

Е. А. Шмурыгин^{1}, И. О. Михайлов¹*

Принципиальная схема устройства для селективного подбора оптических компонентов биноккулярных телескопических систем

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: podosinovik00@mail.ru

Аннотация. Биноккулярные телескопические системы играют ключевую роль в различных областях, в которых точность наблюдения и высокая качественная передача изображения имеют важное значение. В настоящее время самой экономически выгодной технологией сборки сложных устройств является селективная сборка. Решение технических и технологических проблем в области селективной сборки весьма интересная и актуальная задача, которой посвящена эта статья. В статье обусловлена суть и область применения селективной сборки. Рассмотрены основные требования к оптическим характеристикам биноккулярных приборов, предъявляемых к ним при изготовлении и приёмке. Приведена принципиальная схема устройства для селективного подбора оптических компонентов биноккулярных телескопических систем, основанная на определении фокусных расстояний бесконтактным автоматизированным способом. Представлен предварительный анализ принципиальной схемы устройства на точность. Результаты исследования, представленные в статье, демонстрируют эффективность предлагаемой принципиальной схемы устройства для селективного подбора оптических компонентов в биноккулярных телескопических системах. Предлагаемая схема позволяет повысить качество изображения, точность и оптимизировать производство биноккулярных приборов в различных сферах применения.

Ключевые слова: селективная сборка, биноккулярная телескопическая система, объектив, определение фокусного расстояния, принципиальная схема, измерительное устройство

E. A. Shmurygin^{1}, I. O. Mikhailov¹*

Schematic Diagram of a Device for Selective Selection of Optical Components of Binocular Telescopic Systems

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: podosinovik00@mail.ru

Abstract. Binocular telescopic systems play a key role in various fields where the accuracy of observation and high-quality image transmission are important. Currently, the most cost-effective technology for assembling complex devices is selective assembly. Solving technical and technological problems in the field of selective assembly is a very interesting and urgent task, which this article is devoted to. The article determines the essence and scope of selective assembly. The basic requirements for the optical characteristics of binocular devices imposed on them during manufacture and acceptance are considered. A schematic diagram of a device for the selective selection of optical components of binocular telescopic systems based on the determination of focal lengths by contactless automated method is presented. A preliminary analysis of the schematic diagram of the device for accuracy is presented. The results of the research presented in the article demonstrate the effectiveness of the proposed schematic diagram of a device for selective selection of optical components in binocular telescopic systems. The proposed scheme makes it possible to improve image quality, accuracy and optimize the production of binocular devices in various fields of application.

Keywords: selective assembly, binocular telescopic system, lens, focal length determination, schematic diagram, measuring device

Введение

Биноклярные телескопические приборы нашли применение в астрономии, спортивных мероприятиях, милитаризме, а также в научных и инженерных исследованиях. Однако, чтобы обеспечить оптимальное функционирование и достичь высокой оптической производительности в биноклярных системах, необходимо уделить особое внимание селективному подбору оптических компонентов.

Ключевой проблемой в области оптического приборостроения является обеспечение требуемой точности изготавливаемой детали или сборки.

Точность изготовления деталей – один из основных факторов, характеризующих качество прибора. Не менее важным является точность последующей сборки.

В настоящее время распространение получили следующие методы, обеспечивающие требуемую точность изделий в процессе сборки:

- метод полной взаимозаменяемости;
- метод неполной взаимозаменяемости (вероятностные методы);
- метод групповой взаимозаменяемости (селективная сборка);
- метод регулировки (сборка с использованием конструктивных компенсаторов).

В рамках сборочного процесса ни один из вышеперечисленных методов не обеспечивает оптимального сочетания производительности, экономичности и качества производимых изделий.

Целью данной работы является представление принципиальной схемы устройства для селективного подбора оптических компонентов в биноклярных телескопических системах. Основной задачей исследования является разработка нового подхода, который позволит эффективно собирать биноклярные приборы, учитывая особенности каждой линзы.

Теоретическая значимость заключается в представлении новой принципиальной схемы устройства, основанной на передовых методах оптического моделирования и анализа. Это позволяет значительно повысить качество изображения и оптимизировать производительность биноклярных систем. Практическая значимость заключается в разработке методологии для выбора оптимальных оптических компонентов, что способствует созданию более точных и функциональных биноклярных телескопических систем.

Селективная сборка

Под селективной сборкой понимается широкий выбор методов, так или иначе использующих подбор необходимых комплектующих элементов изделия по их разным сопрягаемым параметрам. Зная параметры элементов, возможно рассчитывать на более высокое качество изделия, чем при использовании стандартных компонентов, не учитывающих специфические требования [3].

Область применения селективных методов – сборка прецизионных изделий механики, электроники, радиотехники, оптики и т.п. Необходимость в применении селективных методов сборки актуальна всегда, когда требуются высокие точностная характеристика или стабильность характеристик технического изделия.

При современном развитии технологий в некоторых случаях требуемая точность комплектующих вообще не может быть гарантирована. Требуемую точность сопряжения в данном случае можно осуществить специальным подбором деталей. Такой подбор требует соблюдения значимых параметров комплектующих. Элементы, из которых формируется сборка, представляют собой отдельные детали, ранее собранные узлы, их части или даже материалы [5,11].

Важной задачей в селективной сборке является формирование сборочных комплектов, т.е. наборов деталей, направляемых на сборку.

Данный метод сборки напрямую зависит от контроля ключевых параметров всех собираемых элементов и рационального комплектования их в изделии. Методы селективной сборки относятся к классу современных новейших технологий. Именно новейших, несмотря на почтенный возраст всех основных идей. Дело в том, что с развитием современной вычислительной техники, средств измерения, контроля и автоматизации позволило в полной мере реализовать заложенные в них возможности [4].

Осуществление селективных методов сборки требует использования (а в некоторых случаях и разработки) прецизионных измерительных и контрольных средств, вычислительной техники и программного обеспечения. Высокая стоимость и сложность подобных систем предъявляют особые требования к обоснованию целесообразности их использования, что может быть получено лишь в рамках специальных математических методов, позволяющих прогнозировать эффективность селективной сборки и комплексно охарактеризовать ее. Комплексная оценка эффективности позволяет получить информацию о различных аспектах производственного процесса, таких как уровень готовности производства, объемы незавершенного производства, количество изделий, вышедших с дефектами, функциональные характеристики и т.д. Подобный анализ позволяет уже на ранних стадиях проектирования спрогнозировать возможные качества изделия и принять аргументированные решения о целесообразности или же нецелесообразности подобных действий [9,12].

Основные требования к бинокулярным приборам

Особенность оптических свойств бинокулярных устройств определяют специфику требований, предъявляемых к ним при изготовлении и приёмке. Такие требования описаны в оптических свойствах бинокулярных приборов [7] и дополняются частными техническими условиями для каждого прибора.

Важнейшими характеристиками всех групп бинокулярных телескопических приборов с параллельными оптическими осями является параллельность оптических осей обеих труб [2].

Согласно [1], абсолютная разница увеличений оптических каналов бинокулярного устройства не должна превышать для дневных приборов 2 % при $2\omega'$ меньше 50° ; 1,5 % при $2\omega'$ больше 50° ($2\omega'$ - угловое поле в пространстве изображений) и 3 % для приборов ночного видения.

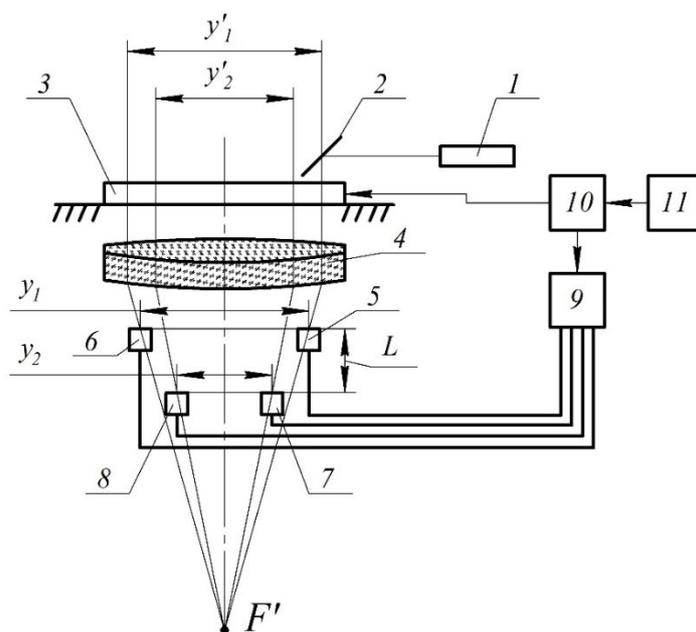
Принципиальная схема устройства

Названное требование на разность увеличений оптических каналов бинокулярных приборов могут быть обеспечены одним из двух способов:

- повышением точности изготовления линз прибора, что для массового производства является весьма затратным и экономически не выгодным решением;
- применить селективную сборку оптических узлов прибора. Этот способ весьма распространен в производстве и позволяет без ужесточения требований к точности изготовления линз комплектовать оптические функциональные узлы бинокулярных приборов. Комплектование выполняется ручным способом при измерении оптических характеристик каждого из компонентов. При этом очевидна низкая производительность и снижение количества выпускаемой продукции.

Предлагается автоматизация процесса селективного подбора оптических компонентов по их фокусному расстоянию, измеряемому при помощи опто-электронных модулей [8,13].

Ниже, на рис. 1 представлена принципиальная схема, основанная на измерении увеличения при двух положениях объекта относительно контролируемой системы.



1 – источник излучения; 2 – зеркало; 3 – каретка; 4 – проверяемый компонент; 5,6,7,8 – фотоприемники; 9 – блок обработки информации; 10 – датчик линейных перемещений; 11 – электродвигатель

Рис. 1. Принципиальная схема измерительного устройства

Данная схема работает следующим образом. Свет от лазерного источника излучения 1 отклоняемый зеркалом 2 падает на проверяемый компонент 4. При перемещении зеркала 2, установленного на каретке перпендикулярно оптической оси контролируемой детали пучок лучей за контролируемой деталью будет приломляться и затем его энергетический центр будет совмещаться с линиями раздела фотоприемных устройств (ФПУ) 5 – 8. Каретка с закрепленным зеркалом приводится в движение за счет электродвигателя 11. При совмещении пучка лучей с линией раздела фотоприемника в блоке обработки информации 9 запоминается отсчет с датчика линейного перемещения 10. При известном расстоянии между плоскостями установки фотоприемников определяется фокусное расстояние контролируемой детали.

Расстояние между плоскостями установки фотоприемников жестко фиксировано и равно L . Расстояние между фотоприемниками 5 и 6 равно y_1 , а между фотоприемниками 7 и 8 – y_2 . Датчик линейного перемещения подключен к входу блока обработки информации 9.

При движении каретки, узкий пучок лучей сканирует контролируемый компонент, и в тот момент, когда энергетический центр узкого пучка лучей, преломленного контролируемым компонентом, совмещается с линией раздела любого фотоприемника, в блоке управления информацией запоминается отсчет с датчика линейных перемещений. Поскольку имеется четыре фотоприемника, то в блоке управления информацией будет четыре фиксированных отсчета положения каретки. Попарная разность этих отсчетов дает значения изображений отрезков y'_1 и y'_2 . Соответственно отрезкам y_1 и y_2 .

По формуле 1 можно рассчитать фокусное расстояние оптической системы:

$$f' = \frac{L}{\frac{y_1}{y'_1} - \frac{y_2}{y'_2}} = \frac{L}{\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2}} = \frac{L\beta_1\beta_2}{\beta_2 - \beta_1}, \quad (1)$$

где L – расстояние между плоскостями установки фотоприемников; y_1 – расстояние между фотоприемниками 5 и 6; y_2 – расстояние между фотоприемниками 7 и 8; β_1 – увеличение в плоскости y_1 ; β_2 – увеличение в плоскости y_2 .

В данном выражении величина L , y_1 и y_2 являются параметрами устройства и могут быть определены заранее с достаточной точностью. Необходимо измерить отрезки y_1 и y_2 . По этим пяти параметрам в блоке управления определяется значение фокусного расстояния.

На основании формулы (1) выполняется предварительный анализ на точность, которая будет определяться среднеквадратическим отклонением (СКО) измеряемой величины [10].

$$\text{СКО}_{f'_{06}} = \sqrt{(\Delta f'_{y_1})^2 + (\Delta f'_{y_2})^2 + (\Delta f'_{y'_1})^2 + (\Delta f'_{y'_2})^2 + (\Delta f'_L)^2}, \quad (2)$$

где $\Delta f'_{y_1}$, $\Delta f'_{y_2}$, $\Delta f'_{y'_1}$, $\Delta f'_{y'_2}$ – погрешности, связанные с погрешностями измерения соответствующих расстояний, мм; $\Delta f'_L$ – погрешность аттестации размера L , мм.

Предполагается, что контроль и подбор в пары будет выполняться для телескопической системы с видимым увеличением Γ , равным 30^{\times} , в которой фокусные расстояния окуляра $f'_{ок}$ и объектива $f'_{об}$ соответственно равны 10 и 300 мм.

На основании формулы (2) вычисляется СКО искомого значения [6,14]:

$$\begin{aligned} \text{СКО}_{f'_{об}} &= \sqrt{(\Delta f'_{y_1})^2 + (\Delta f'_{y_2})^2 + (\Delta f'_{y'_1})^2 + (\Delta f'_{y'_2})^2 + (\Delta f'_L)^2} = \\ &= \sqrt{-0,75^2 + -1,2^2 + 0,375^2 + 0,96^2 + 0,06^2} = \pm 1,494 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (3)$$

Относительная погрешность измерений составляет

$$\frac{\text{СКО}_{f'_{об}}}{f'_{об}} = \frac{1,494}{300} 100 = \pm 0,498 \text{ \%}. \quad (4)$$

Погрешность увеличения, связанная с погрешностью измерения фокусного расстояния по формуле (5)

$$\Delta \Gamma_{f'_{об}} = \frac{1}{f'_{ок}} \text{СКО}_{f'_{об}} = \frac{1}{10} 1,494 = \pm 0,15^{\times}. \quad (5)$$

Погрешности изготовления объектива и окуляра приводят к погрешности их фокусных расстояний и, как следствие к погрешности увеличения оптической системы. Погрешность можно оценить величиной среднеквадратического отклонения $\text{СКО}_{\Sigma \Gamma}$

$$\text{СКО}_{\Gamma} = \sqrt{(\Delta \Gamma_{f'_{об}})^2 + (\Delta \Gamma_{f'_{ок}})^2} = \sqrt{0,15^2 + 0,15^2} = \pm 0,21^{\times}. \quad (6)$$

Итоговая погрешность $\text{СКО}_{\Sigma \Gamma}$ в паре объективов оптических каналов

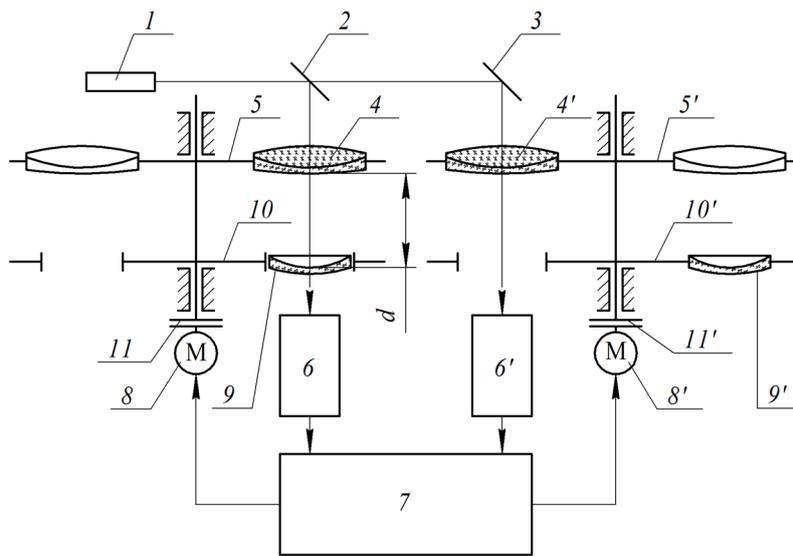
$$\text{СКО}_{\Sigma \Gamma} = \sqrt{2 \cdot \text{СКО}_{\Gamma}^2} = \sqrt{2 \cdot 0,21^2} = \pm 0,3^{\times}, \quad (7)$$

что в относительном выражении составит:

$$\frac{\text{СКО}_{\Sigma \Gamma}}{\Gamma} = \frac{0,3}{30} 100 = \pm 1 \text{ \%}. \quad (8)$$

Принципиальная схема устройства приведена на рис. 2. Устройство работает следующим образом. От лазерного источника излучения 1 свет падает на светоделительный элемент 2, а вслед и на поверхность зеркала 3. Таким образом два сформированных пучка лучей, отклоненных на 90° , проходят через первую пару линз объектива 4, 4', установленных на поворотном столике 5, 5', а затем и через вторую пару линз 9, 9', установленных на поворотном столике 10, 10'. При-

ломленный пучок лучей попадает на измерительный оптико-электронный модуль 6, 6', полученный результат попадает в блок обработки сигнала 7, где происходит его анализ. При подборе пар оптических систем объективов, столы на которых расположены оптические компоненты первого объектива после измерения фокусного расстояния останавливают движение, а столы, отвечающие за второй объектив, осуществляют движение до тех пор, пока не будет подобрана пара к первой оптической системе объектива. Вращение верхней пары столов осуществляется с помощью шаговых электродвигателей 8, 8', а для нижней пары применяется муфта независимого управления столами 11, 11'.



1 – источник излучения; 2 – светоделительный элемент; 3 – зеркало; 4, 4' – первый компонент объектива бинокулярного прибора; 5, 5' – поворотный стол с первым оптическим компонентом; 6, 6' – измерительный оптико-электронный модуль; 7 – блок обработки сигнала; 8, 8' – шаговый электродвигатель; 9, 9' – второй компонент объектива бинокулярного прибора; 10, 10' – поворотный стол со вторым оптическим компонентом; 11, 11' – муфта независимого управления столами

Рис. 2. Принципиальная схема устройства

Заключение

Разработка метода и устройства для селективного подбора пар объективов бинокулярных приборов является актуальной задачей для современной оптической промышленности. Предлагается принцип работы и предварительная схема устройства автоматического поэлементного подбора линз объективов бинокулярных приборов. В предложенной схеме возможно вносить необходимые правки систематических погрешностей устройства через электронный блок управления.

Предварительный анализ принципиальной схемы на точность, показал, что погрешность подбора объективов по критерию увеличения двух оптических каналов соответствует основному требованию на качество бинокулярных приборов и не превышает 1,5 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 50909-96. Приборы визуальные наблюдательные. Требования безопасности и методы испытаний. – Введ. 1996 – 04 – 01. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 12 с.- Текст: электронный. – Библиотека нормативной документации. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/94/9443.pdf> (дата обращения: 10.04.2023).
2. ГОСТ 13095-82. Объективы. Методы измерения фокусного расстояния. – Введ. 1984 – 03 – 01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 10 с. – Текст: электронный. – Библиотека нормативной документации. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294838/4294838049.pdf> (дата обращения: 10.04.2023).
3. Еськова, Л.М. Оптические измерения: учеб. пособие для вузов / Л. М. Еськова. – М.: Наука, 2003. – 129 с.
4. Капустина Н.М. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1995. – 415 с.
5. Кузнецов А. К., Исаев А. Н., Шайко И. И. Метрология: учебник для вузов. – М.: Наука, 2006. – 345с.
6. Креопалова Г. В. Оптические измерения: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1987. – 264 с.
7. МРТУ 3-525-67. Особенность оптических свойств бинокулярных приборов. [Текст]. – Введ. 1994 – 11 – 14. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 12 с.
8. Пизюта Б. А., Михайлов И.О. Новые оптико-электронные приборы для оптических измерений: учеб. пособие для вузов. – Новосибирск: СГГА, 1996. – 77 с.
9. Погарев Г.В. Юстировка оптических приборов. – М.: Машиностроение, 1978. – Текст: непосредственный.
10. Разработка и исследование аппаратуры для измерения основных характеристик оптических систем и приборов.: сайт. – URL: http://mi-kron.narod.ru/special/stati/dis_av_ref/index.htm (дата обращения: 04.15.2023). Режим доступа: открытый. – Текст: электронный.
11. Демин В.В., Симонова Г.В. Оптические измерения: учебник для вузов. – М.: Академия, 2014. – 176 с.
12. Ершов А.Г. Автоколлимационный способ измерения фокусного расстояния объектива // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2016 № 7 С. 537 – 542.
13. Измерительная установка и способ для определения положения фокальной плоскости и эффективного фокусного расстояния оптической системы. Современная оптика [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://goo.su/CafQf>– Загл. с экрана. – Текст: электронный.
14. Карпов А. И. Оптические измерения. – М.: Академия, 2016. – 151 с.

© Е. А. Шмурыгин, И. О. Михайлов, 2023