



Методика абсолютной калибровки длиннофокусных оптических систем для задач дистанционного зондирования Земли

Бручковский И.И. (1,2), Литвинович Г. С. (1), Зайцева В.А. (3), Чеботарев А.В. (3)

E-mail: bruchkovsky2010@yandex.ru

(1) НИИ «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» БГУ, Минск, РБ

(2) Национальный Научно-исследовательский Центр Мониторинга Озоносферы БГУ, Минск, РБ

(3) ОАО «Пеленг», г. Минск, Республика Беларусь



Введение

В настоящее время широкий круг задач оперативного мониторинга земной поверхности решается при помощи спектральных и фотографических систем. Одной из важнейших характеристик таких систем является пространственное разрешение, для чего применяются объективы с большим фокусным расстоянием (около 1,5 м), что для получения необходимых уровней сигнала немедленно требует увеличения диаметра входного зрачка, приводящее в свою очередь к увеличению габаритов оптической системы.

Для калибровки спектральных и фотографических систем по абсолютным значениям яркости используется равномерный протяженный источник сплошного спектра в виде фотометрической сферы [1]. Методом сравнения известной яркости источника и выходных значений сигнала калибруемой оптической системы, строится зависимость выходного сигнала от яркости источника. Необходимым условием проведения калибровки оптической системы по абсолютным значениям яркости является полное заполнение апертуры оптической системы излучением источника, поэтому при использовании объективов с достаточным большим входным зрачком появляется проблема отсутствия фотометрической сферы подходящих размеров.

Целью данной работы являлось разработка методики абсолютной радиометрической калибровки оптических систем с диаметром входного зрачка объектива большим, чем выходной зрачок фотометрической сферы.



Методика

Методика разрабатывалась и применялась для проведения абсолютной радиометрической калибровки фото-спектральных систем с $D > D_{out}$, где D – диаметр входного зрачка объектива, D_{out} – диаметр выходного зрачка фотометрической сферы.

В основе предлагаемой методики лежит последовательное диафрагмирование входного зрачка объектива калибруемой аппаратуры при помощи бленды в виде сектора, пропускающего часть излучения фотометрической сферы в объектив калибруемой аппаратуры. В настоящей работе использовалась бленда-сектор, делящая окружность на 4 части, однако количество секторов может быть произвольным.

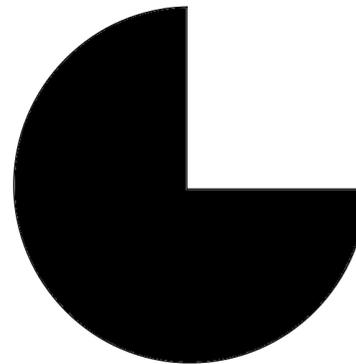


Рис. 1. – Вид бленды-сектора с углом при вершине 90° , установленной перед калибруемым объективом



Методика

Сущность предлагаемой методики калибровки по одному значению яркости фотометрической сферы, при помощи бленды-сектора с углом при вершине 90° , сводится к следующей последовательности действий:

1. Установка бленды-сектора перед объективом калибруемой аппаратуры и расположение объектива перед фотометрической сферой. При этом важно совместить центр бленды и центр объектива, а также соблюсти условие полного заполнения диафрагмированной апертуры объектива излучением фотометрической сферы.
2. Регистрация сигнала с детектора при данном положении бленды-сектора (нулевое положение).
3. Поворот бленды-сектора на 90° , перемещение объектива для соблюдения условия полного заполнения диафрагмированной апертуры объектива излучением фотометрической сферы, регистрация полезного сигнала при данном положении бленды-сектора.
4. Повторение пункта 3 два раза.
5. Попиксельный расчет интегрального сигнала по формуле:

$$N_{ij} = N_{ij}^{0^\circ} + N_{ij}^{90^\circ} + N_{ij}^{180^\circ} + N_{ij}^{270^\circ} \quad (1)$$

где i, j – индексы пикселя; $N_{ij}^{0^\circ}$, $N_{ij}^{90^\circ}$, $N_{ij}^{180^\circ}$, $N_{ij}^{270^\circ}$ – значения отсчетов АЦП пикселя детектора с индексами i, j при положениях бленды 0° , 90° , 180° и 270° соответственно.

6. Расчет калибровочного файла по известной яркости фотометрической сферы, где в качестве сигнала калибруемого прибора используется рассчитанное по формуле (1) значение.



Для проверки предлагаемой методики калибровки использовалась среда оптического моделирования Zemax [2] в непоследовательном режиме, сущность которого состоит в том, что световые лучи генерируются методом Монте-Карло из заданного источника в указанных пределах расходимости и запускаются в исследуемую систему. В процессе одной симуляции применялось $2 \cdot 10^9$ лучей, из которых около $9 \cdot 10^6$ достигало детектора, чем обусловлена случайная ошибка моделирования.

В качестве модели оптической системы для калибровки, был выбран зеркальный объектив, построенный по асимметричной схеме, в фокальной плоскости которого располагался квадратный детектор 1000×1000 пикселей размерами 400×400 мм, апертура объектива составляла 1042 мм, угловое поле зрения $1,5 \times 1,5^\circ$. На рисунке 2 представлен вид модели объектива.

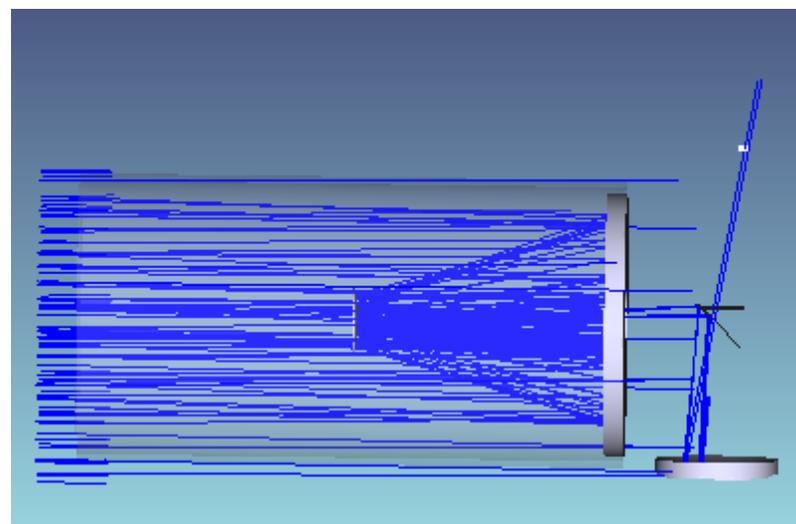


Рис. 2. – Несимметричный зеркальный телескоп:
трассировка лучей в программе Zemax

Результаты



На рисунке 3 представлено модельное распределение освещенности пикселей для линейки с индексом $i = 400$ для рассмотренных выше случаев, откуда можно заметить, что суммарное значение, рассчитанное по формуле (1) соответствует значениям освещенности при полном заполнении апертуры.

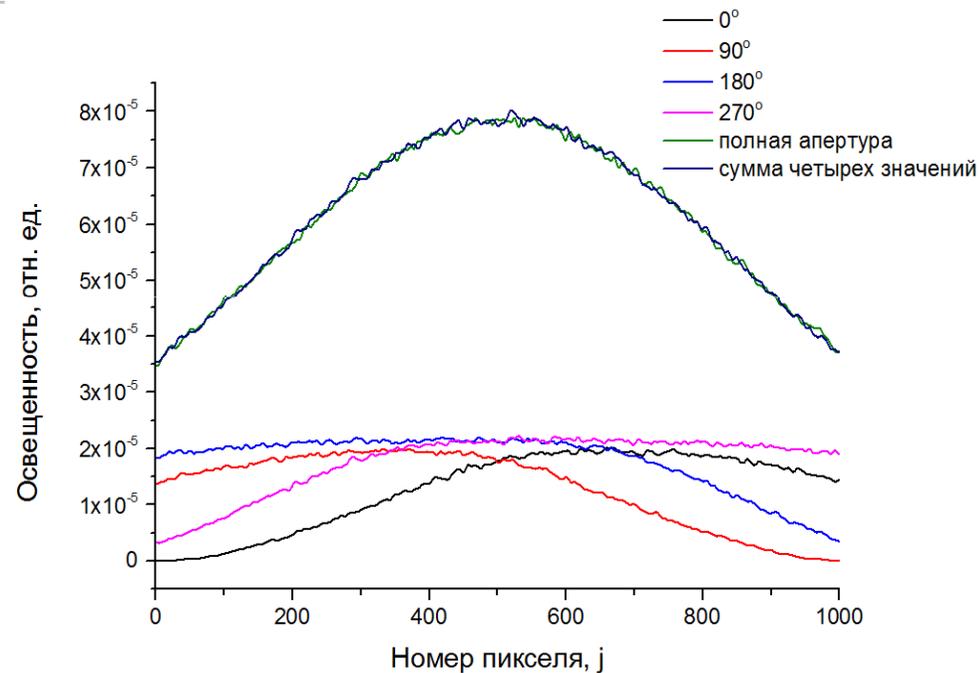


Рис. 3. – Распределения освещенности одной линейки детектора $i = 400$ при различных положениях диафрагмы относительно оси и интегральные значения, полученные разными методами

Выводы



В данной работе, предложена методика калибровки спектральных и фотографических систем по абсолютным значениям яркости с диаметром входного зрачка объектива большим, чем выходной зрачок фотометрической сферы. С использованием результатов численного моделирования, на примере зеркального объектива, построенного по асимметричной схеме, показано, что интенсивность светового поля, эквивалентного полностью заполненной апертуре объектива, может быть получена алгебраическим суммированием интенсивностей световых полей, полученных при поочерёдном открытии четырех секторов объектива.