

УДК 535.317; 681.7

КОРРЕКЦИЯ ХРОМАТИЗМА В ОБЪЕКТИВЕ ШМИДТА Артиухина Н.К.¹, Самбрано Лус Фабиола², Шанчук В.А.¹

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²Национальный центр оптических технологий (CNTO)
Мерида, Венесуэла

Аннотация. Представлены анализ хроматизма, вносимого деформированной поверхностью коррекционной пластины объектива Шмидта и методика расчета профиля ее деформированной поверхности.

Ключевые слова: объектив, коррекция хроматизма, качество изображения.

CHROMATICISM CORRECTION IN THE SCHMIDT LENS

Artioukhina N.¹, Zambrano L.², Shanchuk V.¹

¹Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

²National Center of Optical Technologies (CNTO)
Merida, Venezuela

Abstract. The analysis of chromaticism introduced by the deformed surface of the Schmidt lens correction plate and the method of calculating the profile of its deformed surface are presented

Key words: lens, image quality, chromaticism correction

Адрес для переписки: Шанчук В.А., ул. Я. Коласа, 22, Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: vdmsacunewera@gmail.com

В последнее время актуально использовать в композициях объективов зеркальные элементы. В двух- и трехзеркальных объективах одно из зеркал обычно делают асферическим, так как сферические зеркала дают сравнительно большие остаточные aberrации, что является их недостатком с технической точки зрения (контроль и юстировка). Зеркально-линзовые системы применяют в том случае, когда для коррекции aberrаций экономичнее вводить в объектив коррекционные элементы.

В наиболее известных конструкциях (объективы Шмидта и Максудова) эти элементы размещают перед главным зеркалом; они причем требования к качеству стекла и точности обработки их поверхностей оказываются значительно более высокими, чем для линзового объектива.

Объектив Шмидта относится к катадиоптрическим системам, где впервые было получено резкое изображение при относительно отверстии, считавшемся до того несовместимым с большим полем зрения. При этом модуль состоит всего из двух оптических частей – из сферического зеркала и тонкой линзы, почти не обладающей оптической силой, но трудной в технологическом отношении. Отметим, что хроматизм, вносимый корректирующей пластиной Шмидта, довольно значителен. Недостатком являются также кривизна поля и расположение фокуса внутри модуля [1].

Объективы Шмидта довольно широко применяются, схемы совершенствуются за счет введения различных приемов. К примеру, для получения изображений астрономических объектов с

высоким качеством при больших полях в Национальной астрономической обсерватории «Льяндель Ато» (OAN) Венесуэлы разработана телескоп Шмидта со сферическим зеркалом с диаметром $D_m = 1520$ мм, фокусным расстоянием $f = 3000$ мм, который используется уже в течение 60 лет [2]. В настоящее время вносятся некоторые модификации, заменяется ПЗС-камера, ожидаются калибровочные испытания. При этом актуальными научными задачами являются полное устранение комы и хроматизма.

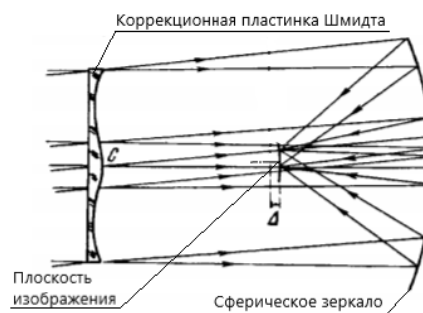


Рисунок 1 – Оптическая схема объектива Шмидта

Цель работы – исправить aberrацию комы, исследовать величину хроматизма, вносимого коррекционной пластиной и определить параметры коррекции при сохранении высокого качества изображения.

Оптическая схема коррекционной пластины и ход нулевого луча представлены на рис. 2. Зеркало сферическое, вторая поверхность пластинки асферическая, т. е. деформация поверхности $\sigma_2 \neq 0$.

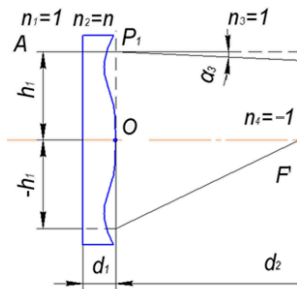


Рисунок 2 – Коррекционная пластинка объектива Шмидта

Составлен алгоритм абберационного расчета. Первый этап: получены уравнения устранения сферической абберации и комы, из которых определены радиус кривизны деформированной поверхности пластинки

$$\frac{1}{r_2} = -\frac{\alpha_3}{n-1}$$

и воздушный промежуток $d_2 = 2(1 - \alpha_3)$, установлено требование совмещения центра сферического зеркала с вершиной деформированной поверхности $r_3 = -d_2$.

На втором этапе получено уравнение меридиональной кривой коррекционной пластины

$$x = -\frac{\alpha_3}{2(n-1)}y^2 + \frac{1}{8}\left(\frac{1}{r_2} + \frac{\sigma_2}{r_2^3}\right)y^4.$$

На третьем этапе проведено исследование возможности получения наименьшего остаточного хроматизма за счет изменения формы меридиональной кривой деформированной поверхности, определяемого углом α_3 (рис. 3).

Угол γ характеризует клиновидность пластинки в конкретной зоне. Дифференцируя формулу отклонения оптического клина, определена угловая дисперсия; для расчета линейной дисперсии необходимо учитывать радиус сферического зеркала.

Формулы координат в меридиональном сечении получены для трех зон, указанных на рисунке, причем для кривой выполняется условие: $\gamma_r = -\gamma_e$, при соблюдении которого гарантируется выполнение минимального значения угла γ , т.е хроматизма в угловой мере.

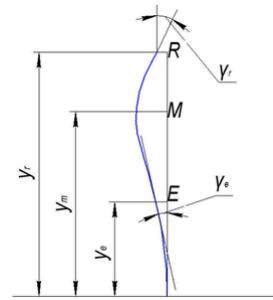


Рисунок 3 – Меридиональная кривая деформированной поверхности пластинки Шмидта

К примеру, для края отверстия (край входного зрачка): $\alpha_3 = \frac{3}{32}y_r^2$; $tg\gamma = \frac{y}{32(n-1)}(3y_r^2 - 4y^2)$.

Был выполнен расчет профиля коррекционной пластины в объективе с фокусным расстоянием $f' = 1000$ мм (рис. 4).

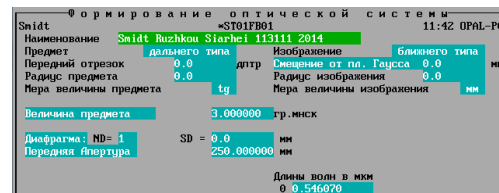


Рисунок 4 – Объектный модуль объектива Шмидта (ППП Опал)

Проведено компьютерное моделирование и оптимизация.

Абберации базовой схемы были значительно улучшены [3].

Литература

1. Русинов, М. М. Композиция оптических систем. / М. М. Русинов. – М.: Книжный дом «ЛИБРКОМ», 2011. – 384 с.
2. Ferrin, I. Busqueda general con la camara Mosaic CCD del telescopio Schmidt de 1m del Observatorio Nacional de Venezuela / I. Ferrin, C. Leal, I. Hernandez // Revista Mexicana de fisica. – 2006. – Vol. 52 (3) – С. 9–11.
3. Самбрано, Л. Ф. Основные факторы проектирования катадиоптрического объектива Шмидта / Л. Ф. Самбрано, Н. К. Артюхина // Новые направления развития приборостроения: материалы 12-й междунар. студ. науч.-техн. конф., Минск. 17–19 апр. 2019. – Минск: БНТУ. – Т. 2 – Мн., 2019. – С. 285.