

УДК 520.3/8; 520.2

А.Л. Шакиров

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

E-mail: shakirov@physics.kz

Модель зрительной трубы с составным объективом

Цель исследования – разработка модели зрительной трубы с составным объективом, состоящим из двух относительно короткофокусных объективов. Была разработана теоретическая модель зрительной трубы с составным объективом, включающая расчет увеличения. Было проведено сравнение рассчитанной модели с классической схемой зрительной трубы. Был сконструирован стенд для испытания пар объективов, позволяющий определить геометрические параметры составного объектива и пределы изменения его фокусного расстояния. По полученным экспериментальным данным и с использованием теоретических разработок был сконструирован ряд действующих макетов зрительных труб с составными объективами. Модель зрительной трубы с составным объективом может найти самое широкое применение как в научных приборах, так и в бытовых изделиях.

Ключевые слова: зрительная труба, фокусное расстояние, линзы Барлоу.

А.Л. Шакиров

Көру құбырының құрамалы объективті моделі

Зерттеудің мақсаты – салыстырмалы екі қысқа фокусты объективтен тұратын құрама объективтің көру құбырының моделін жасап шығару. Ұлғаюының есептерімен құрамалы объективтің көру құбырының теориялық моделі жасалды. Көру құбырының классикалық сызбасымен осы есептелген модельге салыстыру жүргізілді. Фокус арақашықтығы шегінің өзгерісі мен құрамалы объективтің геометриялық параметрлерін анықтауға арналған екі объективті сынауға стенд конструкцияланды. Теориялық жасалулардың қолданылуы мен эксперименттік мәндерді алу негізінде құрамалы объективтің көру құбырының бірнеше макеті конструкцияланды. Құрамалы объективтің көру трубасының моделі ғылыми приборлардағы сияқты қолданбалы бұйымдарда да өте кең қолданысқа ие болуы мүмкін.

Түйін сөздер: көру трубасы, фокустық арақашықтық, Барлоу линзалары

A.L. Shakirov

A spotting scope model with a convertible lens

The aim of the study is to develop a spotting scope model with a convertible lens consisting of two relatively short-focus lenses. A theoretical model of a spotting scope with a convertible lens allowing estimation of magnification was developed. The designed model was compared with the existing classical spotting scope scheme. A stand intended for the test of pairs of lenses allowing determination of geometric parameters of the convertible lens and the limits of focal distance changing was constructed. A number of working dummies of the spotting scope with convertible lenses was constructed using the obtained experimental data and theoretical developments. A spotting scope model with a convertible lens may find a wide application both in scientific research tools and in household goods.

Key words: viewing tube, focal length, Barlow's lenses.

Введение

Зрительные трубы чрезвычайно широко представлены в современном мире – это телескопы, подзорные трубы, бинокли, оптические прицелы, нивелиры, теодолиты, перископы и т.п. устройства. Кроме того, они присутствуют во всевоз-

можных научных спектроскопических приборах, где служат для рассматривания спектра.

В источнике [1] приводится описание основных оптических схем телескопов и даются практические рекомендации по их конструированию.

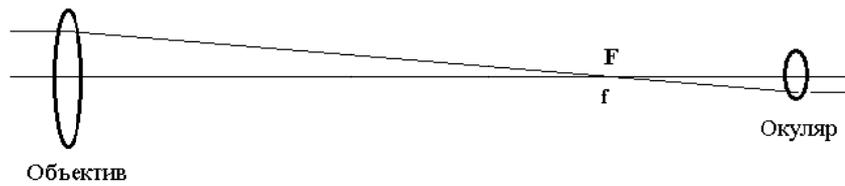


Рисунок 1 – Принципиальная оптическая схема телескопа Кеплера и ход лучей в нем.
 F – фокусное расстояние объектива; f – фокусное расстояние окуляра

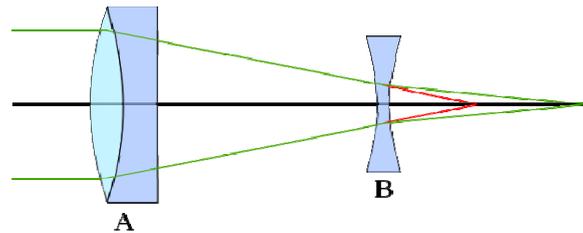


Рисунок 2 – Демонстрация увеличения эффективного фокусного расстояния объектива телескопа
 A – объектив телескопа; B – линза Барлоу



Рисунок 3 – Линза Барлоу заводского изготовления

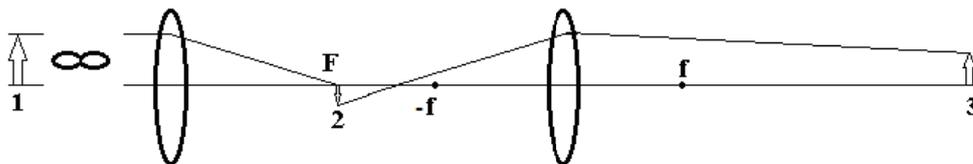


Рисунок 4 – Ход лучей в составном объективе.
 F – фокусное расстояние переднего объектива; f – фокусное расстояние заднего объектива;
 1 – объект; 2 – обратное изображение объекта; 3 – прямое изображение объекта

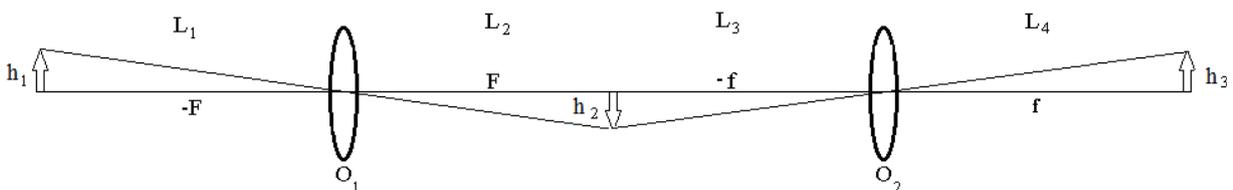


Рисунок 5 – Построение изображения объекта в составном объективе,
 выполненное для расчета его увеличения

Для рассматривания удаленных предметов используется схема телескопа – рефрактора системы Кеплера (рис. 1). В классическом виде такой телескоп состоит из двух основных элементов – объектива и окуляра, заключенных в корпус, обычно в виде трубы. В простейшем случае объектив представляет собой положительную длиннофокусную линзу, но для уменьшения оптических aberrаций обычно используется объектив, состоящий из нескольких линз. Окуляр же, наоборот, имеет малое фокусное расстояние.

В трубе Кеплера предусмотрено передвижение окулярной трубки для возможности наблюдения предметов, находящихся на различных расстояниях. В этой схеме изображение остается перевернутым, что не всегда удобно. Поэтому там, где нужно, используются дополнительные оборачивающие системы в виде призм или же в виде пары линз с совмещенными фокусами. Оборачивающие системы ухудшают качество изображения – падает его контрастность, яркость, появляются дополнительные aberrации.

В источнике [2] приводится описание т.н. линзы Барлоу, разработанной в начале 19 века английским физиком и математиком Питером Барлоу.

Линза Барлоу – это рассеивающая линза или система линз, размещаемая перед окуляром телескопа, увеличивающая эффективное фокусное расстояние телескопа, и, следовательно, его увеличение.

Линза Барлоу является одним из самых часто используемых и полезных аксессуаров в арсенале астронома любой квалификации. Чаще используют 2-кратную линзу, но есть 1,5х, 3х и даже 5-кратные. Однако они довольно дорогие. Изображенная на рис. 3 линза, например, стоит порядка двухсот долларов. Дешевые линзы Барлоу несколько ухудшают качество изображения, поскольку неизбежно привносят дополнительные aberrации. При использовании данной линзы невозможно плавное изменение увеличения телескопа. Кроме того, при ее применении изображение в трубе Кеплера остается перевернутым.

В фототехнике для увеличения фокусного расстояния также используются отрицательные линзы, они крепятся между корпусом фотоаппарата и объективом и называются в этом случае конверторами. Обычно они бывают 1,5 или 2-кратными и также ухудшают качество изображения.

Теоретическая модель зрительной трубы с составным объективом

Составной объектив (рис. 4) состоит из двух объективов, переднего и заднего, в общем случае с различными фокусными расстояниями F и f . Главные плоскости объективов расположены друг относительно друга на расстоянии больше, чем сумма их фокусных расстояний.

Здесь передний объектив формирует обратное изображение 2 объекта 1, отнесенного на физическую бесконечность. Задний объектив формирует прямое изображение 3 объекта 1, которое может рассматриваться пользователем при помощи положительного окуляра (не обозначен). Изменением расстояния между передним и задним объективами можно добиваться изменения эффективного фокусного расстояния (увеличения) зрительной трубы в очень широких пределах.

Для расчета линейного увеличения составного объектива сделаем следующее построение:

Здесь O_1 – передний объектив, O_2 – задний объектив, h_1 – высота объекта, L_1 – расстояние от объекта до переднего объектива, h_2 – высота обратного изображения объекта, L_2 – расстояние от переднего объектива до обратного изображения объекта, L_3 – расстояние от обратного изображения объекта до заднего объектива, h_3 – высота прямого изображения объекта, L_4 – расстояние от заднего объектива до прямого изображения объекта. В общем случае $F \neq f$.

Из подобия треугольников можем составить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{h_1}{L_1} = \frac{h_2}{L_2} \\ \frac{h_2}{L_3} = \frac{h_3}{L_4} \end{cases} \quad (1)$$

Перепишем уравнения по-другому:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{L_2}{L_1} = \Gamma_n \quad (2)$$

– уравнение линейного увеличения переднего объектива;

$$\frac{h_3}{h_2} = \frac{L_4}{L_3} = \Gamma_3 \quad (3)$$

– уравнение линейного увеличения заднего объектива.

Линейное увеличение составного объектива обозначим как

$$\frac{h_3}{h_1} = \Gamma_c.$$

Решая систему уравнений (1) относительно этой дроби, получим:

$$\frac{h_3}{h_1} = \frac{L_2 L_4}{L_1 L_3} \quad (4)$$

Из этих уравнений следует, что линейное увеличение составного объектива равно произведению линейных увеличений переднего и заднего объективов:

$$\Gamma_c = \Gamma_n \Gamma_3. \quad (5)$$

Из уравнения (5) вытекает возможность значительного, до двух раз, уменьшения габаритов зрительной трубы с составным объективом по сравнению габаритами классической схемы при одинаковом увеличении. Это можно легко подтвердить на конкретном примере.

Современный объектив представляет собой сложное оптическое устройство, на корпусе которого затруднительно определить главную плоскость. Кроме того, эффективное фокусное расстояние составного объектива очень сильно зависит от расстояния между передним и задним объективами. Это затрудняет теоретический расчет и дальнейшее конструирование зрительной трубы. Для того чтобы обойти эту трудность, был сконструирован стенд для испытания пар объективов.

Стенд (рис. 6) включает фотографическую удлинительную приставку заводского изготовления с мехом и мерной шкалой. Приставка была переделана с возможностью присоединения к ней объективов с двух сторон.

В качестве удаленного на физическую бесконечность объекта наблюдения использовалось Солнце, его изображение фокусировалось составным объективом на белый экран. Измерялось расстояние от кромки заднего объектива до изображения Солнца. Проводился ряд измерений для различных расстояний между передним и задним объективами, которые контролировались при помощи шкалы фотографической приставки стенда.

По полученным точкам в редакторе Excel строился график зависимости эффективного фокусного расстояния составного объектива от

показаний шкалы фотографической приставки стенда, типичная кривая приведена на рис. 7.

В соответствии с уравнением тонкой линзы эти кривые представляют собой гиперболы. Теперь по этим данным можно найти соответствие между требуемым результирующим фокусным расстоянием и показаниями шкалы.

Макеты зрительных труб

Было изготовлено 4 действующих макета зрительных труб. На рис. 8 приведена фотография первого макета с выдвижным тубусом. В качестве переднего объектива использовался фотографический объектив “Юпитер-11” с фокусным расстоянием 135 мм и относительным отверстием 4. В качестве заднего (не виден, т.к. установлен внутри трубы) используется фотообъектив “Юпитер-8” с фокусным расстоянием 50 мм и относительным отверстием 2. Характерной особенностью данного макета является возможность плавного изменения увеличения. Этому способствуют заводская система наводки на резкость, реализованная в переднем объективе, и телескопическая система корпуса трубы.

Степень увеличения описанной трубы с 20-кратным окуляром можно менять в пределах примерно от 30х до 50х.

На рис. 9 изображен второй макет, в котором в качестве переднего объектива использовался фотообъектив “индустар-51” с фокусным расстоянием 210 мм, и относительным отверстием 4,5. В качестве заднего объектива – объектив от киноустановки с фокусным расстоянием 35 мм и относительным отверстием 2.

На рис. 10 приведена фотография третьего макета, в котором в качестве переднего объектива использовался объектив от цифрового фотоаппарата “Nikon” DX SWM ED с трансфокатором, с возможностью изменения его фокусного расстояния от 55 до 200 мм.

В качестве заднего объектива использовался объектив с фокусным расстоянием 35 мм и относительным отверстием 2. Предусматривалась возможность наводки на резкость, как вращением окуляра, так и вращением фокусирующей оправки переднего объектива. Путем вращения зуммирующей оправки переднего объектива можно плавно менять степень увеличения зрительной трубы без изменения ее габаритов. В настоящее время конструируется макет зрительной трубы с зуммирующим задним объективом.

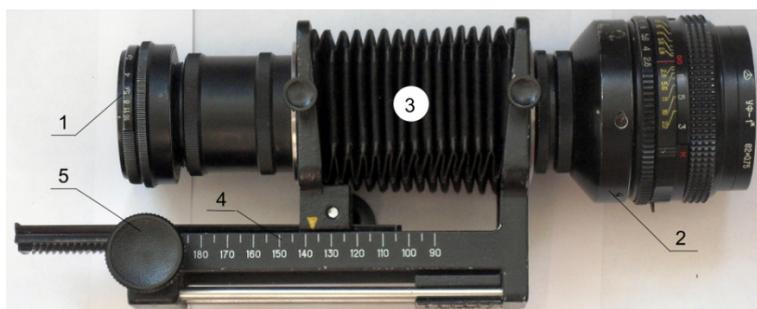


Рисунок 6 – Фотография станда.

1 – передний объектив; 2 – задний объектив; 3 – мех; 4 – шкала; 5 – барашек

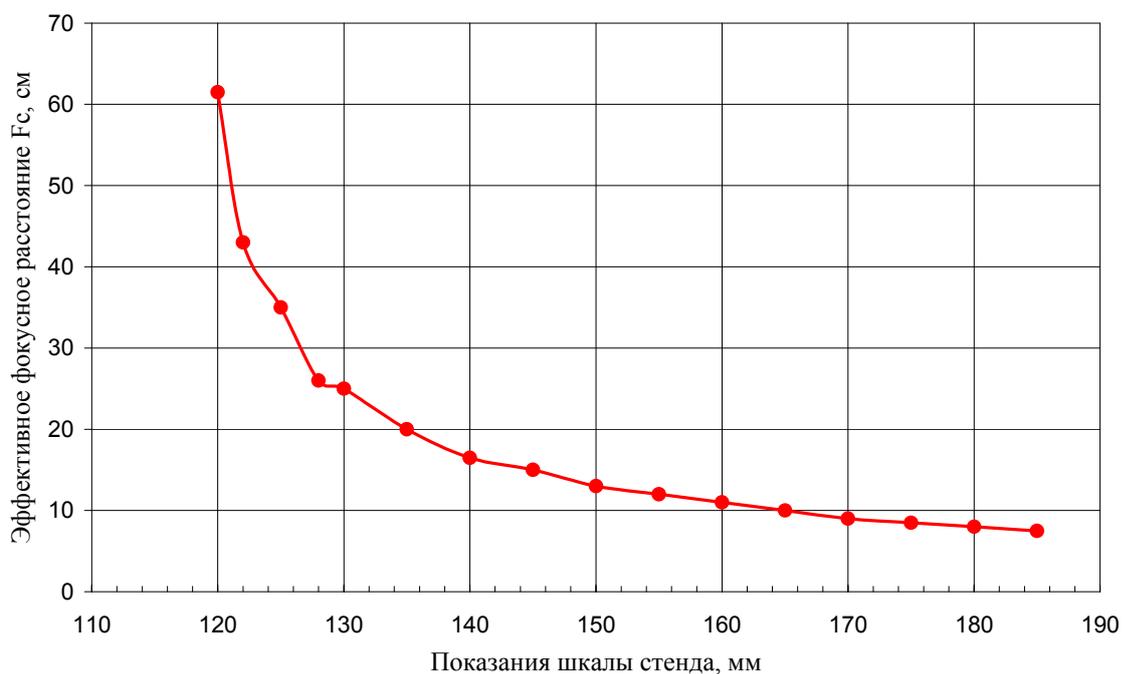


Рисунок 7 – Зависимость эффективного фокусного расстояния составного объектива от показаний шкалы станда



Рисунок 8 – Фотография действующего макета зрительной трубы с переменным фокусным расстоянием

На рис. 11 помещена фотография действующего макета миниатюрной зрительной трубы. Она имеет 6-кратное увеличение. В качестве переднего использовался объектив с 30-милли-

метровым фокусом, в качестве заднего – короткофокусный микроскопный объектив.

Конструктивно макет выполнен таким образом, что можно в значительных пределах менять



Рисунок 9 – Фотография действующего макета зрительной трубы с большой кратностью



Рисунок 10 – Фотография действующего макета зрительной трубы с трансфокатором



Рисунок 11 – Фотография действующего макета миниатюрной зрительной трубы

расстояние между передним и задним объективами составного объектива. Это предоставляет дополнительную возможность рассматривать близкорасположенные предметы.

Заключение

Был проведен ряд экспериментов по использованию составных объективов в видео-, фототехнике. Для этого использовался цифровой зеркальный фотоаппарат Sony. После снятия штатного объектива на него устанавливались самодельные составные объективы и проводилась фотосъемка. Был получен ряд фотоизображений самой разной степени приближения вполне удовлетворительного качества. Единственное

неудобство заключалось в том, что изображение оказывалось перевернутым, однако, его можно обратно перевернуть в любом графическом редакторе.

По сравнению с классической моделью зрительной трубы модель с составным объективом имеет ряд существенных преимуществ – возможность рассматривать прямое изображение, менять увеличение в очень широких пределах, рассматривать близкорасположенные предметы и существенно уменьшить габариты трубы. Предложенная модель может найти применение в области конструирования оптических приборов.

References

- 1 Sikoruk L.L. Teleskopy dlya lyubiteley astronomii. – М.: Nauka, 1990. - S. 156-297.
- 2 <http://info-7.ru/Astro/barlou.shtml>