

УДК 535.015

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ЛУЧЕЙ ДЛЯ СИНТЕЗА ЛИНЗЫ-БАБОЧКИ ДЛЯ КАМЕРЫ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА

Терло Я. В<sup>1</sup> (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к. т. н., доцент Вознесенская А. О.  
(Университет ИТМО)

<sup>1</sup>[vespasian1999@gmail.com](mailto:vespasian1999@gmail.com)

Работа выполнена в рамках темы НИР №225018 «База данных оптических схем и алгоритм глобального поиска».

### Введение

Современные камеры мобильных телефонов сочетают в себе миниатюрные объективы, высокочувствительные сенсоры и сложные оптико-математические алгоритмы обработки изображения. Объективная часть включает в себя несколько стеклянных и/или пластиковых линз, зачастую с применением асферики высоких порядков [1, 2]. В работе рассматриваются результаты расчета последней линзы (т. н. «линзы-бабочки» [3]) с помощью метода геометрического отображения лучей (МГОЛ) для предварительно рассчитанного объектива с поверхностями второго порядка.

### Основная часть

Расчет асферики высоких порядков всегда сопряжен с большими трудностями: необходимо учитывать особенности изготовления детали (гладкость и невысокую однородность поверхности), предельную степень асферичности, влияние допусков и припусков на качественные характеристики и т. д. [4]. Для упрощения данного процесса было решено воспользоваться ранее примененным ([5]) методом геометрического отображения хода лучей для расчета профилей поверхностей последней одиночной «линзы-бабочки».

За основу системы взят объектив, состоящий из четырех линз с поверхностями второго порядка, рассчитанного на минимум сумм Зейделя по методу Слюсарева (аббераций третьих порядков). Его предварительные качественные характеристики не удовлетворяют критериям, выдвинутым к подобным системам: СКО пятна рассеяния превышает 100 мкм в диаметре, а ЧКХ для 12 пл/мм на поле составляет менее 0.2. Для повышения качества системы было решено использовать алгоритм на основе МГОЛ, рассчитывающий итерационно ход каждого луча в пучке через последнюю линзу, чьи поверхности изменяются так, чтобы минимизировать отклонение реального выходного луча от параксиального.

Всего рассчитываются пять пучков, в каждом из которых два сечения: меридиональное и сагитальное. В каждом из сечений наличествует 100-200 лучей в зависимости от степени изначального виньетирования. Для каждого луча находится соответствующий ему параксиальный луч, который трассируется в обратном направлении, от сенсора к последней линзе, а углами наклона нормалей к поверхностям регулируются значения их стрелок прогиба, чтобы обеспечить совпадения реального и параксиального лучей на второй поверхности последней линзы согласно закону Снеллиуса. Полученные в результате расчета полученные наборы стрелок прогиба аппроксимируются уравнением асферической поверхности с четными степенями посредством метода наименьших квадратов. При этом контролируется, чтобы СКО полученного профиля не превышало 10 мкм, в противном случае идет итерационное наращивание степеней асферики или исключение «паразитных» лучей.

Итогом работы алгоритма стала система, соответствующая критериям качества (СКО пятна рассеяния в диаметре меньше 100 мкм и ЧКХ для поля в 0.2 соответствует более 30 пл/мм), которую уже на последнем этапе расчета мобильного объектива до оптимизируется встроенными функциями *Zemax*.

### **Выводы**

В результате работы продемонстрирована перспективность использования алгоритма МГОЛ для расчета систем с высокими степенями асферичности в видимом диапазоне. Дальнейшие исследования направлены на оптимизацию работы алгоритма и расширения его чувствительности при анализе «паразитных» лучей и виньетирования.

### **Литература**

1. Dmitry Reshidko and Jose Sasian, "Optical analysis of miniature lenses with curved imaging surfaces," *Appl. Opt.* 54, E216-E223 (2015)
2. Guillem Carles and Andrew R. Harvey, "Multi-aperture imaging for flat cameras," *Opt. Lett.* 45, 6182-6185 (2020)
3. Zhenfeng Zhuang, Xavier Dallaire, Jocelyn Parent, Patrice Roulet, and Simon Thibault, "Geometrical-based quasi-aspheric surface description and design method for miniature, low-distortion, wide-angle camera lens," *Appl. Opt.* 59, 8408-8417 (2020)
4. Jeong H.-S. и др. Low-profile optic design for mobile camera using dual freeform reflective lenses // *SPIE Proceedings* / P. Z. Mouroulis, W. J. Smith, R. B. Johnson. : SPIE, 2006. С. p.p. 628808.
5. Terlo Y.V., Bakholdin A.V., Voznesenskaya A.O. Modelling of an imaging aspheric lens using the ray-mapping method // *Proceedings of SPIE - 2025*, Vol. 13717, pp. 137170A. doi: 10.1117/12.3073647.