

В. А. Лазовик^{1}, И. О. Михайлов¹*

Концептуальное решение бинокулярного устройства с изменяемой осью визирования

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: Nik95V.A@gmail.com

Аннотация. В настоящее время бинокулярные оптические устройства с изменяемой осью визирования при неподвижной окулярной части являются перспективным направлением развития в военной и гражданских сферах оптического приборостроения. Наблюдательные приборы такого класса обеспечивают мониторинг пространства в широком угловом диапазоне по горизонтальному и вертикальному направлениям. Особый интерес могут представлять бинокулярные оптические приборы, обеспечивающие пространственное восприятие наблюдаемого пространства. Однако разработка такого рода приборов сопряжена с рядом технических и технологических трудностей, часть которых отмечена в данной статье. В работе приводятся возможные варианты решения выделенных проблем. Одними из основных технических сложностей данных приборов являются: разработка эффективного так называемого «оптического шарнира», синхронизация движения двух осей визирования с соблюдением их параллельности, управление подвижной части прибора. Решение технических и технологических проблем в данном направлении является актуальной задачей, которому и посвящена статья. В статье представлено концептуальное решение бинокулярного устройства с изменяемой осью визирования. Представлены основные требования к бинокулярным устройствам с изменяемой геометрией. Приведена принципиальная оптическая схема устройства с изменяемой геометрией.

Ключевые слова: оптический шарнир, бинокулярная телескопическая система, изменяемая ось визирования, параллелограммный механизм, принципиальная оптическая схема

V. A. Lazovik^{1}, I. O. Mikhailov¹*

Conceptual solution for a binocular device with a variable viewing axis

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: Nik95V.A@gmail.com

Abstract. Currently, binocular optical devices with a variable sighting axis with a fixed eyepiece part are a promising direction of development in the military and civilian fields of optical instrumentation. Observational devices of this class provide monitoring of space in a wide angular range in the horizontal and vertical directions. Of particular interest may be binocular optical devices that provide spatial perception of the observed space. However, the development of such devices is associated with a number of technical and technological difficulties, some of which are noted in this article. The work provides possible solutions to the identified problems. Some of the main technical difficulties of these devices are: developing an effective so-called “optical hinge”, synchronizing the movement of two sighting axes while maintaining their parallelism, and controlling the moving part of the device. Solving technical and technological problems in this direction is an urgent task, which is the subject of this article. The article presents a conceptual solution for a binocular device with a variable viewing axis. The basic requirements for binocular devices with variable geometry are presented. A basic optical diagram of a device with variable geometry is presented.

Keywords: optical hinge, binocular telescopic system, variable sighting axis, parallelogram mechanism, optical circuit diagram

Введение

Одной из основных проблем при проектировании бинокулярного устройства с изменяемой осью визирования является синхронизация смещения осей визирования.

Сохранение смещения оптических осей в пределах допуска для параллельно расположенных осей бинокулярного прибора является одним из основных моментов, характеризующих качество прибора. Не менее важным является точность соблюдения требований к бинокулярному прибору.

На данный момент распространение получили системы с изменяемой осью визирования на основе линзового, зеркального и призмного оптических шарниров.

Выше перечисленные конструкции оптического шарнира имеют высокий вес, сложность в изготовлении. Следует отметить серьезный недостаток зеркального оптического шарнира в ограниченном изменении оси визирования. Бинокулярное оптическое устройство с изменяемой геометрией, в основе которого лежит оптоволоконный жгут, является перспективным, но также не лишенным недостатков.

Бинокулярное устройство с изменяемой осью визирования

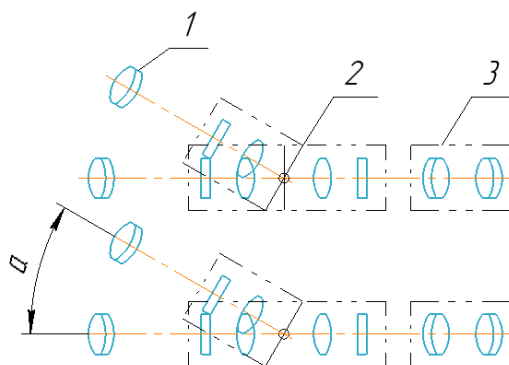
Под оптическим бинокулярным устройством с изменяемой осью визирования, понимается оптическая система, представляющая собой пару зрительных труб с оптическими шарнирами для изменения оси визирования и наблюдения за удаленным объектом. Зная типовую конструкцию устройств с изменяемой осью визирования, можно предложить концептуальную модель будущего устройства.

Устройства с изменяемой осью визирования имеют широкий спектр применения, начиная от военного и гражданского, заканчивая узконаправленными областями. Необходимость в применении устройств с изменяемой осью визирования всегда актуальна, когда требуется наблюдение за объектом без изменения положения наблюдателя относительно объекта наблюдения.

Оптическая схема бинокулярного прибора с одним из вариантов оптического шарнира приведена на рис. 1. Она состоит из пары объективов 1, оптического шарнира 2 и пары окуляров 3. Оптический шарнир нарушает исходную схему и установлен в промежутке между парой объективов и парой окуляров таким образом, что пара объективов строит изображение на входной части оптического шарнира и переносит на выходную часть, совпадающую с фокальной плоскостью пары окуляров. Окуляры в этом случае выполняет роль лупы. Оптический шарнир может выполнять роль оборачивающей системы [1]. Принципиальная схема устройства с изменяемой осью визирования рис. 1.

В конструкции бинокулярного оптического устройства для изменения направления оси визирования предлагается использовать волоконно-оптический жгут с регулярной структурой укладки. Достоинством такого технического решения является лучшая подвижность управляемой части оптического устрой-

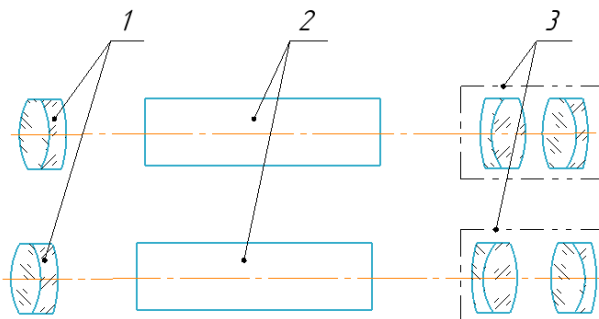
ства, меньший вес устройства из-за упрощения конструкции шарнирного блока и используемого оптико-волоконного жгута. Оптоволоконный жгут обладает хорошими пластическими свойствами и допускают изгиб с радиусом, равным от 5 до 8 диаметрам жгута [2].



1 – объектив; 2 – оптический шарнир; 3 – окуляр

Рис. 1. Принципиальная схема устройства с изменяемой осью визирования

Оптическая схема с волоконной оптикой является более простой и включает объектив, волоконно-оптический жгут и окулярную часть. Объектив наряду с волоконно-оптическим жгутом является основным оптическим элементом, его параметры должны быть согласованы с параметрами последнего. Фокусное расстояние объектива должно иметь такое значение, чтобы при выбранном диаметре волоконно-оптического жгута обеспечить необходимое угловое поле в пространстве предметов. Диаметр входного зрачка объектива должен быть таким, чтобы числовая апертура в пространстве изображений объектива не превышала числовую апертуру волоконно-оптического жгута [3]. Диаметр выходного зрачка принимается несколько больше, чем диаметр зрачка наблюдателя, что облегчает позиционирование глаза относительно окуляра при наблюдении в прибор. Схема бинокулярного устройства с изменяемой осью визирования на основе оптико-волоконного жгута приведена рис. 2.



1 – объектив; 2 – оптико-волоконный жгут; 3 – окуляр

Рис. 2. Схема бинокулярного устройства с изменяемой осью визирования на основе оптико-волоконного жгута

Требования к биноклярным приборам

Особенность биноклярных свойств определяет предъявляемые к ним требования при их изготовлении, проектировке и приемке. Данные требования записаны в общих технических характеристиках [4] и дополняются техническими пожеланиями заказчика. Общие технические требования к биноклярным приборам приведены в табл. 1.

Таблица 1

Общие технические требования к биноклярным приборам

Наименование оптических характеристик	Значение оптических характеристик	
	Бинокляр типа Кеплера	Бинокляр типа Галилеевского
Разность действительных и расчетных значений, %, не более		
Видимого увеличение, Г	± 5	+ 10
Углового поля в пространстве предметов, 2ω	± 5	- 5
Диаметр входного зрачка, D	± 5	-
Диаметр выходного зрачка, D' **	± 10	-
Абсолютное значение разности увеличения трубок бинокля, %, не более		
При $2\omega' \leq 50^\circ$	2	2
При $2\omega' \geq 50^\circ$	1,5	1,5
Угол попорота изображения вокруг оптической оси по отношению к предмету в каждой трубке бинокля, не более	60'	-
Разность углов поворота осей изображения в обеих трубках, не более	30'	-
Погрешность установки нулевого штриха дигитальной шкалы, дптр, не более	± 1	-
Предел разрешения в центре поля зрения, не более		
При $D \leq 4,5$ мм	(180/D)"; (220/D)**	(40/Г)"
При $D \geq 4,5$ мм	(300/D)"	-

* - Для призмных биноклей с оборачивающей системой, содержащей крышу.

** - Допускается не круглая форма зрачка.

Устранение мозаичной картины в оптико-волоконном жгуте

Получение качественного изображения в оптических и оптико-электронных приборах является одной из важных задач при их разработке. Оптико-волоконный кабель состоит из множества световедущих каналов, собранных в единый жгут для передачи информации [5]. Из-за особенности строения изображение, получаемое в нем, имеет мозаичную картину, которая влияет на качество получаемого изображения. Для устранения мозаичной картины применяются разные методы улучшения качества изображения: при помощи коллимированного излучения, микролинзового рельефа выходного торца волоконного пучка, микролин-

зового рельефа окуляра, спектрального разложения и свертывания изображения и другие [6].

Для устранения мозаичной картины в бинокулярном устройстве с изменяемой осью визирования предлагается использовать метод кругового перемещения изображения по входному торцу волоконного пучка совмещенной с технологией Pixel-Shift, предложенной компанией Hasselblade [7].

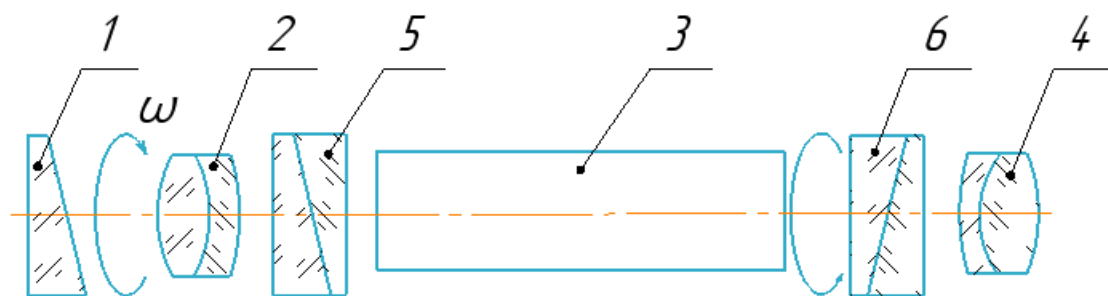
Метод кругового перемещения изображения по входному торцу волоконного пучка является компромиссным решением, основанным на циркулярном (круговом) перемещении изображения только по входному торцу волоконного пучка. Перед объективом устанавливается вращающийся ахроматизированный оптический клин [8].

Сутью технологии Pixel-Shift является сбор информации о деталях изображения с их последующей комбинацией в единое изображение. Каждый пиксель фотоприемника фиксируют только одну цветовую составляющую, при сдвиге датчика получается собрать информацию со всех трех цветов на изображении. Кроме улучшения точности цветопередачи, повышается детализация изображения, что полезно при наблюдении за объектом [9].

При совмещении двух выше перечисленных методов, можно выявить явные достоинства, такие как:

- улучшение качества изображения;
- улучшение контрастности получаемой картины;
- уменьшение подвижек активной части механизма повышения качества изображения оптико-волоконного жгута.

Метод устранения мозаичной картины приведен на рис. 3.



1 – оптический клин, вращающийся с частотой ω ; 2 – объектив; 3 – оптоволоконный жгут; 4 – окуляр; 5, 6 – спектральные призмы

Рис. 3. Метод устранения мозаичной картины в оптико-волоконном жгуте

Кинематическая схема механизма для бинокулярного устройства с изменяемой осью визирования

Механизм бинокулярного устройства с изменяемой осью визирования строится на основе шарнирных механизмов. Изменение положения оптической оси по вертикали не нарушает хода лучей в оптической системе так как сохраняется

параллельность оптических каналов. Изменение же по горизонтали вызывает сложность при проектировании прибора, т.к. не обеспечивается стабильность параллельности расположения зрительных труб при изменении оси визирования. Для решения отмеченной проблемы предлагается использование параллелограммного механизма.

Параллелограммный механизм – вид четырехзвенного механизма, звенья которого представляют параллелограмм. Применяется для реализации поступательного движения шарнирными механизмами [10]. Кинематическая схема параллелограммного механизма приведена на рис. 4.

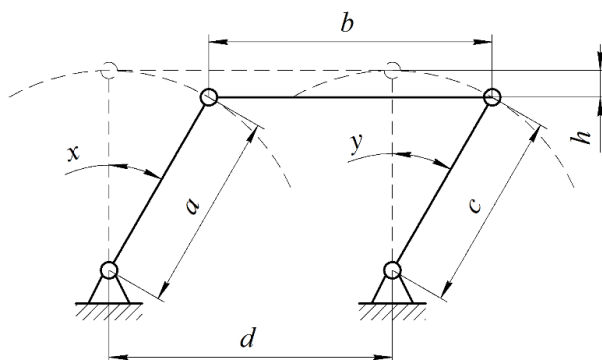


Рис. 4. Кинематическая схема параллелограммного механизма

Функция преобразования параллелограммного механизма при условии $a=c$, $d=b$ приведена ниже:

$$y = x, h = a(1 - \cos x),$$

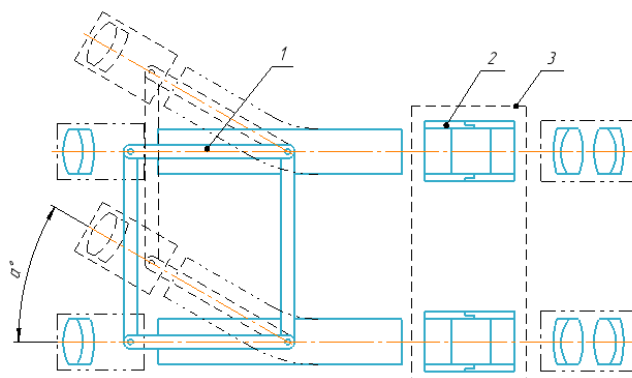
где x – входная координата; y – выходная координата; h – линейное перемещение по высоте.

В случае неравенства звеньев a , c и d , b возникает погрешность работы механизма.

Конструкция бинокулярного устройства состоит из шарнирного блока для смещения по вертикали параллелограммного механизма, для смещения по горизонтали блока управления. Конструкция бинокулярного устройства с изменяемой осью визирования приведена на рис. 5.

Концептуальная оптическая схема на основе оптико-волоконного жгута, состоящая из пары объективов, оптико-волоконных жгутов и окуляров, позволяет смещать ось визирования по направлению к наблюдаемому объекту относительно фиксированного положения глаза наблюдателя.

Схема устранения мозаичной картины в оптико-волоконном жгуте с применением метода кругового смещения и технологии Pixel-Shift, предложенная компанией Hasselblade, повышает контрастность и качество изображения.



1 – параллелограммный механизм; 2 – шарнирный блок; 3 – блок управления

Рис. 5. Конструкция бинокулярного устройства с изменяемой осью визирования

Функциональная схема бинокулярного устройства с изменяемой осью визирования, содержащая оптический шарнир на основе параллелограммного механизма, обеспечивает сохранение параллельности осей визирования при горизонтальном смещении осей каналов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент SU1112332A1 СССР, G02B 27/00. Оптический шарнир линзовый; №3632719; заявл. 20.06.1983 № опубл. 07.07.1984/ Сумин Л. М., Герасимов В. Ф. – 4с.
2. Патент US4208087A США, G02B 23/02. Optical flexure joint; № 4208087; заявл. 27.09.1978; опубл. 17.06.1980/ Erwin E. Cooper. – 5 с.
3. Хацевич, Т. Н. Эндоскопы [Текст] : учеб. пособие / Т. Н. Хацевич, И. О. Михайлов. – Новосибирск: СГГА, 2002. – 195 с.
4. ГОСТ 7048-81 Бинокли. Типы и основные параметры. Общие технические требования. – Введ. 1981 – 01 – 01. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 7 с.
5. Патент SU1158967A1 СССР, G03H 01/04. Волоконно-оптическое устройство для передачи изображения объекта; №1661856; заявл. 16.11.1983; опубл. 30.05.1985/ Бондарев Л.А., Дубровин В.Ф., Мировицкий А.Ф.; заявитель и патентообладатель Москва. Институт радиотехники, электроники и автоматики. – 5 с.
6. Патент SU1278766A1 СССР, G02B 06/06. Волоконно-оптическое устройство наблюдения; № 3859463; заявл. 27.02.1985; опубл. 23.12.1986/ Михеев П.А., Садко Н.П., Кузовая В.Л., Митина Ф.А., Жукова Е.А. – 3 с.
7. Hasselblade unveils pixel-shifting 200 MP H5D-200c MS [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dpreview.com/articles/4410648565/hasselblad-unveils-pixel-shifting-200mp-h5d-200c-ms>.
8. Михеев П. П. Волоконно-оптические системы наблюдения с перемещением изображения / Михеев П. А., Ершов А. В. // Оптико-механ. Пром-сть. – 1984. - №4. – С.9 – 11.
9. Патент EP1743317A2 Европатент, G03B 17/24. Pixel shift display with minimal noise; № 1743317; заявл. 06.05.2005; опубл. 17.01.2007/ Donald Henry Willis. – 5 с.
10. Патент SU754143A1 СССР, F16H 21/12. Механизм шарнирного параллелограмма; № 2693038; заявл. 12.05.78; опубл. 07.08.80/ Иванов К.С., Погребной М. А. – 2 с.

© В. А. Лазовик, И. О. Михайлов, 2024