

УДК 535.317; 681.7

**АЛГОРИТМ РАСЧЕТА И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СКЛЕЕННОГО И НЕСКЛЕЕННОГО КОЛЛИМАТОРНЫХ ОБЪЕКТИВОВ АХРОМАТОВ**

**Алешкевич К. В., Артюхина Н. К., Кузнецик В. О.**

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Представлен расчет габаритных размеров и конструктивных параметров двухлинзового склеенного и несклеенного объективов-ахроматов, проведен сравнительный анализ полученных систем.

**Ключевые слова:** объектив коллиматора, ахромат, габаритный расчет, анализ конструкции объективов.

**CALCULATION ALGORITHM AND COMPARATIVE ANALYSIS OF GLUED AND NONGLUED COLLIMATOR ACHROMAT LENSES**

**Aleshkevich K. V., Artyukhina N. K., Kuznechik V. O.**

*Belarusian National Technical University*

*Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** The calculation of overall dimensions and design parameters of two-lens glued and nonglued achromat lenses is presented, a comparative analysis of the obtained systems is carried out

**Key words:** collimator achromat lens, dimensional calculation, analysis of lens design.

Адрес для переписки: Алешкевич К.В., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: kari.alyshkevich@gmail.com.

Коллиматоры используются в составе измерительных установок для контроля оптических систем, поэтому к их качеству предъявляются жесткие требования, в особенности, к объективам.

Объективы коллиматоров бывают линзовыми, состоящими из двух: склеенные или несклеенные (рисунок 1) или более линз и зеркальными: сферические и параболические зеркала.

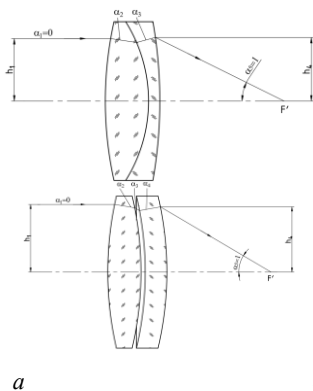


Рисунок 1 – Объективы коллиматорные: а – склеенный; б – несклеенный

К основным особенностям объективов относятся: диаметр от 50 до 300 мм (в склеенных до 150 мм); небольшие aberrации: сферическая и кома, хроматизм положения, малое угловое поле (1–2°) и относительное отверстие изменяется в пределах 1:5–1:20.

На основе анализа качества рассчитанной оптической системы, величин остаточных aberrаций и технологичности объектива делается заключение о возможности использования объектива в коллиматорах.

Цель работы – сравнительный анализ двухлинзовых склеенного и несклеенного коллиматорных объективов ахроматов, рассчитанных для одинакового фокусного расстояния.

Проведен расчет габаритных размеров и конструктивных параметров объективов по представленному алгоритму (таблица 1), согласно методике Слюсарева Г. Г. [1].

Таблица 1 – Формулы для расчета объективов

№	Название	Формула
1	Нормировка первого параксиального луча	$\alpha_1 = 0; h_1 = 1; \alpha_n = 1$
2	Показатель дисперсии материала	$v = \frac{n - 1}{n_{\lambda 1} - n_{\lambda 2}}$
3	Оптические силы линз	$\varphi_1 = \frac{v_1}{v_1 - v_2}; \varphi_2 = 1 - \varphi_1$
4	Третий нулевой угол	$\alpha_3 = \left(1 - \frac{1}{n_3}\right) Q + \varphi_1$
5	Инвариант поверхности склейки	$P^\infty = aQ^2 + bQ + 1 = 0,$ $a = 1 + \frac{2\varphi_1}{n_2} + 2(1 - \varphi_1)/n_3;$ $b = \frac{3}{n_2 - 1}\varphi_1^2 - \frac{3}{n_3 - 1}(1 - \varphi_1)^2 - 2 + 2\varphi_1;$ $c = \frac{n_2}{(n_2 - 1)^2}\varphi_1^3 + \frac{n_3}{(n_3 - 1)^2}(1 - \varphi_1)^3 + \frac{n_3}{n_3 - 1}(1 - \varphi_1)^2$
6	Уравнение исправления комы	$S_{II}^\infty = W^\infty = 0$
7	Уравнение исправления сферической aberrации	$S_I^\infty = \sum_1^4 P_v = P^\infty = 0$

Продолжение таблицы 1

8	Уравнение для нахождения второго нулевого луча	$D\alpha_2^2 + E\alpha_2 + F = 0$ $D = \alpha_3 b^2(2a + 3) + (1 - \alpha_3)a^2(2b + 3)A^2;$ $E = 2ABa^2(2b + 3)(1 - \alpha_3) - \alpha_3^2 b^2(a + 3) + Aa^2(b + 3)(\alpha_3^2 - 1);$ $F = B^2 a^2(2b + 3)(1 - \alpha_3) + Ba^2(b + 3)(\alpha_3^2 - 1) + \alpha_3^3(b^2 - a^2) + a^2.$
9	Уравнение для нахождения четвертого нулевого луча	$\alpha_4 = A\alpha_2 + B$ $A = \alpha_3 b(a + 2)/[a(b + 2)(\alpha_3 - 1)];$ $B = [\alpha_3^2(b - a) + a]/[a(b + 2)(1 - \alpha_3)];$ $a = \frac{1}{n_2} - 1; b = \frac{1}{n_4} - 1.$
10	Контроль полученных значений	$P_v = \left[ \frac{\delta\alpha_v}{\delta(1/n_v)} \right]^2 \delta \left( \frac{\alpha_v}{n_v} \right) =$ $W_v \frac{\delta\alpha_v}{\delta(1/n_v)};$ $W_v = \frac{\delta\alpha_v}{\delta(1/n_v)} \delta \left( \frac{\alpha_v}{n_v} \right)$
11	Радиуса кривизны	$r_{vTH} = h_v(n'_v - n_v)/(n'_v \alpha'_v - n_v \alpha_v)$
12	Стрелки прогиба	$k_1 = r_1 - \sqrt{r_1^2 - \frac{D_n^2}{4}};$ $k_2 = r_2 + \sqrt{r_2^2 - \frac{D_n^2}{4}}$
13	Толщины линз	$d_1 = k_1 + d_{min} - k_2;$ $d_3 = 0,1D_n$
14	Высоты нулевых лучей	$h_{n+1} = h_n - d_n \alpha_{n+1}$
15	Относительные высоты	$h_n/h_1 = \bar{h}_n$
16	Радиуса линз конечной толщины	$r_n = r_{nTH} \cdot \bar{h}_n$
17	Углы нулевого луча	$\alpha_{n+1} = \frac{n_n \alpha_n}{n_{n+1}} + \frac{h_n(n_{n+1} - n_n)}{n_{n+1} r_n}$

В коллиматорных объективах исправляются сферическая абберация и кома (формулы (6) и (7)), а также хроматизм положения. Коррекционными параметрами в обеих системах являются: для сферической абберации – второй угол нулевого луча, для комы – четвертый угол нулевого луча в несклеенном и третий угол в склеенном.

Для исправления хроматизма положения были рассмотрены различные комбинации стекол и выбрана комбинация, наиболее удовлетворяющая условию ахроматизации. Для обоих объективов это комбинация из марок стекол К8 и Ф1.

В ходе абберационного расчета и последующей оптимизации объективов с заданным фокусным расстоянием  $f' = 600$  мм и относительным отверстием 1:6,5 в программном пакете «Орал»

были получены конструктивные и абберационные параметры, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры рассчитанных объективов

Параметры	Склеенный	Несклеенный
Радиусы кривизны	$r_1 = 273,72$ $r_2 = -253,94$ $r_3 = -3826,93$	$r_1 = 363,73$ $r_2 = -202,85$ $r_3 = -205,47$ $r_4 = -886,81$
Толщины по оси	$d_1 = 10$ $d_2 = 9$	$d_1 = 11$ $d_2 = 0,1$ $d_3 = 9$
Фокусное расстояние $f'$ и фокальный отрезок $S'_f$ , мм	$f' = 599,6;$ $S'_f = 587,09$	$f' = 599,6;$ $S'_f = 589,88$
Сферическая абберация $\Delta s'$ , мм	0,00058	-0,00036
Хроматизм положения $\Delta s'_{C'-e}$ , мм	0,34705	0,29302
Неизопланатизм $\eta$ , %	-0,2869	-0,0022

Из анализа полученных систем можно сделать следующие выводы:

- габариты у несклеенного объектива больше, чем у склеенного;
- склеенная система имеет большой радиус кривизны последней поверхности (технологически получить сложнее);
- у несклеенного объектива сферическая абберация, хроматизм положения и неизопланатизм меньше, у склеенного – меньше сферохроматической разность;
- центрирование несклеенного объектива будет обеспечиваться конструкцией крепления объектива, а склеенного – клеейкой (линзы диаметром более 150 мм не склеиваются);
- в несклеенном объективе малый воздушный промежуток между линзами, поэтому конструкция механики будет более сложной (промежуточное кольцо должно быть с врезанием в линзы, что приведет к увеличению диаметров линз, а также введению дополнительной операции в технологический процесс изготовления линзы);
- в склеенном объективе на качество изображения влияет клеящий слой (при диаметрах линзы больше 70 мм клеящий слой значительно ухудшает качество изображения из-за напряжений в клеящем веществе).

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что для заданных параметров наилучшим качеством изображения будет обладать несклеенный объектив. Однако, при проектировании коллиматорных объективов необходимо учитывать не только, результаты компьютерных методов расчета оптических систем, но и

технологические особенности изготовления, сборки, юстировки и контроля коллиматорных объективов (более сложная конструкция крепления линз у несклеенного объектива), а также возможности предприятия-изготовителя.

**Литература**

1. Апенко, М. И. Задачник по прикладной оптике: учеб. пособие для вузов. / М. И. Апенко, Л. А. Запругаева, И. С. Свешникова. – М.: Недра, 1987. – 310 с.

УДК 517.91

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АСФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ПП ZEMAX И ПЕРЕАППРОКСИМАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ**

**Артюхина Н. К., Мамай Е. Ю., Филиппов Ф. А., Шанчук В. А.**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Представлено моделирование асферических поверхностей и переаппроксимация в ПП ZEMAX.

**Ключевые слова:** моделирование оптических компонентов, четная асферика, нечетная асферика, переаппроксимация.

**MODELING OF ASPHERICAL SURFACES IN THE ZEMAX SP AND SURFACE RE-APPROXIMATION**

**Artyukhina N., Mamay Y., Philippov F., Shanchuk V.**

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** The modeling of aspherical surfaces and the re-approximation in the ZEMAX SP are presented.

**Key words:** Modeling of optical components, even aspherics, odd aspherics, re-approximation.

*Адрес для переписки: Мамай Е. Ю., пр. Независимости 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: georgemamay@gmail.com*

Пакет программ Zemax позволяет моделировать многие типы оптических компонентов, включая элементы с обычными сферическими поверхностями, а также с асферическими, торриадальными, цилиндрическими и другими [1].

Выбор типа поверхности (рисунок 1) осуществляется по соответствующей ячейке колонки Surface type таблицы редактора данных (LDE):

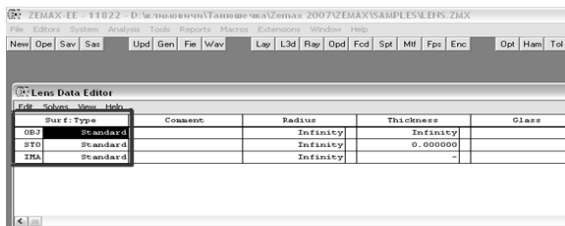


Рисунок 1 – Колонка поверхностей

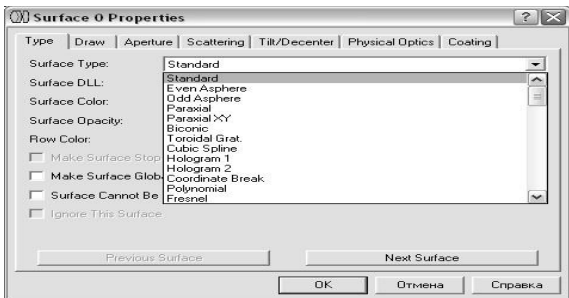


Рисунок 2 – Типы поверхностей

А далее во вкладке Type (рисунок 2) устанавливается нужный тип поверхности.

К категории стандартных в ПП Zemax относятся следующие поверхности:

- сферические;
- плоские (частный случай сферических);
- асферические второго порядка.

Прогиб стандартной поверхности определяется формулой:

$$z = \frac{h^2}{R(1 + \sqrt{1 - (1+k)(\frac{h}{R})^2}} \tag{1}$$

где  $\frac{1}{R}$  – кривизна поверхности;  $h$  – радиальная координата;  $k$  – коническая постоянная поверхности, которая определяется следующим образом:

$$k = -e^2, \tag{2}$$

где  $e$  – эксцентриситет образующей.

Отметим,  $k < -1$  – для гиперболических поверхностей;  $k = -1$  – для параболических поверхностей;  $0 < k < 1$  – для эллиптических поверхностей;  $k = 0$  – для сферических поверхностей.

Таким образом для того, чтобы задать Standard поверхность, требуется определить только несколько величин, таких как радиус кривизны, расстояние по оси до следующей поверхности, коническая постоянная и марку стекла (или зеркальную поверхность MIRROR).