



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G02B 23/10 (2021.01); G01C 21/24 (2021.01); G02B 17/0808 (2021.01)

(21)(22) Заявка: 2020122672, 08.07.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.07.2020

Дата регистрации:
06.04.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 08.07.2020

(45) Опубликовано: 06.04.2021 Бюл. № 10

Адрес для переписки:

119234, Москва, ул. Ломоносовский пр-кт, 27,
стр. 1, МГУ имени М.В. Ломоносова, Фонд
"Национальное интеллектуальное развитие"

(72) Автор(ы):

ПРОХОРОВ Михаил Евгеньевич (RU),
ЖУКОВ Александр Олегович (RU),
МАКАРОВ Дмитрий Владимирович (RU),
ГЛАДЫШЕВ Анатолий Иванович (RU),
ЗАВЕРЗАЕВ Александр Александрович
(RU),
ЗАХАРОВ Андрей Игоревич (RU),
КАЛИНИН Тимур Валерьевич (RU),
ДЕДУС Федор Флоренцевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Московский государственный
университет имени М.В.Ломоносова» (МГУ)
(RU)

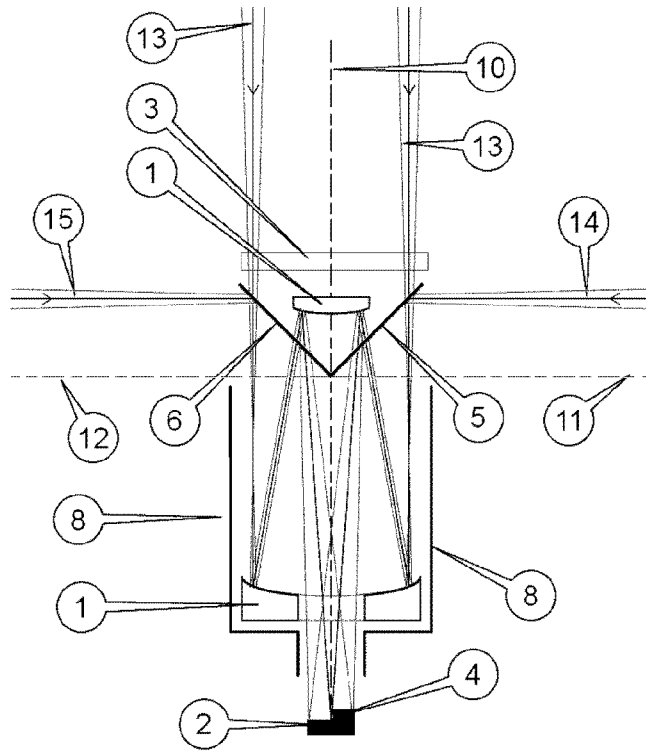
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2505843 C1, 27.01.2014. RU
2698077 C1, 21.08.2019. US 5546309 A1,
13.08.1996. US 6463366 B2, 08.10.2002.

(54) КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ И ЗВЁЗД

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано для дистанционного зондирования Земли, картографирования, фотосъемки объектов на поверхности Земли и других небесных тел. Телескоп содержит первый канал – наблюдения Земли, в котором установлены первый светофильтр, оптическая система и фотоприемник, часть которого закрыта вторым светофильтром; второй канал - для наблюдения звезд, в котором установлено первое плоское наклонное зеркало, размещенное в плоскости пересечения первого и второго каналов с возможностью направления света от звезд на часть входной апертуры оптической системы

телескопа, минуя первый светофильтр, третий канал - для наблюдения звезд, в котором установлено второе плоское наклонное зеркало, размещенное в плоскости пересечения первого и третьего каналов с возможностью направления света от звезд другого участка небесной сферы на часть входной апертуры оптической системы телескопа, минуя первый светофильтр. Полосы пропускания первого и второго светофильтров не пересекаются. Технический результат - более точное определение координат объектов на изображении Земли за счет его привязки к системе координат с высокой точностью, одинаковой во всех направлениях. 4 з.п. ф-лы, 6 ил.



Фиг.4



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G02B 23/10 (2021.01); G01C 21/24 (2021.01); G02B 17/0808 (2021.01)(21)(22) Application: **2020122672, 08.07.2020**(24) Effective date for property rights:
08.07.2020Registration date:
06.04.2021

Priority:

(22) Date of filing: **08.07.2020**(45) Date of publication: **06.04.2021** Bull. № 10

Mail address:

119234, Moskva, ul. Lomonosovskij pr-kt, 27, str.
1, MGU imeni M.V. Lomonosova, Fond
"Natsionalnoe intellektualnoe razvitie"

(72) Inventor(s):

**PROKhOROV Mikhail Evgenevich (RU),
ZhUKOV Aleksandr Olegovich (RU),
MAKAROV Dmitrii Vladimirovich (RU),
GLADYShEV Anatolii Ivanovich (RU),
ZAVERZAEV Aleksandr Aleksandrovich (RU),
ZAKhAROV Andrei Igorevich (RU),
KALININ Timur Valerevich (RU),
DEDUS Fedor Florentsevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Moskovskii gosudarstvennyi
universitet imeni M.V.Lomonosova» (MGU)
(RU)**(54) **SPACE TELESCOPE FOR SIMULTANEOUS OBSERVATION OF EARTH AND STARS**

(57) Abstract:

FIELD: telescopic equipment.

SUBSTANCE: invention can be used for remote sensing of the Earth, mapping, photographing objects on the surface of the Earth and other celestial bodies. The telescope contains the first channel if for Earth observation, in which the first light filter, the optical system and the photodetector are installed, part of which is covered by the second light filter; the second channel is for observing stars, in which the first flat inclined mirror is installed, located in the plane of intersection of the first and second channels with the possibility of directing light from the stars to a part of the entrance aperture of the optical system of the telescope, bypassing the first light filter, the third channel is for

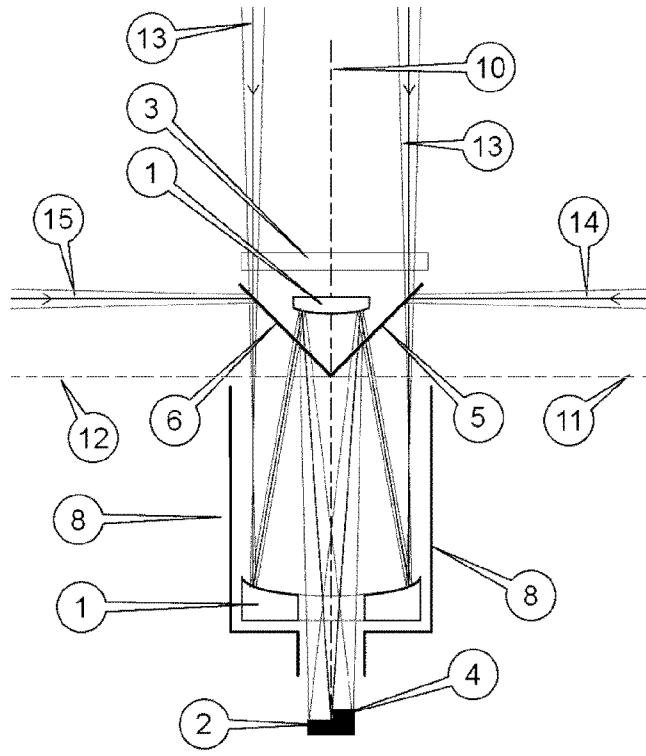
observing stars, in which a second flat inclined mirror is installed, located in the plane of intersection of the first and third channels with the possibility of directing light from the stars of another part of the celestial sphere to a part of the entrance aperture of the optical system of the telescope, bypassing the first light filter. The passbands of the first and second light filters do not intersect.

EFFECT: technical result is a more accurate determination of the coordinates of objects in the image of the Earth due to its referencing to the coordinate system with high accuracy, the same in all directions.

5 cl, 6 dwg

RU 2 746 041 C1

RU 2 746 041 C1



Фиг.4

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к космической области, в частности, к аппаратуре для дистанционного зондирования Земли, картографирования, фотосъемки объектов на поверхности Земли, а также фотографирования поверхностей других небесных тел, например, Луны. Изобретение может быть использовано на космических аппаратах, в т.ч. спутниках.

Уровень техники

Изображения, передаваемые спутниками дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), находят применение во многих отраслях - сельском хозяйстве, геологических и гидрологических исследованиях, лесоводстве, охране окружающей среды, планировке территорий, планировании и контроле логистики, образовательных, разведывательных и военных целях. Космические системы ДЗЗ позволяют за короткое время получить необходимые данные с больших площадей (в том числе труднодоступных и опасных участков) либо с малых площадей, но при высокой или очень высокой детализации. Важным моментом использования подобных изображений является их привязка к глобальной координатной системе: географическим координатам, координатным системам спутниковых глобальных систем позиционирования (GPS, ГЛОНАСС, Бэйдоу и др.). Если система ДЗЗ получает только изображение поверхности Земли, то его координатная привязка производится путем отождествления характерных и уникальных деталей изображения с ранее полученными изображениями поверхности Земли и построенными на их основе картами. Это не очень точная и крайне трудоемкая процедура. Более точное изображение участка поверхности Земли при ДЗЗ с координатной привязкой может быть реализовано с помощью аппаратных средств, размещаемых на борту космического аппарата, проводящего ДЗЗ, а именно, космических телескопов, обеспечивающих одновременную регистрацию изображений Земли и звезд.

Из уровня техники известно устройство, предназначенное для построения изображения звёзд, принцип работы которого основан на использовании зеркала, совмещающего изображения нескольких областей неба или нескольких небесных объектов в одном поле зрения [Германов А.В. и др. Концепция и вопросы технической реализации космического астрометрического проекта «Ломоносов» // сборнике Космический астрономический эксперимент «Ломоносов»: сб. статей / Под. ред. Нестерова В.В., Черепашука А.М., Шеффера Е.К. - М.: МГУ, 1992. - ISBN 5-211-02858-9. - С. 7-27]. Устройство представляет собой космический телескоп для высокоточного измерения углов между звездами, содержащий оптическую систему типа Ричи-Кретьена - двухзеркальная оптическая система с гиперболическим вогнутым главным (первичным) зеркалом и гиперболическим выпуклым вторичным зеркалом, в фокальной плоскости которой установлен матричный приемник излучения, а перед входной апертурой под углом к оси визирования оптической системы установлено подвижно плоское зеркало, перекрывающее около половины площади входной апертуры. При проведении наблюдений оптическая система наводит на опорный участок небесной сферы, а плоское зеркало устанавливается таким образом, чтобы в оптическую систему направлялись лучи от вторичного участка небесной сферы, расположенного в нескольких десятках градусах от базового. В результате в фокальной плоскости создаются наложенные друг на друга изображения звездных узоров, наблюдаемых базового и вторичного участков небесной сферы. Абсолютная погрешность измерения угловых расстояний между любой парой звезд в таком кадре одинакова и определяется техническими характеристиками телескопа, а относительная ошибка измерений в десятки раз меньше

для пар, в которых одна из звезд пары расположена в базовом, а вторая - во вторичном наблюдаемом участках. При этом точность определения углового положения подвижного плоского зеркала должна быть не хуже точности измерения угловых расстояний между звездами.

5 Однако в данном решении совмещаются однотипные изображения - два участка небесной сферы с одинаковой структурой (яркие точечные звезды на темном фоне) и близкими динамическими диапазонами яркости. Использование такого телескопа для получения совмещенных изображений Земли и участка звездного неба невозможно без
10 внесения изменений в его конструкцию, т.к. достаточно тусклые изображения звезд будут плохо видны или вообще не видны на фоне яркого изображения Земли.

Наиболее близким к заявляемому решению (прототипом) является двухканальный космический телескоп для одновременного наблюдения земли и звезд со спектральным разведением изображения [RU 2505843], содержащий канал наблюдения Земли, имеющий
15 главное зеркало, на часть которого, перекрытую зеленым светофильтром, попадает свет от Земли, второе зеркало, линзовый корректор и установленная в фокальной плоскости матрица, одна часть которой покрыта красным пропускающим светофильтром, канал для наблюдения звезд, имеющий плоское наклонное зеркало, отражающее свет от звезд на ту часть главного зеркала, которая не покрыта зеленым
20 отражающим светофильтром, и регистрирующий изображения звезд на той же матрице, что и изображение Земли. Принцип работы данного известного устройства основан на использовании оптической системы (телескопа) с регистрирующим устройством, выполненным в виде светочувствительной матрицы, в поле зрения которой с помощью плоского зеркала совмещаются изображения Земли и участка звездного неба, а разделение изображений на приемнике изображения осуществляется спектральным
25 способом. Телескоп включает оптическую систему 1, светочувствительную матрицу 2, расположенную в фокальной плоскости оптической системы, зеленый пропускающий светофильтр 3, закрывающий часть входной апертуры оптической системы, красный пропускающий светофильтр 4, закрывающий часть светочувствительной матрицы; плоское наклонное зеркало для наблюдения звёзд 5 (см. фиг 1 - 3). Полосы пропускания
30 зеленого и красного светофильтров выбраны таким образом, чтобы при последовательном прохождении обоих светофильтров поглощалось практически все излучение. Такой выбор характеристики светофильтров обеспечивает спектральное разделение изображений Земли и звезд в фокальной плоскости. Та часть оптической системы 1, в которую свет попадает, минуя плоское зеркало 5, образует канал
35 наблюдения Земли (канал I). Ось визирования этого канала наблюдения совпадает с осью визирования оптической системы 10. Все лучи света 13 в пределах поля зрения оптической системы 1, падающие на входной зрачок канала наблюдения Земли (входной зрачок I) проходят через зеленый светофильтр 3. Оптическая система формирует изображение Земли 16 (см. фиг. 3) в фокальной плоскости оптической системы, где
40 расположена светочувствительная матрица 2. Изображение Земли 16 формируется на всей светочувствительной матрице 2, но фиксируется только на той части матрицы, которая не покрыта красным светофильтром 4. Излучение от Земли 16, попадающее на ту часть светочувствительной матрицы 2, которая покрыта красным светофильтром 4, практически полностью блокируется, поскольку это излучение последовательно
45 проходит сначала зеленый фильтр 3, а затем красный фильтр 4. Наклонное плоское зеркало 5 направляет излучение в оптическую систему, образуя канал наблюдения звезд (канал II). Ось визирования этого канала 11 отклонена от оси визирования оптической системы 10 на достаточно большой угол, чтобы в поле зрения этого канала не попадала

Земля, а попадало звездное небо. Все лучи света в пределах поля зрения канала наблюдения звезд 14, падающие на входной зрачок канала наблюдения звезд (входной зрачок II) падают на ту часть входной апертуры оптической системы, которая не покрыта зеленым светофильтром 3 (т.е. не проходят через зеленый светофильтр).

5 Оптическая система формирует изображение участка звездного неба 17 и 18 в фокальной плоскости оптической системы 1, где расположена светочувствительная матрица 2. Изображение звезд 17 и 18 формируются на всей светочувствительной матрице 2, как на ее части, покрытой красным светофильтром 4 - изображения 17, так и на части не покрытой этим светофильтром - изображения 18.

10 В результате на светочувствительной матрице 2 одновременно создаются два изображения. На части матрицы, не покрытой красным светофильтром, формируются изображение Земли 16 по каналу наблюдения Земли и изображение участка звездного неба 17 и 18 по каналу наблюдения звезд. Но изображение Земли яркое и на его фоне будут видны только отдельные самые яркие звезды 18, а, возможно, звезды не будут
15 наблюдаться вообще. На части матрицы покрытой красным светофильтром, формируется только изображение участка звездного неба 17 по каналу наблюдения звезд. Изображения Земли и звезд (участка звездного неба) 17, 18 на светочувствительной матрице жестко привязаны друг к другу - эта привязка обеспечивается механической жесткостью конструкции описанной системы (устройства). Изображение Земли 16
20 используется для решения целевых задач, а канал наблюдения звезд играет роль звездного датчика ориентации. Точки на изображении Земли, в которые попадают наиболее яркие звезды 18, известны, что может учитываться при обработке изображения Земли (см. фиг. 3).

Недостатком описанного устройства является известное общее свойство оптических
25 приборов, осуществляющих определение ориентации в пространстве по наблюдению звезд - разная погрешность по разным осям. Функцию звездного датчика в известном устройстве выполняет канал наблюдения звезд. Погрешность σ_{XY} , с которой определяют углы поворотов телескопа относительно осей, перпендикулярных оси визирования канала наблюдения звезд, пропорциональна отношению размера пикселя светочувствительной матрицы p к фокусному расстоянию его оптической системы
30 $F: \sigma_{XY} = p/F$. А погрешность разворота телескопа вокруг оси визирования σ_Z пропорциональна отношению размера пикселя светочувствительной матрицы к размеру (диаметру) светочувствительной матрицы D , который равен произведению ширины поля зрения W на фокусное расстояние оптической системы: $\sigma_Z = p/D = p/WF = \sigma_{XY}/W$, т.е.
35 существенно больше. Поскольку для наблюдения Земли из космоса чаще всего используются длиннофокусные оптические системы с шириной поля зрения не более 1° - 2° , то отношение погрешностей по разным осям составляет $\sigma_Z \approx 50$ - $100 \sigma_{XY}$.

Поскольку ось визирования канала наблюдения звезд 11 направлена под углом к
40 оси оптической системы 10, то погрешность определения положений звезд 17, 18 и точность их привязки к изображению Земли 16 в направлении вдоль проекции оси визирования канала наблюдения звезд 11 на фокальную плоскость (на светочувствительную матрицу) 2 будет минимальной, порядка σ_{XY} . В направлении перпендикулярном проекции оси визирования канала наблюдения звезд 11 на фокальную
45 плоскость 2 погрешность будет составлять σ_Z , т.е. будет в 50-100 раз больше, что может быть неприемлемо для выполнения отдельных задач, например, для высокоточной оперативной регистрации положений объектов транспорта (автомобилей, поездов, самолетов, морских и черных кораблей).

Технической проблемой является устранение недостатков, перечисленных выше, а именно, устранение существенной зависимости погрешности координатной привязки объектов на изображении Земли, полученном на регистрирующем устройстве в процессе дистанционного зондирования Земли, от направления на изображении (с достижением

Раскрытие изобретения

Техническим результатом изобретения является более точное определение координат объектов на изображении Земли, полученном на регистрирующем устройстве в процессе дистанционного зондирования Земли, за счет обеспечения привязки изображения

поверхности Земли к системе координат с высокой точностью, одинаковой во всех направлениях.

Технический результат достигается при использовании космического телескопа для одновременного наблюдения звезд и Земли, содержащего первый канал - наблюдения Земли, в котором последовательно установлены по ходу оптического луча первый (например, зеленый) светофильтр, оптическая система, и размещенный в фокальной плоскости оптической системы матричный фотоприемник (регистрирующее матричное устройство / светочувствительная матрица), часть которого закрыта вторым (например, красным) светофильтром; второй канал - для наблюдения звезд, в котором установлено первое плоское наклонное зеркало для наблюдения звезд с участка небесной сферы (звездного неба), размещенное в плоскости пересечения первого и второго каналов с возможностью направления света от звезд участка небесной сферы на часть входной апертуры оптической системы телескопа, которая не покрыта зеленым светофильтром (минуя зеленый светофильтр), и создания изображения звезд на матричном фотоприемнике; третий канал - для наблюдения звезд, в котором установлено второе

плоское наклонное зеркало для наблюдения звезд с другого участка звездного неба, размещенное в плоскости пересечения первого и третьего каналов с возможностью направления света от звезд другого участка небесной сферы, удаленного от первого участка небесной сферы на угол 45° - 135° , на часть входной апертуры оптической системы телескопа, которая не покрыта зеленым светофильтром (минуя зеленый светофильтр), и создания изображения звезд на матричном фотоприемнике.

В одном из вариантов реализации изобретения перед плоскими наклонными зеркалами установлена фигурная диафрагма (заслонка) для исключения попадания в первый канал той части света от Земли, которая не прошла через зеленый светофильтр.

Зеленый светофильтр может быть выполнен с возможностью перекрытия половины (или части) входной апертуры канала наблюдения Земли, а наклонные зеркала установлены с возможностью направления излучения звезд в оставшуюся часть апертуры.

Оптическая система может быть зеркальной или зеркально-линзовой, при этом зеленый светофильтр может быть нанесен непосредственно на часть поверхности главного (первичного) зеркала оптической системы.

Таким образом, технический результат достигается за счет создания еще одного канала наблюдения звезд 12 (далее - канал наблюдения звезд III), ось визирования которого направлена под достаточно большим углом (45° - 135°) как к оси визирования телескопа 10 (канала наблюдения Земли I), так и к оси визирования канала наблюдения звезд 11 (далее - канал наблюдения звезд II). Для создания канала наблюдения звезд III в конструкции телескопа использовано еще одно плоское наклонное зеркало 6, которое направляет излучение в оптическую систему 1, образуя канал наблюдения звезд III. Все лучи света 15 в пределах поля зрения канала наблюдения звезд III, падающие на входной

зрачок канала наблюдения звезд III (входной зрачок III), попадают на ту часть входной апертуры оптической системы 1, которая не покрыта зеленым светофильтром 3 (т.е. не проходят через зеленый светофильтр).

Краткое описание чертежей

5 Изобретение поясняется чертежами, где на фиг. 1 и 2 представлена схема телескопа по патенту RU 2505843 (прототип), виды сбоку и сверху, соответственно; на фиг. 3 представлены наложенные изображения Земли и звезд в фокальной плоскости прототипа устройства; на фиг. 4 и 5 представлена конструкция предлагаемого устройства, виды
10 сбоку и сверху, соответственно; на фиг. 6 представлены наложенные изображения Земли и звезд в фокальной плоскости предлагаемого устройства.

Позициями на чертежах обозначены: 1 - оптическая система (на фигурах отмечены ее основные части - главное и вторичное зеркала); 2 - матричный фотоприемник, расположенный в фокальной плоскости оптической системы 1; 3 - зеленый светофильтр, перекрывающий часть входной апертуры оптической системы 1; 4 - красный
15 светофильтр, закрывающий часть матричного фотоприемника 2; 5 - плоское наклонное зеркало для наблюдения звёзд по каналу II; 6 - плоское наклонное зеркало для наблюдения звёзд по каналу III; 7 - фигурная диафрагма (заслонка); 8 - корпус телескопа, 9 - граница входной апертуры телескопа; 10 - ось визирования канала наблюдения Земли I; 11 - ось визирования канала наблюдения звезд II; 12 - ось визирования канала
20 наблюдения звезд III; 13 - лучи света, приходящие от Земли, и создающие изображение Земли в фокальной плоскости (канал наблюдения Земли); 14 - лучи света, приходящие от звездного неба через канал наблюдения звезд II и создающие изображения звезд в фокальной плоскости (канал наблюдения звезд II); 15 - лучи света, приходящие через канал наблюдения звезд III; 16 - зеленое (прошедшее через зеленый светофильтр)
25 изображение Земли, регистрируемое той частью матричного фотоприемника 2, которая не закрыта красным светофильтром 4; 17 - изображения звезд, наблюдаемые через канал наблюдения звезд II, на покрытой красным светофильтром 4 части матричного фотоприемника 2; 18 - изображения наиболее ярких звезд, наблюдаемые через канал наблюдения звезд II на фоне изображения Земли 16; 19 - изображения звезд,
30 наблюдаемые через канал наблюдения звезд III, на покрытой красным светофильтром 4 части матричного фотоприемника 2; 20 - изображения наиболее ярких звезд, наблюдаемые через канал наблюдения звезд III, на фоне изображения Земли 16.

Осуществление изобретения

Предлагаемое устройство (см. фиг. 4, 5) содержит оптическую систему (для телескопа)
35 1; светочувствительную матрицу 2, расположенную в фокальной плоскости оптической системы 1; зеленый пропускающий светофильтр 3, закрывающий часть входной апертуры оптической системы 1; красный пропускающий светофильтр 4, закрывающий часть светочувствительной матрицы (2); плоское наклонное зеркало 5 для создания канала наблюдения звёзд II; плоское наклонное зеркало 6 для создания канала
40 наблюдения звёзд III; фигурную диафрагму (заслонку) 7 (не обязательный элемент конструкции).

В одном из вариантов осуществления изобретения зеленый светофильтр может закрывать примерно половину площади входной апертуры оптической системы 9, а наклонные зеркала установлены рядом с зеленым светофильтром с возможностью
45 направления излучения звезд в оставшуюся часть апертуры оптической системы. Красный светофильтр может закрывать примерно половину площади матрицы 2, при этом площади, закрываемые данными светофильтрами, могут варьироваться в широких пределах.

В другом варианте осуществления изобретения зеленый светофильтр может быть установлен в первом канале с перекрытием всей входной апертуры оптической системы, а наклонные зеркала размещены между зеленым светофильтром и входной апертурой оптической системы с возможностью направления лучей от звезд в оптическую систему, минуя зеленый светофильтр.

Оптическая система может быть выполнена зеркальной или зеркально-линзовой, а первый (зеленый) светофильтр нанесен непосредственно на часть поверхности главного зеркала оптической системы.

Также как в прототипе, полосы пропускания зеленого (3) и красного (4) светофильтров выбраны таким образом, чтобы при последовательном прохождении обоих светофильтров поглощалось практически все излучение.

Перед началом работы устройство ориентируют так, чтобы визирная ось (10) канала наблюдения Земли (входной зрачок I) была направлена на снимаемый объект на поверхности Земли, одновременно с этим в поля зрения каналов наблюдения звёзд II и III (входные зрачки II и III) должны попадать две области звездного неба, расположенные на достаточно большом угловом расстоянии друг от друга (45° - 135°).

Лучи света 13 от снимаемого участка поверхности Земли попадают во входной зрачок I, проходят сквозь зеленый светофильтр 3, затем через оптическую систему 1, которая строит изображение Земли 16 в фокальной плоскости оптической системы, в которой располагается светочувствительная матрица 2. Изображение Земли 16 регистрируется только той частью светочувствительной матрицы 2, которая не покрыта красным светофильтром 4. На оставшейся части матрицы 2 излучение от Земли не регистрируется, оно практически полностью поглощается красным светофильтром 4, так как до этого оно прошло сквозь зеленый светофильтр 3.

Лучи света от звёзд из двух наблюдаемых участков неба 14, 15 попадают во входные зрачки II и III, плоские зеркала 5 и 6 направляют их в оптическую систему 1, образуя каналы наблюдения звезд II и III, соответственно. Плоские наклонные зеркала 5 и 6 установлены так, чтобы оси визирования этих каналов 11, 12 были отклонены от оси визирования оптической системы 10 на достаточно большой угол (45° - 135°), чтобы в поля зрения каналов наблюдения звезд попадала не Земля, а звездное небо. Помимо этого, оси визирования 11 и 12 каналов наблюдения звезд II и III должны быть направлены под достаточным углом друг к другу (45° - 135°), чтобы обеспечить регистрацию звезд из достаточно удаленных участков неба. Зеркала 5 и 6 направляют лучи света 14 и 15 от регистрируемых в каналах II и III звезд на два неперекрывающиеся участка входной апертуры оптической системы 1 не покрытых зеленым светофильтром 3. Оптическая система 1 формирует изображения обоих участков звездного неба в фокальной плоскости оптической системы 1, где расположена светочувствительная матрица 2. Изображения обоих участков звездного неба, 17, 18 и 19, 20, формируются на всей светочувствительной матрице 2 и перекрывают друг друга. На участке светочувствительной матрицы 2 покрытом красным светофильтром 4 будут регистрироваться только изображения звезд 17, 19, наблюдаемых через входные зрачки II и III. Изображение Земли 16, создаваемое на этом участке светочувствительной матрицы 2, не регистрируется, так излучение от нее последовательно проходит зеленый 3 и красный 4 светофильтры. На остальной части светочувствительной матрицы 2 не покрытой красным светофильтром 4, регистрируются как изображения звезд (обоих участков) 18, 20, так и изображение Земли 16. Поскольку изображение Земли 16 очень яркое, на его фоне будут видны только самые яркие звезды 18, 20.

Фигурная диафрагма (заслонка) 7 предназначена для того, чтобы не пропускать

лучи света от Земли 13 на части входной апертуры оптической системы 1 не перекрытые зеленым светофильтром 3, например, в зазоры между наклонными зеркалами 5 и 6. В случае появления таких лучей изображение Земли будет регистрироваться на всей матрице фотоприемника (т.е. не будет подавлено на части, закрытой красным светофильтром), что может препятствовать регистрации звезд на этой части матрицы. Соответственно, форма, размеры, материалы заслонки зависят от конкретной конструкции телескопа. Возможен вариант реализации конструкции телескопа, в которой светофильтры, зеркала и элементы их крепления полностью перекрывают возможность попадания лучей света от Земли на фотоприемник минуя зеленый светофильтр, в этом случае конструкция телескопа может быть реализована без заслонки. Телескоп может быть реализован без заслонки, если наклонные зеркала 5 и 6 полностью закрывают от света Земли не покрытую зеленым светофильтром 3 часть входной апертуры оптической системы 1, что исключает попадание в телескоп прямых лучей света от Земли, не прошедших через зеленый светофильтр.

Погрешность положений звезд, построенных в канале наблюдения звезд II, минимальна вдоль проекции оси визирования 11 канала наблюдения звезд II на фокальную плоскость и минимальна в направлении поперек этой линии. Аналогично, погрешность положений звезд, построенных в канале наблюдения звезд III, минимальна вдоль проекции оси визирования 12 канала наблюдения звезд III на фокальную плоскость и минимальна в поперечном направлении. Если угол между проекциями осей визирования каналов наблюдения звезд II и III на фокальную плоскость достаточно велик, то совместная обработка изображений звезд регистрируемых в этих каналах позволяет достичь погрешности близкой к минимальной (σ_{xy}) в любом направлении [Бирюков А.В., Прохоров М.Е., Тучин М.С. Байесовский подход к совместной обработке данных в звездном датчике с несколькими оптическими головками // Шестая Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов»: сб. трудов / серия «Механика, управление и информатика» - М.: ИКИ РАН, 2019. - с. 172-185.]. Оптимальным для достижения минимальной погрешности является случай, когда проекции осей 11 и 12 на матричный фотоприемник 2, расположенный в фокальной плоскости оптической системы 1, перпендикулярны друг другу, но приемлемым можно считать конструкцию устройства, в котором угол между осями 11 и 12 лежит в пределах от 45° до 135°. На фиг. 5 представлен один из вариантов получаемого изображения при реализации изобретения, где плоскость фигуры 5 совпадает с плоскостью матричного фотоприемника (вид на телескоп «сверху»), а угол между проекциями осей составляет 90°, т.е. лежит в указанном интервале.

Для совместной обработки наложенных друг на друга изображений участков звездного неба, наблюдаемых по каналам наблюдения звезд II и III, необходимо знать: к какому участку неба относится каждое зарегистрированное на матричном фотоприемнике изображение звезды 17-20. Такой метод разделения наложенных изображений звездного неба известен, он использовался при обработке данных наблюдений в космическом эксперименте Hipparcos [The Hipparcos and Tycho catalogues. Astrometric and photometric star catalogues derived from the ESA Hipparcos Space Astrometry Mission // Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, SP-1200, 1997. - ISBN: 9290923997]. Для этого используется каталог ярких (навигационных) звезд, подобный каталогам, используемым в звездных датчиках ориентации [Федосеев В.И., Колосов М.П. Оптико-электронные приборы ориентации и навигации космических аппаратов - М.: Логос, 2007. - 248 с.].

Следует отметить, что в конструкции прототипа по патенту RU 2505843 использована конкретная конструкция телескопа (оптической системы): зеркально линзовый телескоп с вогнутым главным зеркалом, выпуклым вторичным зеркалом и линзовым корректором вблизи фокальной плоскости. Эта схема похожа на широко распространенные в астрономии системы телескопов Кассегрена и Риччи-Кретьена [Максутов Д.Д. Астрономическая оптика. - М.-Л.: Наука, 1979. - 395 с.]. В иллюстрации к конструкции предлагаемого устройства (фиг. 4) также изображен подобный двухзеркальный телескоп. Однако в предлагаемом устройстве может использоваться оптическая система любого типа: зеркальная, линзовая или катадиоптрическая, с любым числом зеркал и/или линз, выполненная по любой оптической схеме [Максутов Д. Д. Астрономическая оптика. - М.-Л.: Наука, 1979. - 395 с.].

Кроме того, в конкретном варианте осуществления заявляемого устройства использованы красный и зеленый светофильтры. Однако может быть использована иная комбинация светофильтров при соблюдении следующего: условия: полосы пропускания этих светофильтров должны быть выбраны таким образом, чтобы при последовательном прохождении обоих светофильтров поглощалось практически все излучение. Такой выбор характеристики светофильтров обеспечивает спектральное разделение изображений Земли и звезд в фокальной плоскости. Конкретные цвета (центральные длины волн полос пропускания) светофильтров могут выбираться из других соображений при конкретной реализации устройства. Принципиальным является использование двух пропускающих светофильтров - первого и второго, полосы пропускания которых практически не пересекаются. Например, вместо пары из первого зеленого и второго красного светофильтров могут столь же успешно использоваться пары первый синий - красный, первый фиолетовый - второй оранжевый или первый зеленый - второй пропускает полосу из близкого инфракрасного диапазона. Возможна и комбинация светофильтров обратная описанной в прототипе: первый красный, а второй - зеленый.

Возможны несколько конструктивных вариантов для зеленого светофильтра:

1. Зеленый светофильтр 3 перекрывает всю входную апертуру канала наблюдения Земли. Наклонные зеркала 5 и 6 стоят между зеленым светофильтром 3 и оптической системой 1.

2. Зеленый светофильтр 3 перекрывает половину (часть) входной апертуры канала наблюдения Земли. В этом случае соотношение между удалением от оптической системы 1 наклонных зеркал 5 и 6 и зеленого светофильтра 3 может быть произвольным.

Конструктивные варианты 1 и 2 могут применяться для оптических систем любого типа.

3. Если оптическая система 1 является зеркальной или зеркально-линзовой, то зеленый светофильтр 3 может быть нанесен непосредственно на часть поверхности главного (первичного) зеркала оптической системы.

Работоспособность предложенной конструкции была проверена на натурном макете, состоявшем из телескопа Sky-Watcher Dob 8" (зеркальный телескоп системы Ньютона с диаметром входной апертуры 200 мм и фокусным расстоянием 1200 мм) с цветной цифровой видеокамерой Celestron NexImage 10 (на основе КМОП-матрицы ON Semi MT9J003c разрешением 3856 × 2764 пикселей). Перед входной апертурой телескопа были установлены зеленый оптический фильтр из стекла марки ЗС8, закрывающий половину входной апертуры, и два плоских зеркала, направляющие в оптическую систему телескопа изображения звезд от двух участков неба, расположенных на небесном меридиане, перпендикулярном оси визирования телескопа, в 30° от точки

зенита. Половина матрицы в камере была перекрыта красным светофильтром, изготовленным из оптического стекла марки КС14. Телескоп был установлен неподвижно в горизонтальном положении на оптическом рельсе. Изображение Земли создавалось с помощью имитатора Земли, который состоял из управляемого персональным компьютером LCD-экрана, на который выводилось изображение участка поверхности Земли, и оптического коллиматора диаметром 230 мм. Наблюдения проводились ночью, были получены несколько серий кадров, совмещающих изображения Земли, полученных с имитатора, и двух участков небесной сферы. Обработка полученных кадров показала высокую и изотропную точность привязки изображения Земли к координатной системе по изображениям звезд.

(57) Формула изобретения

1. Космический телескоп для одновременного наблюдения звезд и Земли, содержащий первый канал – наблюдения Земли, в котором последовательно установлены по ходу оптического луча первый светофильтр, оптическая система и размещенный в фокальной плоскости оптической системы матричный фотоприемник, часть которого закрыта вторым светофильтром; второй канал – для наблюдения звезд, в котором установлено первое плоское наклонное зеркало для наблюдения звезд с участка небесной сферы, размещенное в плоскости пересечения первого и второго каналов с возможностью направления света от звезд участка небесной сферы на часть входной апертуры оптической системы телескопа, минуя первый светофильтр, и создания изображения звезд на матричном фотоприемнике, при этом полоса пропускания первого светофильтра не пересекается с полосой пропускания второго светофильтра, отличающийся тем, что содержит третий канал - для наблюдения звезд, в котором установлено второе плоское наклонное зеркало для наблюдения звезд с другого участка звездного неба, размещенное в плоскости пересечения первого и третьего каналов с возможностью направления света от звезд другого участка небесной сферы на часть входной апертуры оптической системы телескопа, минуя первый светофильтр, и создания изображения звезд на матричном фотоприемнике.

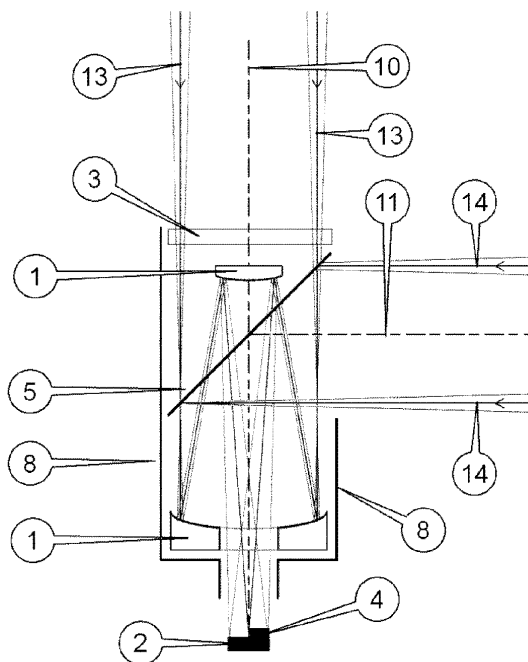
2. Космический телескоп по п. 1, отличающийся тем, что перед плоскими наклонными зеркалами установлена фигурная диафрагма для исключения попадания в первый канал той части света от Земли, которая не прошла через первый светофильтр.

3. Космический телескоп по п. 1, отличающийся тем, что первый светофильтр выполнен с возможностью перекрытия части входной апертуры канала наблюдения Земли, а наклонные зеркала установлены с возможностью направления излучения звезд в оставшуюся часть апертуры.

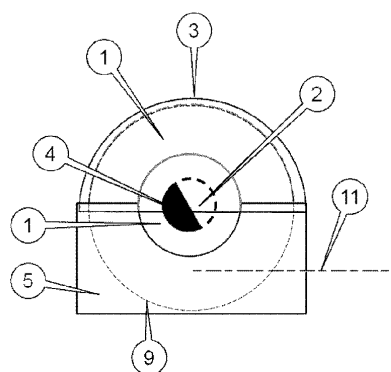
4. Космический телескоп по п. 1, отличающийся тем, что оптическая система является зеркальной или зеркально-линзовой, а первый светофильтр нанесен непосредственно на часть поверхности главного зеркала оптической системы.

5. Космический телескоп по п. 1, отличающийся тем, что в качестве первого светофильтра использован зеленый светофильтр, в качестве второго – красный светофильтр.

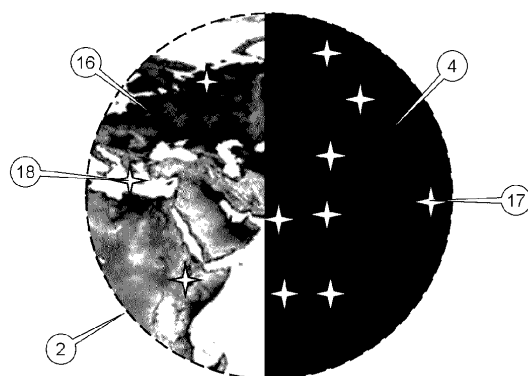
1



Фиг. 1

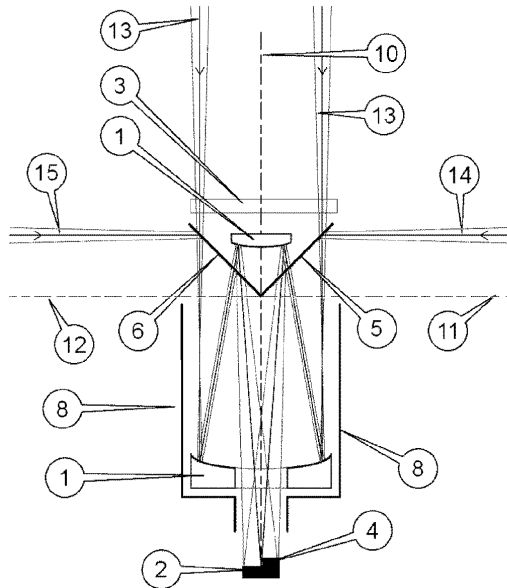


Фиг.2

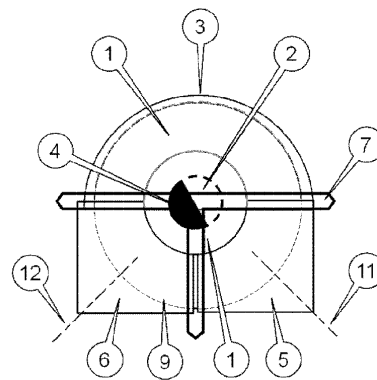


Фиг.3

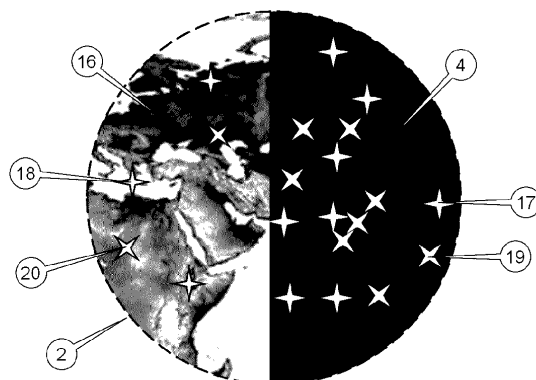
2



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6