приближений к минимуму, то есть конечная точка должна быть лучше (ниже) начальной. Также важно, чтобы при оптимизации *оптической системы* (ОС) сохранялись некоторые ее параметры, например, оптическая сила на заданной длине волны.

В данной работе предлагается алгоритм, позволяющий проводить оптимизацию при неизменном значении оптической силы системы и (при необходимости) одного из ее компонентов (по выбору). Этот алгоритм особенно полезен, например, при оптимизации параметров ахроматического объектива, в котором оптические силы компонентов должны иметь определенную, не изменяемую при оптимизации оптическую силу. Оценочной функцией является радиус точечной диаграммы $r_{Т.д.}$ (радиус геометрического кружка рассеяния). В качестве корригируемого параметра используется радиус i -ой поверхности r_i . Для того чтобы оптическая сила системы не изменялась, подгоняется радиус j -ой поверхности r_j . Для расчета r_j при изменении r_i используются свойства скобок Гаусса. Выбор корригируемого радиуса r_i и подгоночного r_j – процесс эвристический. Как известно [1], начальные и конечные данные луча связаны преобразованием вида:

$$\begin{pmatrix} \vec{A}' \\ \vec{S}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \vec{A} \\ \vec{S} \end{pmatrix},$$

где \vec{A} , \vec{S} – начальные данные луча, \vec{A}' , \vec{S}' – конечные данные луча,

$$\gamma = -\Phi = [\gamma_k, \beta_{k-1}, \gamma_{k-1}, \dots, \beta_1, \gamma_1], \quad (1)$$

$$\gamma_i = -\Phi_i = -\frac{\varepsilon_{i+1} \cdot n_{i+1} - \varepsilon_i \cdot n_i}{r_i}, \quad (2)$$

$$\beta_i = \frac{\varepsilon_{i+1} \cdot d_i}{n_i},$$

Φ – оптическая сила системы, Φ_i – оптическая сила i -ой поверхности, k – количество поверхностей в системе, ε_i – знак направления хода луча перед i -ой поверхностью, n_i – показатель преломления среды перед i -ой поверхностью, d_i – расстояние между вершинами i -ой и $i+1$ -ой поверхностей. Для упрощения дальнейших математических выкладок введем некоторые обозначения:

$$a_{2-i-1} = \gamma_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, k, \quad (3)$$

$$a_{2-i} = \beta_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, k-1. \quad (4)$$

С учетом (3) и (4) выражение (1) примет вид:

$$\gamma = [a_n, a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_2, a_1] = [a_n a_1].$$

Гауссовы скобки обладают удивительными свойствами [1]. Приведем некоторые из них, те, которые будут для нас полезны.

а) Гауссова скобка симметрична, то есть $\gamma = [a_n a_1] = [a_1 a_n]$.

б) Гауссова скобка является линейной функцией любого из своих элементов:

$$[a_1 a_n] = [a_1 a_{\chi-1}] \cdot [a_{\chi+1} a_n] \cdot a_{\chi} + [a_1, a_{\chi-1} + a_{\chi+1}, a_n], \quad n > 1. \quad (5)$$

Именно свойство (5) позволяет рассчитать значение r_j при изменении r_i и неизменной оптической силы ОС. Из (5) находим a_{χ} ($\chi = 2 \cdot j - 1$), а из (2) – соответствующее значение r_j . На основе разработанного алгоритма была написана программа «Оптика» в среде *Mathcad 15*. В программе предусмотрена возможность оптимизировать $r_{Т.д.}$ не всей точечной диаграммы, а ее части с заданным количеством энергии.

Рассмотрим пример. Пусть необходимо рассчитать несклеенный ахроматический объектив для видимого диапазона с параметрами: $f' = 300$, $\forall = 1:3$, комбинация стекол К8–ТФ3. Пользуясь известными формулами [2], находим конструктивные параметры (таблица 1) и гауссовы характеристики (таблица 2) объектива:

Таблица 1

$r_1 = 182,244$	$d_1 = 18,2$
$r_2 = -151,163$	$d_2 = 1,2$
$r_3 = -146,769$	$d_3 = 10$
$r_4 = -361,549$	$d_4 = 285,08$

Таблица 2

f'	300
$s'_{F'}$	285,08
s_F	-295,64

Проведем оптимизацию объектива в программе «Оптика», используя в качестве корректируемого параметра радиус r_1 , а в качестве подгоночного параметра радиус r_2 . Результаты оптимизации: $r_1 = 184,541$, $r_2 = -149,582$. Ниже приведены точечные диаграммы (ТД) в плоскости наилучшей установки (ПНУ) до оптимизации (рис. 1) и после оптимизации (рис. 2), а также результаты расчета хроматической aberrации положения. Оптимизация радиусов второй линзы улучшения практически не дает.

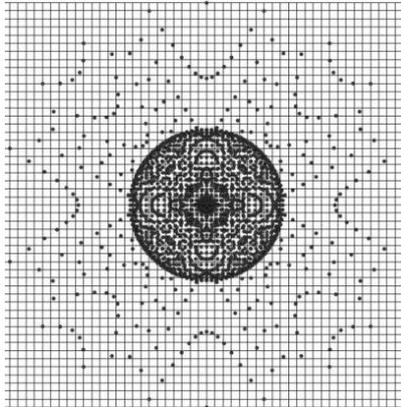


Рисунок 1 – ТД в ПНУ до оптимизации
Радиус ядра: 0,056 мм
Радиус ТД в ПНУ: 0,1 мм

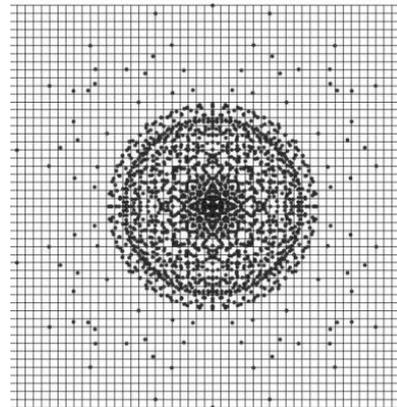


Рисунок 2 – ТД в ПНУ после оптимизации
Радиус ядра: 0,015 мм
Радиус ТД в ПНУ: 0,03 мм

Хроматическая aberrация положения $\delta s'_{xp.} = 0,0918$ до оптимизации и $\delta s'_{xp.} = 0,0875$ после оптимизации, то есть, практически не изменилась.

Список литературы.

1. Гецбергер М. Современная геометрическая оптика. – М.: Издательство иностранной литературы, 1962. – 490 с.
2. Апенко М.И., Запрягаева Л.А., Свешникова И.С. Задачник по прикладной оптике – М.: Издательство «Недра», 1987. – 310 с.