

УДК 535.317.6

## МЕРИДИОНАЛЬНАЯ КОМА ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ АНАСТИГМАТИЧЕСКИХ ЛИНЗ ПРИ КОНЕЧНОМ ПОЛОЖЕНИИ ПРЕДМЕТА

В.А. Безруков<sup>a</sup>, Г.В. Карпова<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: bezrukov@mail.ifmo.ru

### Информация о статье

Поступила в редакцию 20.01.15, принята к печати 01.03.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-2-362-364

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Безруков В.А., Карпова Г.В. Меридиональная кома отрицательных анастигматических линз при конечном положении предмета // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Том 15. № 2. С. 362–364.

**Аннотация.** Предложены результаты исследований отрицательных анастигматических линз при конечном положении предмета. Исследованы отрицательные линзы с показателем преломления  $n = 1,7849$  (стекло ТФ12) и толщиной  $d = 5$  мм, работающие с параксиальными увеличениями  $\beta = 1,1^\times; 1,3^\times; 1,5^\times$ , при расстояниях от первой поверхности линзы до предмета  $S_1 = 9; 25$  мм и величине предмета  $y = 15$  мм. Получены зависимости отрицательных форм линз от положения анастигматических зрачков и от радиусов меридиональных каустик, которые удобны для понимания абберационных свойств анастигматических линз. Результаты исследований позволяют синтезировать широкоугольные объективы с исправленными абберациями кривизны изображения и меридиональной комы при отсутствии геометрического виньетирования широких наклонных пучков.

**Ключевые слова:** синтез, широкоугольные объективы, кривизна изображения, анастигматические линзы, меридиональная кома.

## MERIDIONAL COMA OF NEGATIVE ANASTIGMATIC LENSES AT THE FINAL POSITION OF AN OBJECT

V.A. Bezrukov<sup>a</sup>, G.V. Karpova<sup>a</sup>

<sup>a</sup> ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: bezrukov@mail.ifmo.ru

### Article info

Received 20.01.15, accepted 01.03.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-2-362-364

Article in Russian

**For citation:** Bezrukov V.A., Karpova G.V. Meridional coma of negative anastigmatic lenses at the final position of an object. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, vol.15, no. 2, pp. 362–364. (in Russian)

**Abstract.** The paper deals with the findings of negative anastigmatic lenses at the final position of an object. The negative lenses are considered with refraction index  $n=1.7849$  (type of glass is TF12) and thickness  $d=5$  mm, working with paraxial magnifications  $\beta = 1.1^\times; 1.3^\times; 1.5^\times$ , with account of the distances from the first lens surface to the object  $S_1=9; 25$  mm and the size of the object  $y=15$  mm. Dependences of negative lens forms from the position of anastigmatic pupils and from radii of meridional caustics which are convenient for understanding aberrational properties of anastigmatic lenses. The findings give the possibility to synthesize wide-angle lenses with the corrected aberrations of image curvature and meridional coma without geometrical vignetting of wide sloping bunches.

**Keywords:** synthesis, wide-angle lenses, curvature of image, anastigmatic lenses, meridional coma.

Синтез компонентов для коррекции кривизны изображения в широкоугольных объективах из отрицательных линз с заданным астигматизмом был рассмотрен в работах [1, 2]. Целью настоящей работы является исследование аббераций, вносимых отрицательными анастигматическими линзами при конечном положении предмета, в частности, такой абберации, как меридиональная кома, и определение областей существования анастигматических линз.

Для исследования были выбраны отрицательные линзы с показателем преломления  $n = 1,7849$  (стекло ТФ12)<sup>1</sup> и толщиной  $d = 5$  мм, работающие с параксиальными увеличениями  $\beta = 1,1^\times; 1,3^\times; 1,5^\times$ , при расстояниях от первой поверхности линзы до предмета  $S_1 = 9; 25$  мм и величине предмета  $y = 15$  мм.

Алгоритм расчета основывался на последовательном изменении формы линзы и выявлении всех форм линз, астигматизм которых исправлен при известных значениях положения входного зрачка ( $S_p$ ),

<sup>1</sup> ГОСТ 3514-94. Стекло оптическое бесцветное. Технические условия

положения предмета, величины предмета и парааксиального увеличения. Радиус каустики меридиональной комы  $R'$  сферической преломляющей поверхности рассчитывался по формуле [3–5]

$$\frac{R' \cos^3 \varepsilon'}{t'^3 \sin \varepsilon'} + 3 \frac{\cos^2 \varepsilon'}{t'^2} - 3 \frac{\cos \varepsilon'}{t'r} = \frac{R \cos^3 \varepsilon}{t^3 \sin \varepsilon} + 3 \frac{\cos^2 \varepsilon}{t^2} - 3 \frac{\cos \varepsilon}{tr},$$

где  $t$  и  $t'$  – отрезки вдоль главного луча от точки его преломления на сферической поверхности до предмета и изображения соответственно в меридиональной плоскости;  $\varepsilon$  и  $\varepsilon'$  – углы падения и преломления главного луча на сферической поверхности;  $R$  и  $R'$  – радиусы кривизны меридиональных каустик в предметной плоскости и в плоскости изображения сферической поверхности. В результате применения этого выражения для первой и второй поверхностей линзы получаем радиус меридиональной каустики в пространстве изображения астигматической линзы  $R'_2$ .

Ход парааксиального луча через систему, состоящую из двух поверхностей, после первой поверхности образует угол с оптической осью  $\alpha_2$  [6, 7]. Величина этого угла, определяющего форму линзы, изменялась в пределах, которые ограничивают область существования решения поставленной задачи при заданном увеличении.

Углы преломления  $\varepsilon'_1$  и падения  $\varepsilon_2$  главного луча соответственно на первой и второй поверхностях могут иметь либо одинаковые, либо разные знаки. Анастигматические отрицательные линзы, имеющие одинаковые знаки углов, будем называть линзами первого рода ( $I_p$ ), а линзы, имеющие разные знаки – линзами второго рода ( $II_p$ ).

Результаты этой работы позволили определить зависимость положения астигматических зрачков от прогиба линзы для двух положений предмета и трех парааксиальных увеличений (рис. 1). Для каждого положения астигматического зрачка, положения предмета  $S_1 = 9$  мм и двух увеличений  $\beta = 1,1^\times$ ;  $1,3^\times$  рассчитан радиус каустики меридиональной комы  $R'_2$  (рис. 2).

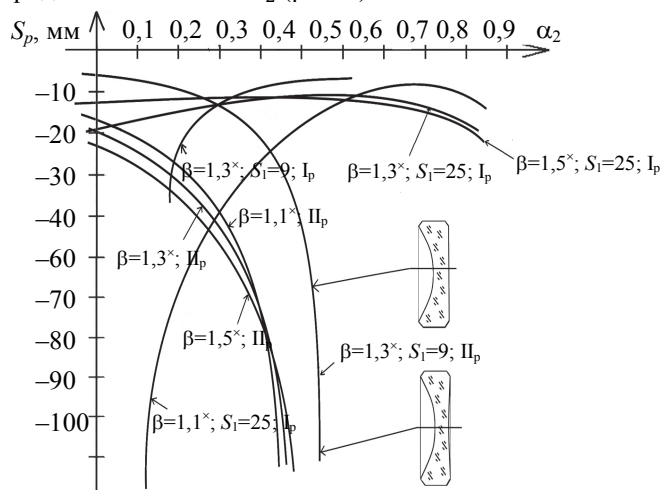


Рис. 1. Зависимость положения астигматических зрачков от прогиба отрицательных астигматических линзы первого и второго рода

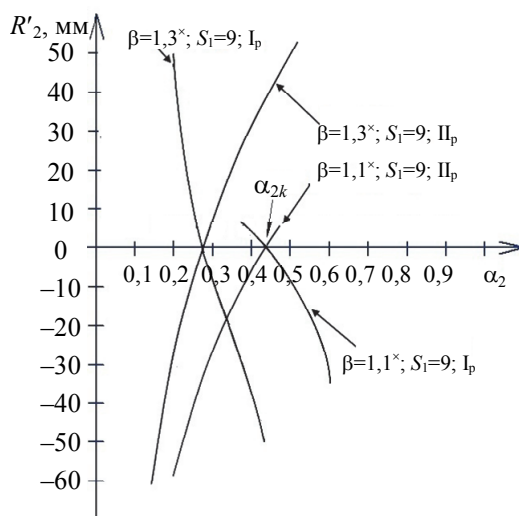


Рис. 2. Радиус меридиональной каустики  $R'_2$  отрицательных астигматических линз первого и второго рода,  $\alpha_{2k}$  – угол, при котором  $R'_2 = 0$

Кривые на рис. 1 и рис. 2 дают полное представление об областях существования отрицательных анастигматических линз и меридиональной коме, вносимой ими при конечном положении предмета. Из анализа полученных зависимостей можно сделать следующие выводы.

- Отрицательные анастигматические линзы, работающие при конечном расположении предмета справа от линзы и входном зрачке, расположенном слева от линзы, могут принимать формы: отрицательных менисков, обращенных выпуклостью и вогнутостью к входному зрачку; вогнуто-плоских и плоско-вогнутых линз; двояковогнутых линз.
- С увеличением угла  $\alpha_2$ , определяющего форму линзы, расстояние от первой поверхности до анастигматических зрачков убывает для анастигматических линз первого рода с последующим незначительным возрастанием и возрастает для анастигматических линз второго рода.

Меридиональная кома анастигматических линз с увеличением угла  $\alpha_2$  убывает (рис. 2):

- для линз первого рода – начиная с положительных значений с последующим возрастанием в области отрицательных значений;
- для линз второго рода – начиная с отрицательных значений с последующим возрастанием в области положительных значений.

Варьирование формой отрицательных линз в коррекционном компоненте дает возможность не только корригировать кривизну изображения, но и исправить такую аберрацию, как меридиональная кома в широкоугольных объективах, без геометрического виньетирования широких наклонных пучков [8, 9].

### References

1. Bezrukov V.A., Karpova G.V. Sposob korrektsii krivizny polya v shirokougol'nykh ob'ektivakh [Correction method of field curvature in wide-angle objective lens]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2013, no. 3 (85), pp. 14–17.
2. Bezrukov V.A., Karpova G.V. Synthesizing the strength components of wide-angle objectives. *Journal of Optical Technology (A Translation of Opticheskii Zhurnal)*, 2012, vol. 79, no. 5, pp. 283–284.
3. Rusinov M. *Tekhnicheskaya Optika* [Technical Optics]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1979, 488 p.
4. *Vychislitel'naya Optika: Spravochnik* [Computational Optics: A Handbook]. 3<sup>rd</sup> ed. Eds M.M. Rusinov. Moscow, Knizhnyi Dom "Librokom", 2009, 424 p.
5. *Zemax User's Manual*. Radiant Zemax LLC, 2012, 835 p.
6. Fisher R.E., Tagic-Galeb B., Yoder P.R. *Optical System Design*. 2<sup>nd</sup> ed. NY, SPIE Press, 2008, 809 p.
7. Laikin M. *Lens Design*. 4<sup>th</sup> ed. CRC Press, 2006, 512 p.
8. Malacara D., Malacara Z. *Handbook of Optical Design*. 3<sup>rd</sup> ed. CRC Press, 2013, 585 p.
9. Ermolaeva E.V., Zverev V.A., Timoshchuk I.N. Interrelation of the aberrations of a broad pencil of rays. *Journal of Optical Technology (A Translation of Opticheskii Zhurnal)*, 2012, vol. 79, no. 5, pp. 261–265.

- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <b>Безруков Вячеслав Алексеевич</b> | – кандидат технических наук, доцент, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, bezrukov@mail.ifmo.ru   |
| <b>Карпова Галина Васильевна</b>    | – кандидат технических наук, доцент, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, karpova3101@mail.ru     |
| <b>Vyacheslav A. Bezrukov</b>       | – PhD, Associate professor, Associate professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, bezrukov@mail.ifmo.ru |
| <b>Galina V. Karpova</b>            | – PhD, Associate professor, Associate professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, karpova3101@mail.ru   |