

# ПРИКЛАДНАЯ ОПТИКА

УДК 520.2 : 535.1

## ЗАЩИТА ОТ ПРЯМЫХ ЗАСВЕТОК В СИСТЕМЕ АСТРОГРАФА ДЛЯ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СОЛНЕЧНОЙ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

© 2009 г. М. С. Чубей\*, канд. физ.-мат. наук; Г. И. Цуканова\*\*, канд. техн. наук;  
А. В. Бахолдин\*\*, канд. техн. наук

\* Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

E-mail: mchubey@gao.spb.ru

\*\* Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий  
механики и оптики, Санкт-Петербург

E-mail: ZukanovaGI@aco.ifmo.ru, bakholdin@aco.ifmo.ru

Рассмотрены вопросы защиты приемника от прямых засветок в системе астрографа для Межпланетной солнечной стереоскопической обсерватории. Предложена методика и рассмотрен расчет бленд для защиты от “паразитного” света для трех вариантов астрографа, отличающихся конструктивными параметрами и оптическими характеристиками.

Коды OCIS: 220.1000, 350.1260, 350.6090

*Поступила в редакцию 03.03.2009*

Астрограф Межпланетной солнечной стереоскопической обсерватории (МССО) устанавливается на борту космического аппарата и предназначен для решения задач астрометрии, небесной механики, астрофизики и звездной астрономии по программам фундаментальных исследований в дальнем космосе. Объектами наблюдения астрографа являются звезды, внегалактические объекты и все тела Солнечной системы, за исключением Солнца. Различные этапы разработки рассмотрены в статьях [1, 2]. Специфика расчета оптической системы астрографа изложена в [3, 4].

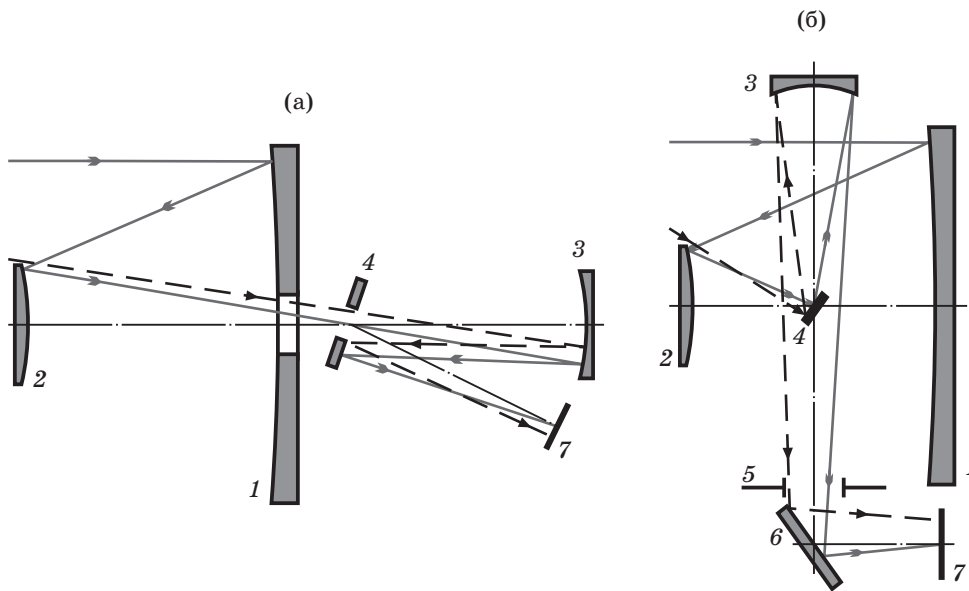
Оптическая схема прибора построена на основе трехзеркальной системы с промежуточным изображением между вторым и третьим зеркалами и может быть исполнена в двух вариантах, представленных на рис. 1.

Рассмотрим защиту от постороннего излучения для трех вариантов телескопов: 1) два телескопа выполнены по схемам, показанным на рис. 1 и 1б, и имеют следующие оптические характеристики: фокусное расстояние 10 м, относительное отверстие  $1/10$ , угловое поле в пространстве предметов  $1^\circ$ ; 2) телескоп выполнен по схеме рис. 1б с промежуточным изображением

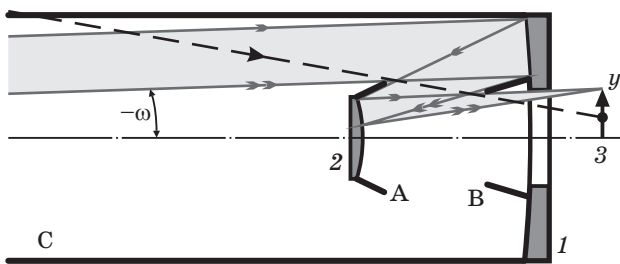
перед главным зеркалом и имеет следующие характеристики: фокусное расстояние 20 м, относительное отверстие  $1/20$ , угловое поле в пространстве предметов  $1^\circ$ . В последнем случае вследствие большого заднего отрезка для уменьшения габаритов целесообразно ввести дополнительные плоские зеркала б (на рис. 1 в качестве примера показано одно зеркало б).

Организация защиты от постороннего света в двухзеркальных системах рассмотрена в работах [5, 6]. На рис. 2 приведена система Ричи-Кретьена с оптическими характеристиками, совпадающими с параметрами первых двух телескопов. Показан ход лучей рабочего пучка, падающего на главное зеркало под полевым углом  $-\omega$ . “Паразитный” луч, проходящий мимо второго зеркала через отверстие в главном зеркале прямо на приемник изображения, показан штриховой линией.

Для срезания постороннего излучения в системах Ричи-Кретьена устанавливаются внутренние бленды АА, ВВ и внешняя бленда СС. Как видно из рис. 2, введение бленды АА сильно увеличивает экранирование системы. Рассмотрим часто встречающийся вариант, когда в системе отсутствует виньетирование, для исправления



**Рис. 1.** Два варианта ((а) и (б)) исполнения трехзеркальной системы с промежуточным изображением после второго зеркала (пояснения в тексте). 1 – первое зеркало, 2 – второе зеркало, 3 – третье зеркало, 4 – плоское зеркало вблизи плоскости промежуточного изображения, 5 – дополнительная диафрагма, 6 – дополнительное плоское зеркало в пространстве изображений, 7 – плоскость приемника изображения.



**Рис. 2.** Двухзеркальная система Ричи–Кретьена с защитными блендами. 1 – первое зеркало, 2 – второе зеркало, 3 – плоскость изображения.

астигматизма использован афокальный компенсатор, а за счет равенства радиусов кривизны зеркал устранена кривизна изображения. При минимальном для этого случая экранировании по диаметру, равном  $\eta = 0,5$ , длина внешней бленды СС составляет несколько метров.

Защита плоскости изображения от постороннего света в трехзеркальных системах без промежуточного изображения рассматривалась в работах [7, 8]. В них предложен подход к организации системы защиты приемника от “паразитного” излучения в многозеркальных системах.

Изучим защиту от засветок в трехзеркальных системах с промежуточным изображением между вторым и третьим зеркалами. Обратимся сначала

к варианту с расположением промежуточного изображения за первым зеркалом. В этой системе на плоскость приемника может попасть свет, прошедший через отверстие в плоском зеркале и отраженный только от третьего зеркала. На рис. 1 такой луч показан штриховой линией.

Для рассмотрения работы защитных бленд воспользуемся методом, предложенным в работах [7, 8]. Спроецируем в одно пространство, например в пространство предметов, изображения всех зеркал, диафрагм и плоскости приемника.

Поскольку в данном случае рассеянный свет отражается только от третьего зеркала, найдем положение изображений всех элементов в пространстве предметов третьего зеркала. Определим размеры и расположение изображений приемника и плоского зеркала с отверстием через третье зеркало в обратном ходе лучей.

Расположение отверстий, экранов и их изображений в пространстве предметов третьего зеркала в первом варианте (рис. 1а) исполнения астрографа представлено на рис. 3. Посторонний свет может пройти только через отверстие в главном зеркале 1. Второе зеркало 2 является экраном на пути постороннего излучения. Плоскость предметов для третьего зеркала 3 совпадает с отверстием в наклонном плоском зеркале 4. Само третье зеркало 3 представляет собой отверстие для “паразитного” излучения. Изображение 5 плоского зеркала в обратном ходе лучей через

третье зеркало также является отверстием для постороннего света. В этом случае отверстие в плоском зеркале выполняет функцию экрана для “паразитных” лучей.

На плоскость приемника может попасть посторонний свет, показанный на рис. 1 штриховой линией. “Паразитные” лучи проходят выше второго зеркала, через отверстие в первом зеркале, далее через отверстие в плоском зеркале и после отражения от третьего зеркала попадают на приемник. Эти лучи могли бы быть срезаны диафрагмой, установленной на месте входного зрачка третьего зеркала. Однако по конструктивным соображениям этого сделать невозможно. Но поскольку выходной зрачок находится вблизи плоского зеркала с отверстием, особых трудностей с защитой от постороннего света не возникает.

Для того чтобы полностью защитить плоскость приемника от постороннего света, необходимо срезать луч, проходящий через края диафрагм 4 и 5. (Он показан на рис. 3 штриховой линией). На срезание этого луча можно повлиять, выполняя следующие требования:

1) диаметр отверстия в плоском зеркале (зеркало 4 на рис. 1а) не должен иметь размеры больше, чем необходимо для пропускания рабочих пучков;

2) диаметр отверстия в первом зеркале (зеркало 1 на рис. 1а) также не должен быть больше расчетного для прохождения рабочего пучка лучей;

3) размеры плоского зеркала 4 не должны быть больше необходимых для пропускания лучей, создающих изображение.

Остальные “паразитные” лучи будут иметь большие углы падения, и поэтому их не пропустит второе зеркало.

Если при выполнении всех перечисленных выше требований свет попадает на третье зерка-

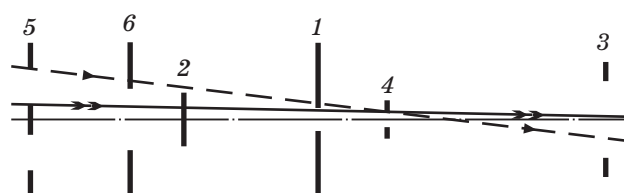


Рис. 3. Расположение отверстий, экранов и их изображений в пространстве предметов третьего зеркала в первом варианте исполнения астрографа. 1 – первое зеркало, 2 – второе зеркало, 3 – третье зеркало, 4 – плоскость предметов для третьего зеркала, 5 – изображение плоского зеркала третьим зеркалом в обратном ходе лучей, 6 – входной зрачок для третьего зеркала.

ло, тогда нужно поставить у второго зеркала дополнительную бленду, которая позволит защитить плоскость приемника. Экранирование в этом случае увеличивается незначительно и будет все равно меньше, чем в системе Ричи–Кретьена. Длинной бленды у главного зеркала не требуется.

Может возникнуть вопрос, а не попадет ли на плоскость изображения постороннее излучение, отраженное от третьего зеркала, прошедшее через отверстие в плоском зеркале, отраженное от второго зеркала, и снова отраженное от третьего зеркала (рис. 4)? Опасный луч проходит через края диафрагмы 4 и экрана 5 и показан на рис. 3 сплошной линией. Как видно из рисунка, все посторонние лучи срезаются вторым зеркалом как экраном.

Во втором варианте исполнения (рис. 1б), когда промежуточное изображение находится перед первым зеркалом, опасным является свет, попавший на плоское зеркало, затем на третье зеркало и после отражения от него на приемник изображения. На рис. 1б такой луч показан штриховой линией.

Перенесем в пространство предметов третьего зеркала изображение плоскости приемника и дополнительную диафрагму 5 (рис. 1б), расположенную вне хода лучей между первым и вторым зеркалами. Как показано на рис. 5, второе зеркало 1 играет роль экрана для “паразитного” излучения. Плоское зеркало 2 расположено вблизи или совпадает с предметной плоскостью третьего зеркала 3. Изображение дополнительной диафрагмы 4 является отверстием для постороннего излучения.

Опасный луч (на рис. 5 показан штриховой линией) проходит через края плоского зеркала 2 и экрана 1 (второе зеркало). Все “паразитные” лучи с большими углами падения будут беспре-

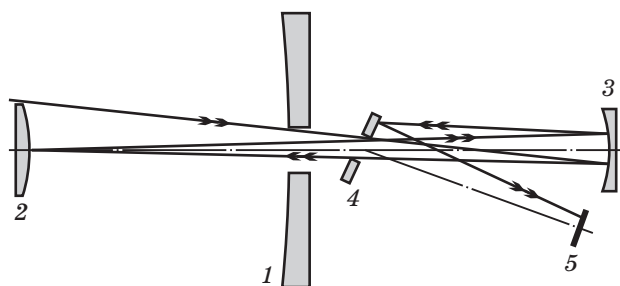
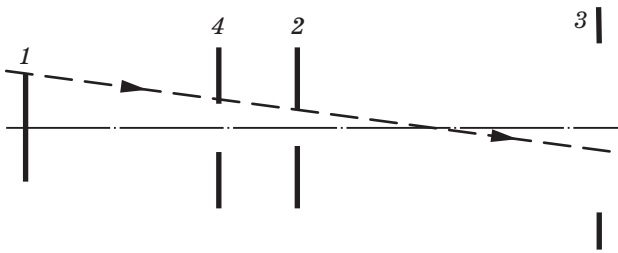


Рис. 4. Ход “паразитного” луча с многократным отражением. 1 – первое зеркало, 2 – второе зеркало, 3 – третье зеркало, 4 – плоское зеркало вблизи плоскости промежуточного изображения, 5 – плоскость приемника изображения.



**Рис. 5.** Система защиты от постороннего излучения во втором варианте исполнения астрографа. 1 – второе зеркало как экран, 2 – плоское зеркало, совпадающее с плоскостью предметов для третьего зеркала, 3 – третье зеркало, 4 – изображение дополнительной диафрагмы, перенесенное в пространство предметов третьего зеркала.

пятственно попадать на плоскость приемника. Для срезания этих лучей ставится дополнительная диафрагма (на рис. 1 диафрагма 5, на рис. 5 диафрагма 4). Края бленд 2, 4 и экрана 1 должны находиться на одной прямой. Диаметр дополнительной диафрагмы 4 определяется из основного хода рабочих лучей. Если эта диафрагма не полностью срезает посторонний свет, тогда нужно увеличивать диаметр бленды у второго зеркала (экран 1 на рис. 5), но это увеличение незначительное.

Рассмотрим систему защиты приемника от засветок в телескопе с дополнительными плоскими зеркалами, имеющем фокусное расстояние 20 м, относительное отверстие  $1/20$ , угловое поле в пространстве предметов  $1^\circ$ . Известно, что уменьшение относительного отверстия усложняет защиту от постороннего света. Расположение экранов и отверстий в пространстве предметов третьего зеркала идентично показанному на рис. 5. Дополнительное плоское зеркало в пространстве изображений расположено вблизи выходного зрачка системы и в данной схеме выполняет роль реальной диафрагмы 5 (рис. 1). Эта диафрагма позволяет полностью устранить “паразитный” свет даже при малых значениях относительного отверстия.

Приведенные расчеты выполнены в параксиальной области. После определения всех защит-

ных бленд необходимо выполнить контрольный расчет реальных лучей и при необходимости внести уточнения.

В трехзеркальных системах с промежуточным изображением после второго зеркала выходной зрачок является действительным и это обстоятельство значительно облегчает защиту плоскости приемника от посторонних засветок без увеличения экранирования, что представляет большое преимущество по сравнению с системами Ричи–Кретьена. К достоинствам этих систем относится также отсутствие длинной бленды у первого зеркала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Grigoryev V.M. Space-born solar stereoscope experiment in solar physics // *Solar Phys.* 1993. V. 148. P. 386–391.
2. Grigoryev V.M., Papushev P.G., Chubey M.S., Kopylov I.M., Eroshkin G.I., Ilin A.E., Gorshakov D.L., Pashkevich V.V., Savasteyna A.V. Interplanetary Solar Stereoscopic Observatory (ISSO): scientific objectives and facilities // *Astronomy & Astrophysics Trans.* 2000. V. 19. № 3–4. P. 646–661.
3. Чубей М.С., Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Трехзеркальный квазиортоскопический телескоп для космической обсерватории // Тр. 7-ой Междунар. конф. “Прикладная оптика-2006”. СПб., 2006. С. 132–134.
4. Чубей М.С., Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Специфика расчета оптической системы астрографа для проекта “Межпланетная солнечная стереоскопическая обсерватория” // *Оптический журнал.* Т. 74. № 7. 2007. С. 37–41.
5. Чуриловский В.Н. Теория оптических систем. М.–Л.: Машиностроение, 1966. 564 с.
6. Михельсон Н.Н. Оптические телескопы. Теория и конструкция. М.: Наука, 1976. 512 с.
7. Цуканова Г.И. Вопросы экранирования и защиты плоскости изображения от постороннего света в трехзеркальных длиннофокусных объективах // *Изв. ВУЗов. Сер. “Приборостроение”.* 1971. № 9. С. 1–3.
8. Цуканова Г.И. Расчет защитных бленд от постороннего света в многозеркальных системах // *Изв. ВУЗов. Сер. “Приборостроение”.* 1977. № 6. С. 1–4.