

References

1. D. Breitling, C. Föhl, F. Dausinger, T. Kononenko, and V. Konov, in *Femtosecond Technology for Technical and Medical Applications*, F. Dausinger, F. Lichtner and H. Lubatschowski, eds. (Springer, Berlin, 2004).
2. E. Caracciolo et al., «28-W, 217 fs solid-state Yb:CaIGdO₄ regenerative amplifiers», *Opt. Lett.* 38, 4131-4133 (2013).
3. G.H. Kim et al., «A high brightness Q-switched oscillator and regenerative amplifier based on a dual-crystal Yb:KGW laser», *Laser Phys. Lett.* 10 (2013) 125004 (5pp).
4. 223. High power CW and mode-locked laser performance of Yb³⁺:YAl₃(BO₃)₄ crystal / V.E. Kisel, A.S. Rudenkov, K.N. Gorbachenya, V.V. Maltsev, N.I. Leonyuk, N.V. Kuleshov // 18th Conference on Laser Optics : technical program, St. Petersburg, Russia, 4–8 June 2018. – P. WeR1-25.
5. P. Sévillano et al., «32-fs Kerr-lens mode-locked Yb:CaGdAlO₄ oscillator optically pumped by a bright fiber laser», *Opt. Lett.* 39, 6001–6004 (2014).
6. V.E. Kisel et al., «High-power, efficient, semiconductor saturable absorber mode-locked Yb:KGW bulk laser», *Opt. Lett.* 40, 2707–2710 (2015).
7. A. Rudenkov, V. Kisel, A. Yasukevich, K. Hovhannesian, A. Petrosyan, and N. Kuleshov, «Yb³⁺:CaYAlO₄-based chirped pulse regenerative amplifier», *Opt. Lett.* 41, 2249–2252 (2016).
8. A. Rudenkov, V. Kisel, V. Matrosov, and N. Kuleshov, «200 kHz 5.5 W Yb³⁺:YVO₄-based chirped-pulse regenerative amplifier», *Opt. Lett.* 40, 3352-3355 (2015).

УДК 681.7 (075.8)

МЕТОД ЗЕРКАЛЬНОЙ РАЗВЕРТКИ ДЛЯ ГАБАРИТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТИВОВ Артюхина Н.К.¹, Чернавцич Д.А.¹, Самбрано Л.Ф.¹, Клочко Т.Р.²

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь²Национальный технический университет «Киевский политехнический институт», Киев, Украина

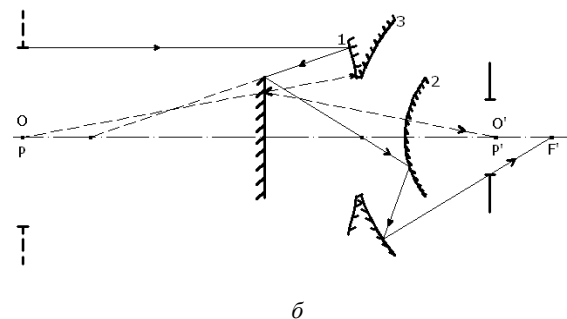
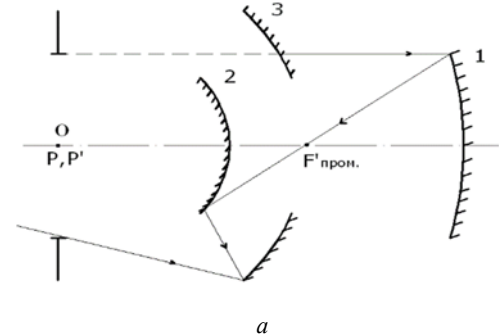
Зеркальные системы широко используются в оптическом приборостроении. Они не имеют хроматических aberrаций для любых апертур и фокусных расстояний. Достоинства зеркальных систем: высокое разрешение в широком оптическом спектральном диапазоне; отсутствие селективной непрозрачности и ограничений по апертуре, связанных с размерами заготовок; небольшие габариты, меньшая длина, чем в линзовых и зеркально-линзовых ОС, выигрыш по весу (особенно для объективов диаметрами больше 200 мм); а также экономичность материалов, подтверждают актуальность проблемы моделирования и разработки зеркальных систем.

В связи с расширением диапазона длин волн спектра в ИК и УФ областях оптоэлектронных приборов широкое распространение получила группа чисто зеркальных оптических систем (ОС). Такие системы достаточно компактны; при сравнительно несложной конструкции можно получить достаточно совершенную коррекцию сферической aberrации и меридиональной комы.

Одно из направлений в вычислительной оптике – постоянный поиск новых схем с улучшенными характеристиками. Это определяется интенсивным развитием оптической отрасли, развитием новых технологий и исследований.

В данной работе рассматривается новый метод, основанный на зеркальной развертке оптической системы. С помощью этого метода можно решить большинство проблем, возникающих при габаритном моделировании и параметрическом расчете зеркальных объективов.

Метод основан на теоретических положениях, приведенных в работе [1]. С использованием метода было получено ранее новое схемное решение зеркального концентрического объектива [2]. На рисунке 1, а приведена конструкция объектива, состоящая из трех концентрических зеркал (базовая схема).



а – схематический чертеж; б – схема с плоским зеркалом

Рисунок 1 – Зеркальный концентрический объектив

Этот объектив представляет собой развертку альтернативной схемы с плоским зеркалом (рисунок 1, б), которая обладает рядом преимуществ по сравнению с базовой [3]:

- 1) для исправления сферической аберрации меняют увеличение второй ступени объектива, а также соотношения радиусов поверхностей;
- 2) кривизна поля отрицательна, поверхность изображения представляет собой правильную сферу, радиус кривизны которой равен фокусному расстоянию объектива (влияние кривизны компенсируют, применяя сферические фотопластинки или сферический приемник);
- 3) в схеме есть промежуточный действительный фокус, что дает прямое изображение вне системы.

Недостатком данной системы является только большая длина. При введении в схему ОС дополнительного компонента (плоского зеркала) происходит изменение положения зрачков, выходной зрачок оказывается мнимым (изначально зрачки совпадают с центром кривизны concentрических зеркал).

Плоское поле изображения получено в базовой системе, представленной на рисунке 2 (одно из зеркал имеет центральное отверстие для прохождения светового пучка лучей).

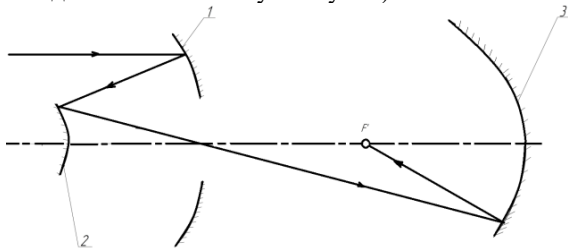


Рисунок 2 – Схемное решение трехзеркального объектива с промежуточным изображением

Аналогичное использование метода зеркальной развертки привело к созданию компактного план-анастигмата, его схема использует зеркальный компонент – двойное зеркало, объединяющий первую и четвертую отражающие поверхности, так называемый линзовый монолит (рисунок 3).

Расчитана альтернативная схема. Система имеет промежуточное изображение. В системах с промежуточным изображением асферические зеркала имеют более технологичную форму и проще решается задача защиты плоскости изображения от постороннего света. Четыре аберрации 3-го порядка устранены за счет достаточного числа коррекционных параметров.

Отличие метода расчета состоит в том, что при $\alpha_3 \neq 0$ параметр d_2 нельзя использовать для компенсации аберраций: все значения толщин d_5 (в том числе и d_2) определены при известных значениях углов α_s и высот h_s , но зато появляется дополнительный параметр $h_3 \neq h_2$. Самым лучшим решением, определяющим схему с минимальным числом коэффициентов асферики,

является нахождение математических зависимостей между углами α_s без появления дробных степеней. Для расчета конструктивных параметров использован комбинированный метод расчета.

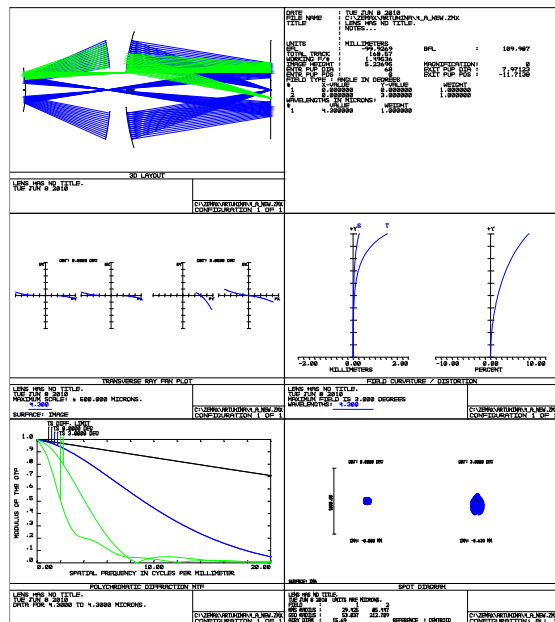


Рисунок 3 – Аберрационная оценка качества изображения объектива план-анастигмата ($f' = 100$ мм; $D/f' = 1 : 1,5$; $2\omega = 6^\circ$)

Трехзеркальные схемы с промежуточным изображением, полученные традиционными методами имеют откорректированные значения комы, сферической аберрации и астигматизма за счет придания асферической формы всем поверхностям зеркал, но из-за чрезмерно высоких относительных отверстий зеркал (порядка 1:0,3) системы технологически не осуществимы и не может обладать хорошими оптическими характеристиками: поле зрения 2ω получается очень малым из-за ограниченных размеров центрального отверстия в выпуклом зеркале. Анализ таких систем приведен в статье [4].

Литература

1. Чуриловский, В.Н. Теория хроматизма и аберраций 3-го порядка / В.Н. Чуриловский. – Л.: Машиностроение, 1968. – 312 с.
2. Артюхина Н.К. Патент РБ № 17403 на изобретение «Зеркальный объектив», 2013, Оф. бюл. Изобретения. Патентные модели. Промышленные образцы, 2013. – № 4. – С. 165.
3. Артюхина Н.К. Патент РБ № 20856 на изобретение С1. Оф. бюл. Изобретения. Патентные модели. Промышленные образцы, 2017. – № 1. – С. 123.
4. Артюхина Н.К., Тульева Н.Н. Трехзеркальный длиннофокусный объектив-анастигмат. Вести НАН РБ. Серия физико-технических наук, 2010. – № 4. – С. 93–99.