

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 722 974** (13) **С1**

(51) МПК
G02B 13/16 (2006.01)
 (52) СПК
G02B 13/14 (2019.08)
G02B 13/16 (2019.08)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 16.06.2020)

(21)(22) Заявка: [2019134593](#), 28.10.2019(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.10.2019Дата регистрации:
05.06.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.10.2019

(45) Опубликовано: [05.06.2020](#) Бюл. № 16(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: WO 2007144290 A1, 21.12.2007. EP
1618358 A1, 25.01.2006. CN 104142565 A,
12.11.2014.

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):

**Васильев Владимир Николаевич (RU),
 Горелов Александр Викторович (RU),
 Гридин Александр Семенович (RU),
 Дмитриев Игорь Юрьевич (RU),
 Муравьев Всеволод Алексеевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

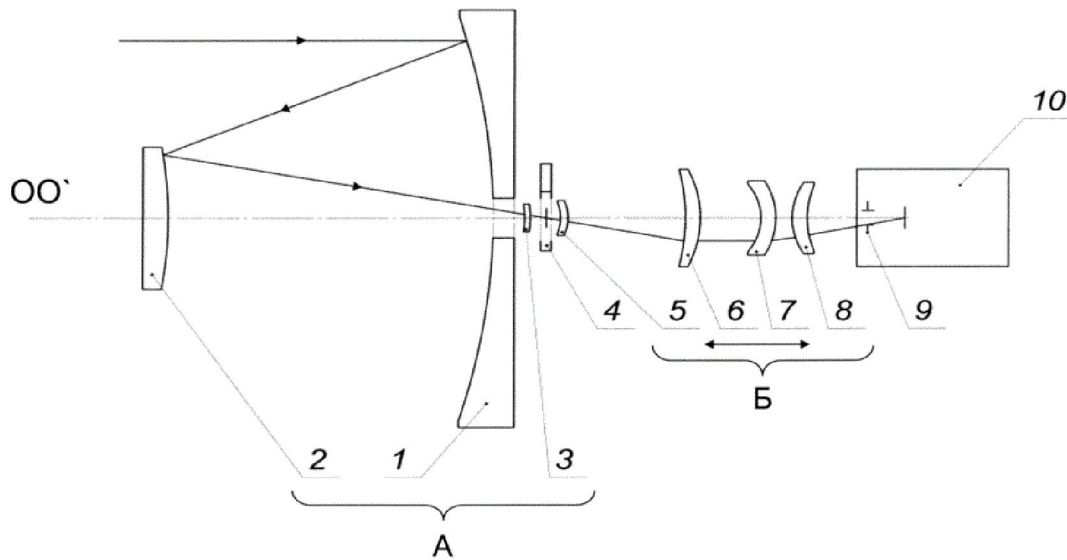
**Акционерное общество "Научно-
 исследовательский институт оптико-
 электронного приборостроения" (АО
 "НИИ ОЭП") (RU)**

(54) ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области оптико-электронного приборостроения. Техническим результатом является повышение качества оптической системы, точности и функциональных возможностей калибровки ее энергетических характеристик. Технический результат достигается тем что, в оптической системе формирования инфракрасного изображения, включающей установленные по ходу лучей две группы оптических элементов, и матричный приемник излучения с охлаждаемой диафрагмой, где первая группа выполнена в виде входного объектива, строящего в его фокальной плоскости промежуточное изображение, а вторая группа - в виде проекционного объектива, осуществляющего перенос этого изображения в плоскость фоточувствительных элементов приемника, где выходной зрачок оптической системы совмещен с охлаждаемой диафрагмой приемника излучения, первая группа оптических элементов выполнена из последовательно установленных зеркальных оптических элементов и линзового корректора, расположенных в едином корпусе, зеркала и корпус выполнены из материалов, температурные коэффициенты линейного расширения которых обеспечивают сохранность оптического качества и фиксированное положение плоскости промежуточного изображения. В систему введены установленные с возможностью поочередного ввода-вывода в плоскость промежуточного изображения полевая диафрагма и тестовый ИК излучатель с протяженной излучающей поверхностью, состоящей из формируемых не менее чем двумя уровнями коэффициента излучения K_1 и K_2 ($K_2 \gg K_1$) участков разного контраста с известным пространственным распределением и нагреваемой до температуры T_1 , K , где $T_1 > T_{\text{окружающей среды}}$. Элементы второй группы и

фотоприемное устройство могут реализовать функцию фокусирующего элемента, и система дополнительно снабжена блоками управления и обработки сигналов. 1 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к области опико-электронного приборостроения, а именно к опико-электронным системам формирования и обработки изображений инфракрасного спектрального диапазона, при эксплуатации которых актуальны задачи сохранения качества изображения в широком диапазоне условий окружающей среды и расширения возможностей бортовой калибровки энергетических характеристик фоточувствительных элементов приемников излучения.

Областью применения предлагаемого изобретения является создание эксплуатируемых в автоматическом режиме в широком диапазоне условий окружающей среды опико-электронных систем наблюдения инфракрасного диапазона с матричными приемниками.

Известна инфракрасная система (См. Пат. РФ №2378788, МПК H04N 5/33, G02B 26/10, приор. 31.03.2008 г.) содержащая входной и проекционные объективы, между которыми формируется промежуточное изображение, два плоских зеркала и многоэлементный приемник излучения с апертурной диафрагмой. В инфракрасную систему введена система эталонного излучения, предназначенная для калибровки энергетических характеристик элементов приемника излучения (далее калибровка) и содержащая два источника эталонного излучения с конденсаторами и плоскими зеркалами, вводимыми вблизи плоскости промежуточного изображения в рабочий ход лучей для реализации двухуровневой засветки элементов приемника излучения от источников при калибровке.

К недостаткам технического решения относится отсутствие средств, обеспечивающих сохранность оптического качества в широком диапазоне изменений температуры и давления окружающей среды и ограниченные возможности калибровки.

Наиболее близкой по наибольшему количеству существенных признаков к предлагаемому изобретению является оптическая система (См. пат. РФ №2449328, МПК G02B 13/14, G02 23/12, приор. 02.11.2010 г.), содержащая, не менее двух групп линзовых оптических элементов, первая из которых строит промежуточное изображение, а вторая осуществляет перенос промежуточного изображения в плоскость изображения оптической системы, совмещаемую с плоскостью расположения фоточувствительных элементов приемника, при этом плоскость промежуточного изображения расположена между группами оптических элементов, являясь плоскостью промежуточного действительного изображения. Оптическая система имеет в составе расфокусирующий элемент, осуществляющий сдвиг плоскости изображения оптической системы при проведении калибровки. Сдвиг плоскости изображения в режиме калибровки приводит к расфокусировке изображения наблюдаемого объекта, что обеспечивает выравнивание потока излучения, падающего на фоточувствительные элементы приемника излучения, от элементов изображения наблюдаемого объекта. По выходным сигналам

фоточувствительных элементов, соответствующих засветке, выполняется расчет корректирующих поправок для каждого элемента приемника излучения, значения которых используются для выравнивания выходных сигналов отдельных фоточувствительных элементов.

Недостатком данного технического решения является отсутствие возможности проведения фокусировки оптической системы в условиях широкого диапазона изменений температуры и давления окружающей среды, что снижает точностные характеристики оптической системы формирования инфракрасного изображения, а также ограниченность функций и точности калибровки, вызванная зависимостью уровня сигнала засветки и ее равномерности в плоскости фоточувствительных элементов приемника излучения от текущего изображения, по которому ведется калибровка.

Техническим результатом заявляемого изобретения является повышение качества оптической системы, точности и функциональных возможностей калибровки ее энергетических характеристик в широком диапазоне условий окружающей среды.

Такой технический результат достигается тем что, в оптической системе формирования инфракрасного изображения, включающей установленные по ходу лучей две группы оптических элементов, и матричный приемник излучения с охлаждаемой диафрагмой, где первая группа выполнена в виде входного объектива, строящего в его фокальной плоскости промежуточное изображение, а вторая группа - в виде проекционного объектива, осуществляющего перенос этого изображения в плоскость фоточувствительных элементов приемника, при этом выходной зрачок оптической системы совмещен с охлаждаемой диафрагмой приемника излучения, новым является то, что первая группа оптических элементов выполнена из последовательно установленных зеркальных оптических элементов и линзового корректора, расположенных в едином корпусе, при этом зеркала и корпус выполнены из материалов, температурные коэффициенты линейного расширения которых обеспечивают сохранность оптического качества и фиксированное положение плоскости промежуточного изображения, в систему дополнительно введены установленные с возможностью поочередного ввода-вывода в плоскость промежуточного изображения полевая диафрагма и тестовый ИК излучатель с протяженной излучающей поверхностью, состоящей из формируемых не менее чем двумя уровнями коэффициента излучения K_1 и K_2 ($K_2 \gg K_1$) участков разного контраста с известным пространственным распределением и нагреваемой до температуры T_1 , К, где $T_1 > T_{\text{окружающей среды}}$, при этом элементы второй группы и фотоприемное устройство выполнены так, что могут реализовать функцию фокусирующего элемента, а система дополнительно снабжена блоками управления и обработки сигналов.

При необходимости проведения калибровки энергетических характеристик в оптической системе дополнительно (могут быть) использованы как минимум два тестовых ИК излучателя, нагреваемые до температур T_2 , К, T_3 , К, где $T_3 \geq T_{\text{окружающей среды}}$, а $T_2 > T_3$ соответственно, с диаметром излучающей поверхности не менее диаметра полевой диафрагмы и с возможностью поочередного ввода-вывода в плоскость промежуточного изображения (п. 2 Формулы).

Подходы к решению задач фокусировки и управления оптической системой известны.

Методы расчета оптических систем с высоким качеством известны.

На фиг. 1 приведена схема оптической системы формирования инфракрасного изображения, где зеркала 1 и 2; линзы 3,5,6,7,8; тестовый ИК излучатель 4; охлаждаемая апертурная диафрагма 9 приемника излучения; приемник излучения 10.

А - группа оптических элементов в составе входного объектива;

В - группа оптических элементов в составе проекционного объектива.

На фиг. 2 приведена схема механизма переключения тестовых ИК излучателей, выполненного в виде турели (* (* Под термином турель мы понимаем поворотный диск, на поверхности которого размещены тест объекты, установленные с возможностью их ввода-вывода на оптическую ось системы.), где диафрагма 11; нагреваемый тестовый ИК излучатель 12 с участками разного контраста; нагреваемый тестовый ИК излучатель 13; механизм 14 перемещений; привод 15 перемещений; датчик 16 положения.

Заявленное устройство работает следующим образом.

Поток излучения падает на первую группу оптических элементов, представляющую собой входной объектив, в составе которого зеркальные оптические элементы 1, 2 и линзовый корректор aberrаций 3, выполняющий преобразование

падающего излучения в сходящийся пучок лучей, фокусируемый в фокальной плоскости объектива с формированием промежуточного действительного изображения. Сохранность качества и фиксированное положение плоскости промежуточного изображения на оптической оси в широком диапазоне рабочих условий, в первую очередь температур $+50 \dots -60^\circ\text{C}$, обеспечены значениями коэффициентов температурного линейного расширения, выбранных оптических и конструкционных материалов. Созданные условия сохранности оптического качества и фиксированного положения плоскости промежуточного изображения на оптической оси в широком диапазоне рабочих условий позволяют использовать эту плоскость для фокусировки и калибровки системы без потери точности при изменении рабочих условий эксплуатации (температуры, давления).

При работе в системе используется полевая диафрагма, которая расположена вблизи плоскости промежуточного изображения и оптически сопряжена с плоскостью чувствительных элементов приемника излучения и экранирует все внеполевые лучи (излучение вне поля зрения), которые являются паразитными, снижающими качество изображения.

Далее излучение направляют на вторую группу оптических элементов, представляющую собой проекционный объектив, выполняющий перенос промежуточного изображения в плоскость фоточувствительных элементов приемника излучения.

Необходимость фокусировки оптической системы вызвана наличием температурной и барической составляющих дефокусировки проекционного объектива и фотоприемного устройства, ухудшающими точность оценок абсолютных значений энергетических характеристик при работе оптической системы в широком диапазоне условий окружающей среды.

При фокусировке в плоскость промежуточного изображения, фиксированное положение которого и сохранность его качества обеспечивает первая группа оптических элементов, введен ИК излучатель со специально разработанной излучающей поверхностью, которая в сочетании с проекционным объективом формирует изображение ИК излучателя в плоскости элементов ФПУ с пространственным распределением интенсивности излучения, для определения положения приемника излучения по значению контраста. Процедура осуществления фокусировки с использованием значения контраста изображения известна. Тестовый ИК излучатель, состоящий из участков разного контраста известного пространственного распределения, формируемого не менее чем двумя уровнями коэффициента излучения K_1 и K_2 (где $K_2 \gg K_1$) нагревают до температуры T_1, K для формирования засветки в динамическом диапазоне выходных сигналов элементов ФПУ.

Для смещения плоскости изображения оптической системы и ее совмещения с плоскостью элементов приемника излучения необходима фокусировка. В предложенном нами конструктивном исполнении вторая группа элементов оптической системы и фотоприемное устройство могут выполнять функцию фокусирующего элемента.

При необходимости проведения калибровки в плоскость промежуточного изображения дополнительно могут быть поочередно введены не менее двух тестовых ИК излучателей, нагреваемых до температур T_2, K, T_3, K (где $T_2 > T_3$), с протяженными излучающими поверхностями с диаметром не менее диаметра полевой диафрагмы для обеспечения засветки всех элементов приемника излучения. Это позволяет реализовать двухуровневую засветку при работе с протяженными или малоразмерными объектами.

Пример конкретного исполнения.

В нашей Организации была изготовлена оптическая система предлагаемой конструкции, со следующими оптическими характеристиками: фокусное расстояние оптической системы - 550 мм, диаметр входного зрачка - 275 мм, коротковолновая граница рабочего спектрального диапазона - 7,5 мкм.

В качестве приемника излучения использовали Scorpio LW (пр-во Sofradir, Франция), оснащенный матрицей фоточувствительных элементов с охлаждаемой апертурной диафрагмой с рабочей апертурой 1:2, форматом матрицы 512*640, размером элемента 15*15 мкм².

Входной объектив включает главное параболическое зеркало 1 с вогнутой рабочей поверхностью, направленной в пространство предметов, вторичное гиперболическое зеркало 2 с выпуклой рабочей поверхностью, направленной к плоскости изображения и мениск 3, направленный выпуклостью к плоскости изображения и выполненный из

германия. Входной зрачок ОС расположен вблизи первого оптического элемента 1 входного объектива для уменьшения массогабаритных характеристик системы. Объектив обеспечивает формирование промежуточного изображения в пределах рабочего поля зрения и дифракционно-ограниченное качество в пределах осевой зоны промежуточного изображения диаметром 0,6 мм. Оптические элементы объектива расположены в едином корпусе, при этом зеркала и корпус выполнены из материалов с близкими значениями коэффициента теплового температурного расширения, корпус из сплава 32НКД с $КТЛР=(0,7\div 1,0)\cdot 10^6, K^{-1}$ и зеркала из кварцевого стекла КВ с $КТЛР=(0,2\div 0,4)\cdot 10^6, K^{-1}$ в диапазоне температур от 223К до 323К. Такое сочетание материалов обеспечило фиксацию плоскости промежуточного изображения на оси объектива относительно базовой поверхности корпуса входного объектива с допуском не более 25 мкм для рабочих температур от 223К до 323К, что не превышает глубины резкости входного объектива, составляющей 31 мкм. Указанные выше свойства входного объектива позволили реализовать метод активной фокусировки ОС с использованием тестовых ИК излучателей, устанавливаемых в плоскости промежуточного изображения. Для этого в составе объектива применено устройство функционального контроля (УФК) с тестовыми ИК излучателями 4, выполненное в виде турели с приводом перемещения и датчиком контроля перемещений, в котором располагается полевая диафрагма 11 с диаметром 22 мм, превышающая размер проекции поля изображения оптической системы в плоскости промежуточного изображения, равной 18 мм. УФК обеспечивает установку полевой диафрагмы вблизи плоскости промежуточного изображения с допуском не более 100 мкм относительно базовой поверхности корпуса и оси входного объектива.

Проекционный объектив включает три мениска 5,6,7, обращенных выпуклостью к полю изображений и один мениск 8 с выпуклостью, направленной в пространство предметов, выполненных из германия и селенида цинка. С целью снижения внутреннего (приборного) фона выходной зрачок объектива совмещен с охлаждаемой диафрагмой приемника излучения, имеющей диаметр 10 мм и расположенной на расстоянии 20 мм от плоскости фоточувствительных элементов. Задний апертурный угол объектива составляет 1:1,1, что превышает рабочий апертурный угол фоточувствительных элементов, равный 1:2, что позволяет устранить виньетирования рабочего пучка излучения. Значение коэффициента термодифокусировки проекционного объектива составляет 42 мкм/К. Для снижения фонового излучения оптических компонентов предусматривается их охлаждение, выполняемое при размещении компонентов в герметичном (газонаполненном) объеме с постоянным давлением.

Совмещение плоскости изображения оптической системы с плоскостью фоточувствительных элементов в диапазоне температур от 233К до 303К выполняется совместным перемещением проекционного объектива и приемника излучения, что обеспечивает смещение плоскости изображения в пределах 2,5 мм с шагом не менее 10 мкм.

Для проведения фокусировки оптической системы применен тестовый ИК излучатель 12 с излучающей поверхностью, на которой выполнен рисунок из двух зон с коэффициентами излучения K_1 и K_2 (где $K_1 < 0,05$, $K_2 > 0,9$) и шириной границы раздела зон не более 5 мкм (тест-объект полуплоскость). Тестовый ИК излучатель располагается в устройстве функционального контроля, которое обеспечивает установку излучающей поверхности в плоскости промежуточного изображения с осевым допуском не более 10 мкм и расположением границы раздела зон в пределах осевой зоны промежуточного изображения диаметром 0,3 мм. Для увеличения контраста излучения от зон выполняется нагрев излучающей поверхности тестового объекта до температуры $T_1 = T_{окр.ср.} + 20K$. Проекционный объектив выполняет формирование изображения излучающей поверхности вблизи плоскости размещения фоточувствительных элементов при ориентации границы раздела зон вдоль столбца матрицы элементов, затем выполняется регистрация выходных сигналов элементов и оценивается величина дефокусировки $\Delta f(K_\phi)$, мм оптической системы по значению контраста K_ϕ , определяемого по найденной формуле (1):

$$K_\phi = \frac{\sum_{a=1}^A \Delta U_{\max}(j, a)}{\sum_{n=0}^N \Delta U(j+n)}, \text{ где} \quad (1)$$

$\Delta U_j = |U_j - U_{j-1}|$ - разностный сигнал между соседними элементами в строке матрицы

элементов, мВ; $\Delta U_{j,a}^{\max} = U_j - U_{j,a}$ - а-ое наибольшее значение разностного сигнала в диапазоне отсчетов от j до $j+N$ ($a=1$, соответствует максимальному значению разностного сигнала в диапазоне отсчетов от j до $j+N$); A - постоянная величина, $\Delta f(K_\phi)$ - зависимость - определяются экспериментально.

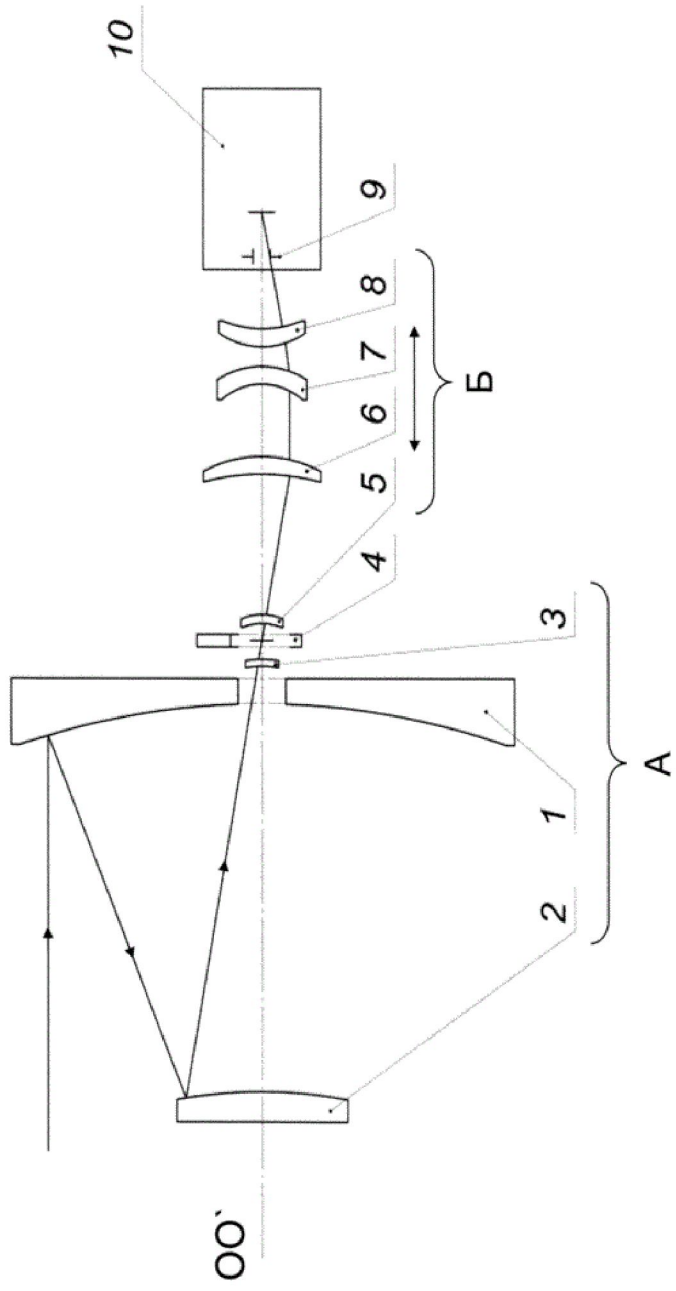
Для проведения энергетической калибровки характеристик фоточувствительных элементов применены два тестовых ИК излучателя 13 с излучающими поверхностями диаметром 22 мм. Тестовые ИК излучатели расположены в УФК, которое обеспечивает последовательную установку излучающих поверхностей тестовых ИК излучателей вблизи плоскости промежуточного изображения с осевым допуском не более 500 мкм относительно базовой поверхности корпуса. Для создания двухуровневой засветки применен нагрев излучающих поверхностей до температур $T_3=T_{\text{окр.ср.}}$ и $T_2=T_3+20\text{К}$, соответственно. Расчет энергетических характеристик фоточувствительных элементов выполняется по их выходным сигналам от изображений тестовых ИК излучателей с использованием известных соотношений. Использование метода двухуровневой засветки в сочетании с фокусировкой оптической системы расширяет функциональные возможности энергетической калибровки, обеспечивая оценки энергетических характеристик системы при работе не только с протяженными (пороговая яркость), но и малоразмерными объектами наблюдения (пороговая облученность), и снижая погрешность оценок, связанных с фокусировкой изображения до значения менее 10%.

В настоящее время макетный образец изделия передан в эксплуатацию.

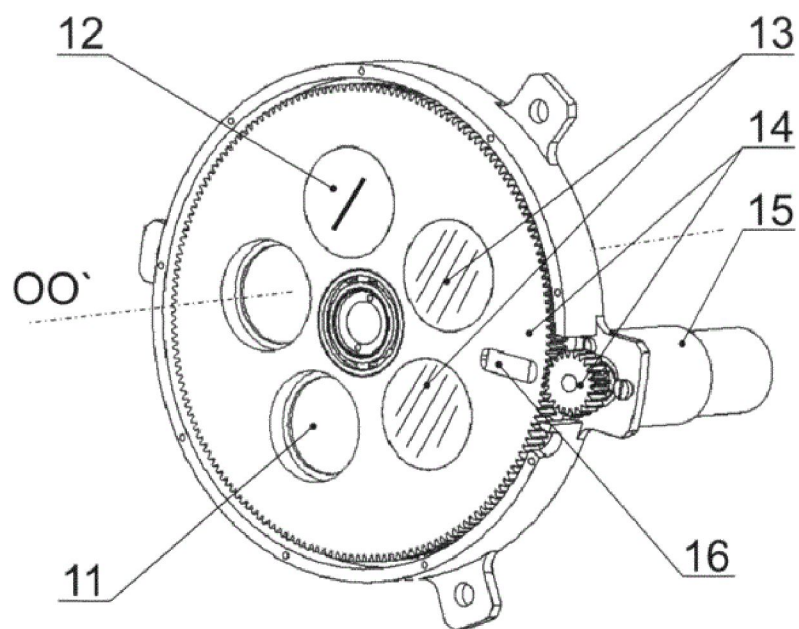
Формула изобретения

1. Оптическая система формирования инфракрасного изображения, включающая установленные по ходу лучей две группы оптических элементов, фокусирующий элемент и матричный приемник излучения с охлаждаемой диафрагмой, где первая группа выполнена в виде входного объектива, строящего в его фокальной плоскости промежуточное изображение, а вторая группа - в виде проекционного объектива, осуществляющего перенос этого изображения в плоскость фоточувствительных элементов приемника, при этом выходной зрачок оптической системы совмещен с охлаждаемой диафрагмой приемника излучения, отличающаяся тем, что первая группа оптических элементов выполнена из последовательно установленных зеркальных оптических элементов и линзового корректора, расположенных в едином корпусе, при этом зеркала и корпус выполнены из материалов, температурные коэффициенты линейного расширения которых обеспечивают сохранность оптического качества и фиксированное положение плоскости промежуточного изображения, в систему дополнительно введены установленные с возможностью поочередного ввода-вывода в плоскость промежуточного изображения полевая диафрагма и тестовый ИК излучатель с протяженной излучающей поверхностью, состоящей из формируемых не менее чем двумя уровнями коэффициента излучения K_1 и K_2 ($K_2 \gg K_1$) участков разного контраста с известным пространственным распределением и нагреваемой до температуры T_1, K , где $T_1 > T_{\text{окружающей среды}}$, при этом элементы второй группы и фотоприемного устройства выполнены так, что могут реализовать функцию фокусирующего элемента, а система дополнительно снабжена блоками управления и обработки сигналов.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что в систему дополнительно введены установленные с возможностью поочередного ввода-вывода в плоскость промежуточного изображения второй и третий тестовые ИК излучатели, нагреваемые до температур T_2, K, T_3, K , где $T_3 \geq T_{\text{окружающей среды}}$, а $T_2 > T_3$ соответственно, с диаметром излучающей поверхности не менее диаметра полевой диафрагмы.



Фиг. 1



Фиг.2