РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 2 643 075 (13) C1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МПК
G02B 17/06 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 19.02.2018)

(21)(22) Заявка: 2017101927, **20.01.2017**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.01.2017

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **20.01.2017**

(45) Опубликовано: 30.01.2018 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2556295 C1, 10.07.2015. CN 102200643 A, 28.09.2011. RU 2327194 C2, 20.06.2008. RU 2561340 C1, 27.08.2015. US 2005013021 A1, 20.01.2005.**

Адрес для переписки:
188540, Ленинградская обл., г. Сосновый Бор, ул. Ленинградская, 29, литер Т, АО "НИИ ОЭП", зам. генерального директора - главный инженер Дундин Павел Иванович

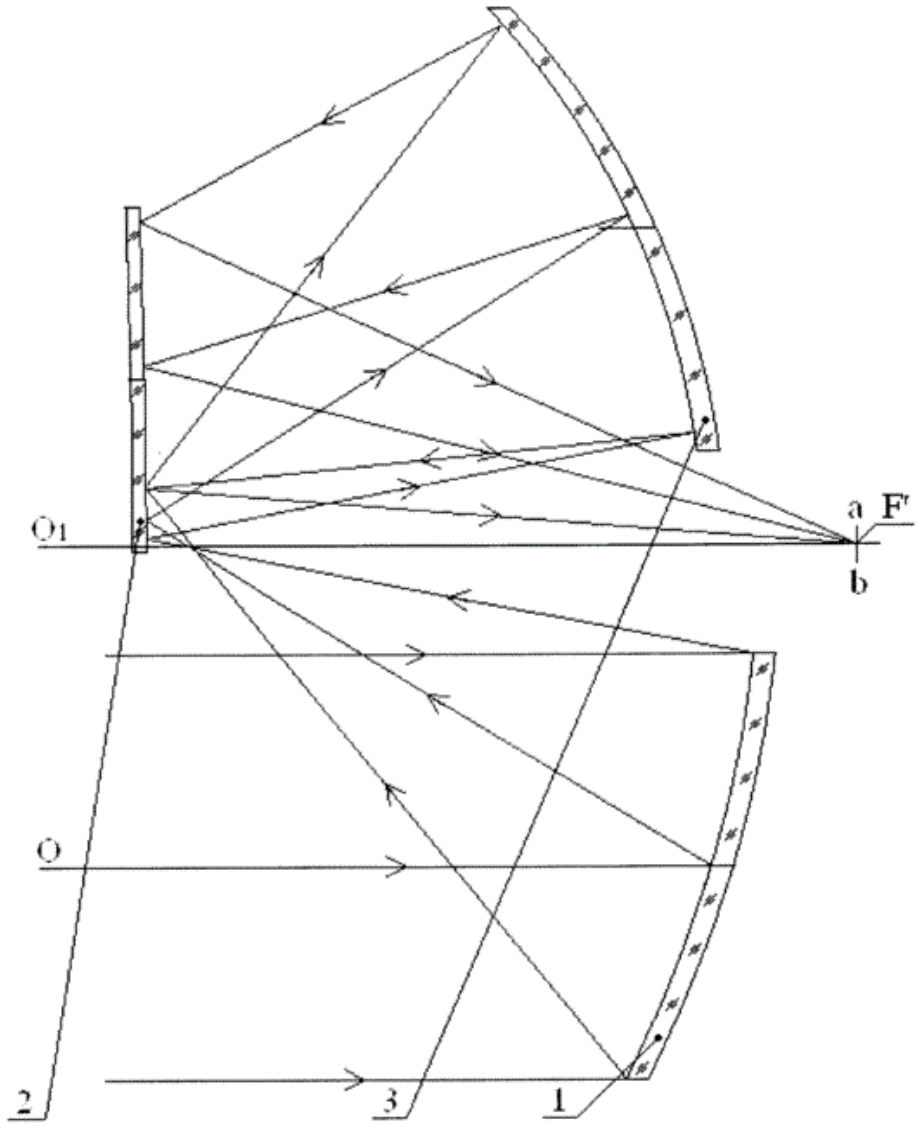
(72) Автор(ы):
Солк Сергей Вольдемарович (RU),
Лебедев Олег Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Акционерное общество "Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения" (АО "НИИ ОЭП") (RU)

(54) ЗЕРКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано в оптико-электронных системах обнаружения и наблюдения, системах траекторных измерений, работающих в широком спектральном диапазоне. Зеркальный объектив состоит из трех последовательно установленных по ходу луча зеркал. Первое зеркало выполнено в виде асферического внеосевого фрагмента вогнутого положительного зеркала, обращенного вогнутостью к плоскости предметов. Второе зеркало - в виде фрагмента асферического выпуклого отрицательного зеркала, обращенного выпуклостью к первому зеркалу. Третье зеркало - в виде фрагмента асферического вогнутого положительного зеркала, обращенного вогнутостью ко второму зеркалу. В меридиональном сечении первое зеркало расположено ниже оптической оси, второе и третье зеркала - выше оптической оси. Фокус первого зеркала расположен перед вторым зеркалом. Технический результат - создание компактного объектива с дифракционным качеством изображения в широком спектральном диапазоне и рациональной компоновкой: без экранирования, не децентрированного по полевому углу. 1.з.п. ф-лы, 3 ил., 1 табл.



Фиг.1

Изобретение относится к области оптического приборостроения, а именно к классу зеркальных объективов, и может быть использовано в оптико-электронных системах обнаружения и наблюдения, системах траекторных измерений, работающих в широком спектральном диапазоне на наземных, морских, воздушных и космических носителях, и в других областях техники.

Известны зеркальные объективы, например, трехзеркальная система без экранирования [см. Пат. RU №2327194, МПК G02B 17/06, приор. 24.07.2006 г.]. Такая трехзеркальная оптическая система состоит из первого компонента - зеркала сегмента гиперболоида с положительной оптической силой, обращенного вогнутостью к предмету, второго компонента - сферического зеркала с отрицательной оптической силой, обращенного вогнутостью к изображению, третьего компонента - зеркала в виде сегмента сплюснутого эллипсоида с положительной оптической силой, обращенного вогнутостью к изображению. Фокальная плоскость объектива расположена в пространстве предметов и не перпендикулярна оси цели[1] ([1]Под осью цели понимают ось, перпендикулярную плоскости входного зрачка объектива и проходящую через его центр). Такой объектив сложен в юстировке, имеет низкие коррекционные возможности из-за наличия только трех зеркальных поверхностей, обладающих оптической силой. Это приводит к неоптимальной компоновке оптико-электронного прибора, особенно при размещении его на опорно-поворотном устройстве (ОПУ).

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является четырехзеркальный объектив [см. Пат. RU №2561340, МПК G02B 17/06, приор. 18.04.2014]. Объектив состоит из последовательно установленных по ходу

луча первого сферического зеркала, выполненного в виде внеосевого фрагмента вогнутого положительного зеркала, обращенного вогнутостью к плоскости предметов, второго сферического выпуклого отрицательного зеркала, обращенного выпуклостью к первому зеркалу, третьего вогнутого положительного зеркала, выполненного в виде фрагмента асферического зеркала и обращенного вогнутостью к четвертому зеркалу, четвертого зеркала, выполненного в виде фрагмента вогнутого положительного асферического зеркала, обращенного вогнутостью к плоскости изображения, и апертурной диафрагмы, причем в меридиональном сечении объектива первое зеркало расположено ниже, а третье и четвертое - выше оптической оси, при этом четвертое зеркало расположено выше третьего, второе - симметрично относительно оптической оси, а апертурная диафрагма совпадает с оправой второго зеркала.

Система имеет относительное отверстие 1:3, входной зрачок 106 мм, угловое поле 2°17'30".

Недостатком объектива является то, что он имеет большие габариты и массу (четыре зеркала и четыре котировочных устройства), сложен в юстировке (децентрирован по полевому углу, фокальная плоскость неперпендикулярна оси цели) особенно при его размещении на ОПУ.

Техническим результатом изобретения является создание компактного объектива с дифракционным качеством изображения в широком спектральном диапазоне и рациональной компоновкой: без экранирования, не децентрированного по полевому углу, у которого фокус системы лежит на оптической оси объектива, а фокальная плоскость перпендикулярна оптической оси и оси цели объектива. Объектив с такими качествами при работе на опорно-поворотном устройстве прост в юстировке и имеет более высокую точность при проведении измерений координат объектов.

Нами было показано, что наряду с уменьшением количества зеркал, приводимое к уменьшению габаритов и массы зеркального объектива, можно повысить точность измерений при сохранении дифракционного качества изображения объектива за счет измененной геометрии зеркальных элементов и их расположения относительно друг друга.

Такой технический результат достигнут нами, когда в зеркальном объективе, состоящем из трех последовательно установленных по ходу луча зеркал: первого зеркала, выполненного в виде внеосевого фрагмента вогнутого положительного зеркала, обращенного вогнутостью к плоскости предметов, второго зеркала, выполненного в виде выпуклого отрицательного зеркала, обращенного выпуклостью к первому зеркалу, и третьего зеркала, выполненного в виде фрагмента асферического вогнутого положительного зеркала, при этом первое зеркало расположено в меридиональном сечении ниже оптической оси, а третье зеркало - выше оптической оси, новым является то, что первое и второе зеркала выполнены с асферическими поверхностями, второе зеркало выполнено в виде фрагмента зеркала, третье зеркало обращено вогнутостью ко второму зеркалу, а в меридиональном сечении объектива второе зеркало расположено выше оптической оси, при этом фокус первого зеркала расположен перед вторым зеркалом.

Если необходимо, чтобы объектив работал в условиях воздействия космического излучения высокой мощности, зеркала могут быть выполнены из материала с высокой радиационно-оптической устойчивостью (см. п. 2 Формулы).

На фиг. 1 представлена принципиальная оптическая схема трехзеркального объектива, где: 1 - внеосевой сегмент вогнутого эллиптического зеркала, обращенный вогнутостью к предмету; 2 - внеосевой сегмент выпуклого гиперболического зеркала, обращенный выпуклостью к изображению; 3 - внеосевой сегмент вогнутого эллиптического зеркала, обращенный вогнутостью к предмету;

O_1 - F' - оптическая ось объектива;

O - P - ось цели;

a - в - фокальная плоскость объектива;

→→→ лучи, строящие изображение в объективе.

На фиг. 2 представлены значения оптической передаточной функции для точки на оси для длины волны 0.54 мкм, где m - значение в меридиональном сечении, s - значение в сагиттальном сечении.

На фиг. 3 представлены значения оптической передаточной функции для точки на

краю поля для длины волны 0.546 мкм, где m - значение в меридиональном сечении, s - значение в сагиттальном сечении.

Зеркальный объектив работает следующим образом.

Излучение источника света падает на оптический элемент, представляющий собой внеосевой сегмент 1 эллиптического зеркала, расположенный ниже оси объектива. Отразившись от оптического элемента, излучение падает на оптический элемент, представляющий собой внеосевой сегмент 2 гиперболического зеркала, расположенный выше оси объектива. Такое расположение сегментов зеркал относительно оси объектива исключает экранирование, вследствие чего уменьшается дифракционная составляющая пятна рассеяния и повышается качество изображения.

При этом после отражения от зеркального сегмента 1 между сегментами 1 и 2 формируется промежуточное изображение, что позволяет зеркальным элементам 2 и 3 более эффективно исправлять возникающие в объективе аберрации.

Отразившись от сегмента 2, излучение падает на зеркальный элемент 3, представляющий собой внеосевой сегмент эллиптического зеркала, расположенный выше оптической оси.

Отразившись от сегмента 3, излучение повторно падает на зеркальный элемент 2, причем оптические зоны при первом и втором отражении частично перекрываются.

Такое решение позволяет уменьшить количество зеркал (3 вместо 4) при сохранении коррекционных способностей оптической системы, уменьшить габариты и вес объектива.

В завершение, отразившись от сегмента 2, излучение строит изображение в фокальной плоскости объектива.

Изготовление зеркал с асферическими поверхностями позволяет улучшить качество изображения в объективе.

Конструктивное решение с двойным отражением от зеркального элемента 2, при необходимости, позволяет оптимизировать конструкцию объектива: сделать оптическую ось и ось цели объектива параллельными, а фокальную плоскость перпендикулярной оси цели объектива.

Пример конкретного исполнения

В нашей организации для проведения траекторных измерений космических объектов по предложенному техническому решению был создан трехзеркальный объектив. Расчетные параметры объектива составляли:

Фокусное расстояние, мм	300
Диафрагменное число	3,0
Угловое поле зрения, угл. град	1.5
Положение предмета относительно первой поверхности, мм	∞
Положение изображения относительно последней поверхности, мм	162.7
Диаметр входного зрачка, мм	100
Входной зрачок расположен на поверхности первого зеркала	
Спектральный рабочий диапазон, мкм	0.4÷12

Весогабаритные размеры объектива составили:

Размеры объектива, мм	260×125×120
Масса объектива (зеркала из кварцевого стекла), г	950

В таблице приведены конструктивные параметры объектива в последовательности хода лучей.

Таблица.

N пов.	Наименование детали	Радиусы, мм	Расстояние между зеркалами, мм	Световой диаметр, мм	Показатель преломления
1	Зеркало	-262.3*	-140.3	100	-1,0
2	Зеркало	-1597**	127.7	80	1,0
3	Зеркало	-179.9***	-127.7	103	-1,0
2	Зеркало	-1597**	162.7	80	1,0

*) Уравнение 1 асферической поверхности: $F(z,y) = y^2 + 524.6z + 0.114z^2 = 0$ (эллипс).

R=-262.3мм, коническая постоянная K=-0.886.

**) Уравнение 2 асферич. поверхности: $F(z,y) = y^2 + 3194z - 388z^2 = 0$ (гипербола).

R=-1597.0мм, коническая постоянная K=-389.

***) Уравнение 3 асферической поверхности: $F(z,y) = y^2 + 359.8z + 0.844z^2 = 0$ (эллипс).

R=-179.9мм, коническая постоянная K=-0.156.

Расчетные значения оптической передаточной функции для точки на краю поля, полученные для трехзеркального объектива по предложенному техническому решению, представлены на фиг. 2 и 3. Значение спектрального диапазона показывает, что объектив может работать в широком (от видимого до дальнего ИК) спектральном диапазоне.

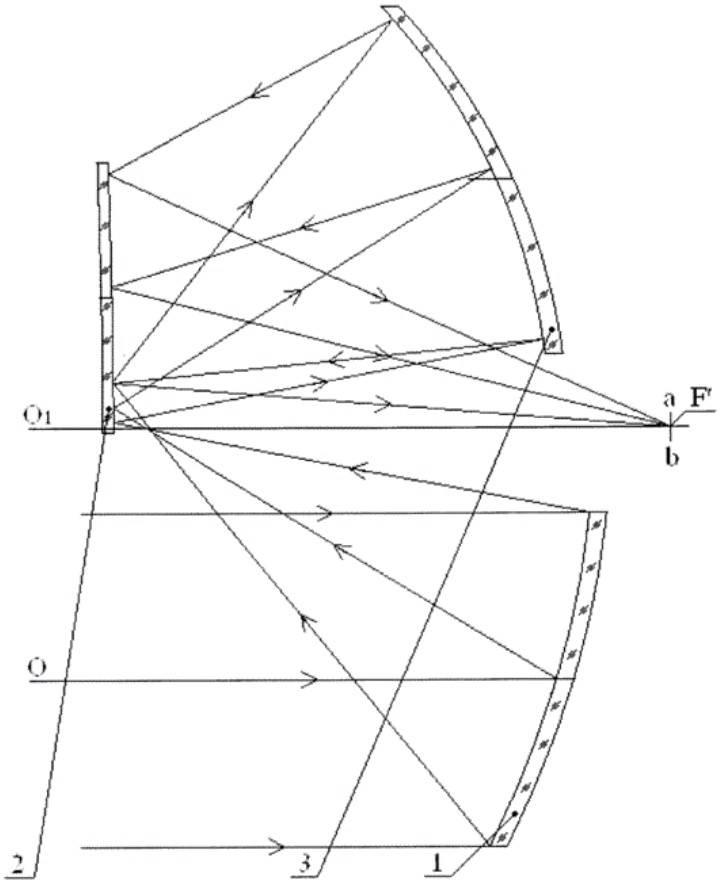
Величины массы и габаритов показывают, что объектив, полученный по нашему техническому решению, имеет небольшие габариты и массу (масса на 30%, а габариты на 25% меньше), чем для четырехзеркального объектива с аналогичным качеством изображения. Положение фокальной плоскости объектива позволяет сократить время юстировки объектива на 40%, и на 25% - время на юстировку объектива на опорно-поворотном устройстве (ОПУ) в составе комплекса для траекторных измерений. Точность измерений при этом увеличилась на 25%. Значения оптической передаточной функции, представленные на фиг. 2 и 3, показывают высокое качество изображения, создаваемого объективом заявленной конструкции.

Формула изобретения

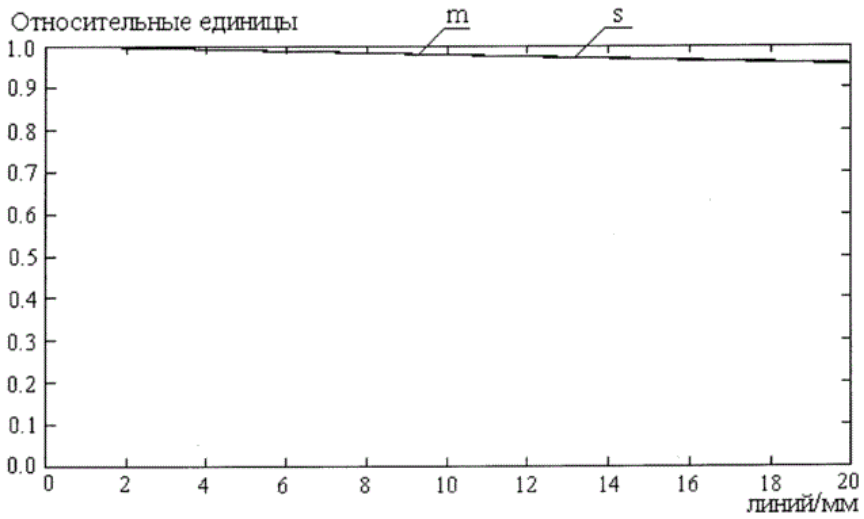
1. Зеркальный объектив, состоящий из трех последовательно установленных по ходу луча зеркал: первого зеркала, выполненного в виде внеосевого фрагмента вогнутого положительного зеркала, обращенного вогнутостью к плоскости предметов, второго зеркала, выполненного в виде выпуклого отрицательного зеркала, обращенного выпуклостью к первому зеркалу, и третьего зеркала, выполненного в виде фрагмента асферического вогнутого положительного зеркала, при этом первое зеркало расположено в меридиональном сечении ниже оптической оси, а третье зеркало - выше оптической оси, отличающийся тем, что первое и второе зеркала выполнены с асферическими поверхностями, второе зеркало выполнено в виде фрагмента зеркала, третье зеркало обращено вогнутостью ко второму зеркалу, а в меридиональном сечении объектива второе зеркало расположено выше оптической оси, при этом фокус первого зеркала расположен перед вторым зеркалом.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что зеркала объектива выполнены из материала с высокой радиационно-оптической устойчивостью к воздействию космического излучения высокой мощности.

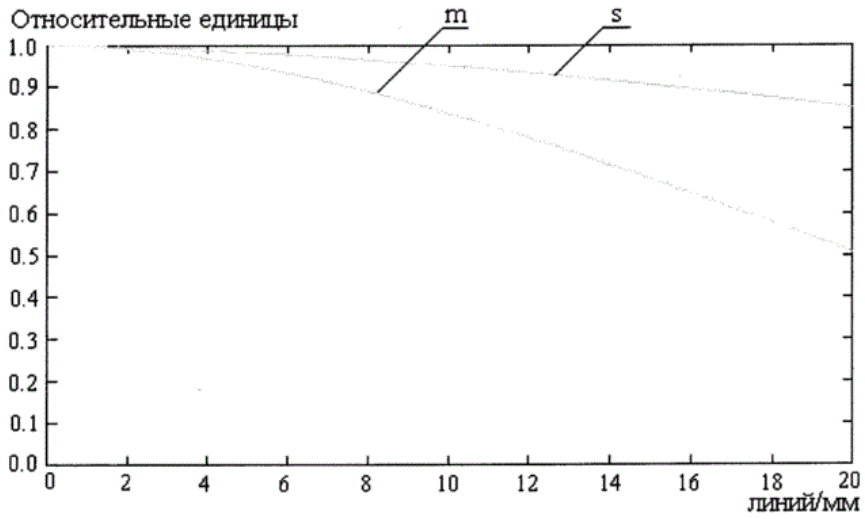
ЗЕРКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ



Фиг.1


Относительные единицы
m
s
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
линий/мм

ФИГ. 2


Относительные единицы
m
s
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
линий/мм

Фиг. 3