

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИЗИРНЫХ СИСТЕМ

Валерик Сергеевич Айрапетян

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, зав. кафедрой специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383) 361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@srgga.ru

Иван Сергеевич Бутримов

Сибирский филиал федерального казенного учреждения «Научно-производственное объединение «Специальная техника и связь» МВД России, 630055, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 3, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383) 332-07-55, e-mail: butrimov@ngs.ru

Алексей Анатольевич Топорков

АО «Новосибирский приборостроительный завод», 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 179/2, начальник конструкторского отдела, тел: (383) 216-08-94, e-mail: toporkovAA@ponpz.ru

В статье приводится описание метода контроля характеристик, связанных с определением положения линии визирования. Особенностью метода является использование оптико-электронного стенда, обеспечивающего фиксацию изображения визирного знака контролируемой системы в обратном ходе лучей. Показана возможность проведения измерений в автоматизированном режиме, что обеспечивает оперативность и высокую точность измерений без влияния личной ошибки оператора на результат измерения.

Ключевые слова: оптико-электронный стенд, визирное устройство, линия визирования, позиционно-чувствительный фотоприёмник.

AUTOMATED METHOD FOR DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF VISING SYSTEMS

Valerik S. Hayrapetyan

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., D. Sc, Head of the Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (383) 361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@srgga.ru

Ivan S. Butrimov

Federal Government Institution “Scientific and Production Association “Special Equipment and Communication” of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, 630055, Russia, Novosibirsk, 3 Kutateladze St., Associate Professor, phone: (383) 332-07-55, e-mail: butrimov@ngs.ru

Alexey A. Toporkov

Novosibirsk Instrument-making plant, 630049, Russia, Novosibirsk, 179/2 Dusi Kovalchuk St., Head of the Design Department, phone: (383) 216-08-94, e-mail: toporkovAA@ponpz.ru

The article describes a method for monitoring characteristics associated with determining the position of the line of sight. A feature of the method is the use of an optoelectronic stand, which provides fixation of the image of the target mark of the controlled system in the return path of the beams. The possibility of carrying out measurements in an automated mode is shown, which ensures efficiency and high accuracy of measurements without the influence of the operator's personal error on the measurement result.

Key words: optoelectronic stand, sighting device, line of sight, position-sensitive photodetector.

Введение

Одними из основных характеристик визирных систем (ВС) являются характеристики, связанные с определением пространственного положения линии визирования (ЛВ). К наиболее важным и распространённым на практике необходимо отнести следующие: точность позиционирования ЛВ, диапазон и дискретность изменения углового положения ЛВ, стабильность положения ЛВ при воздействии внешних воздействующих факторов [1, 2], т. е. тех характеристик, которые и определяют основное функциональное назначение ВС. В связи с этим, при метрологическом контроле визирных систем характеристикам, связанным с ЛВ уделяется существенное внимание.

Практика метрологического контроля характеристик ВС показывает, что при использовании стандартных средств измерения: коллиматоров, автоколлиматоров, теодолитов и т.д., одной из составляющих суммарной погрешности определения координат положения ЛВ являются ошибки наведения визирного знака в какую-либо реперную точку, а также ошибки снятия отсчёта, допускаемые оператором. Эти ошибки в основном обусловлены ограниченной разрешающей способностью зрительного аппарата оператора и несовершенством применяемых измерительных систем. Часть ошибок по своей природе являются случайными и их значения возможно минимизировать путём проведения многократных измерений и последующей статистической обработки полученных результатов. Однако следует отметить, что на практике не всегда имеется возможность проведения большого числа измерений с последующими расчётами. Несовершенство измерительных систем, например, ограниченную дискретность измерительных шкал, погрешность их изготовления относят к систематической составляющей суммарной погрешности, которую невозможно компенсировать какими-либо приёмами, за исключением применения более точных измерительных систем. Перечисленные выше факторы ведут к снижению точности измерения и зависимости полученного результата измерения от квалификации оператора и характеристик измерительных систем.

Оптико-электронный стенд и автоматизированный метод контроля

Рассмотрим вариант оптико-электронного стенда, предназначенного для контроля характеристик, связанных с определением положения ЛВ, в автоматизированном режиме без влияния личной ошибки оператора [3, 4].

Схема оптоэлектронного стенда представлена на рис. 1.

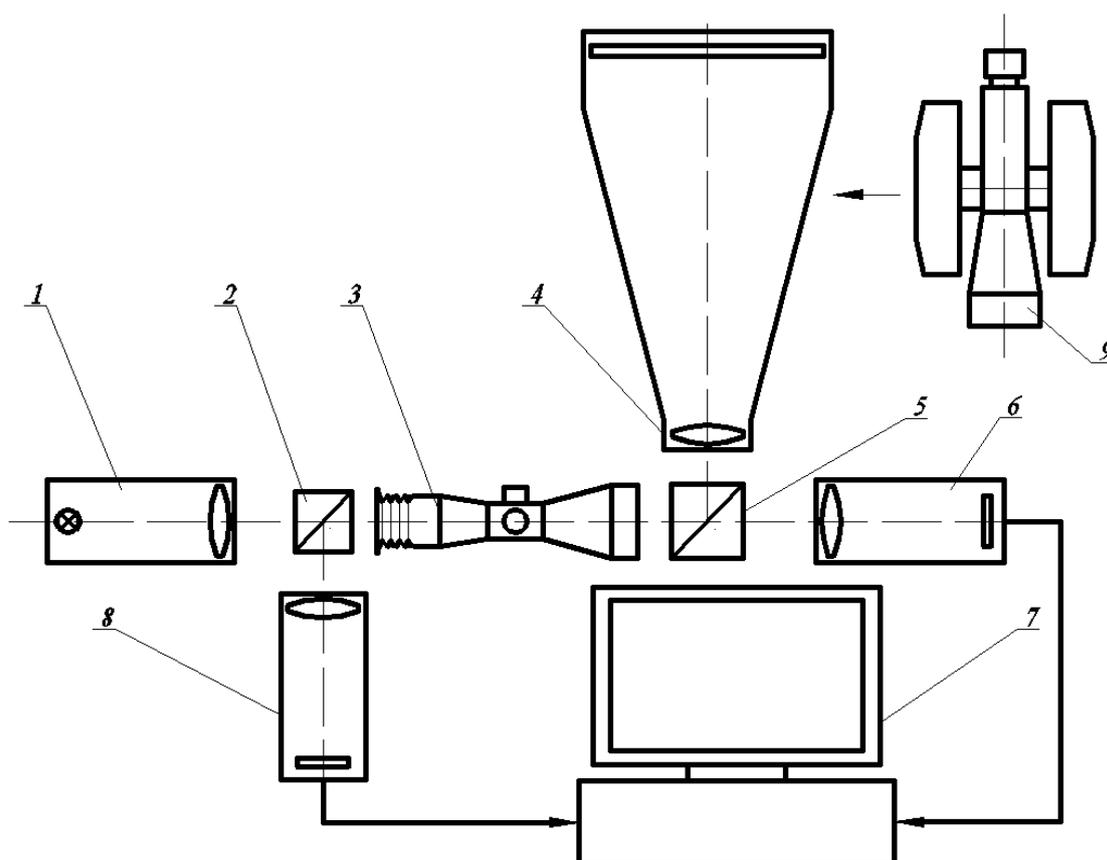


Рис. 1. Схема оптоэлектронного стенда

1 – осветительная система, 2, 5 – светоделительная призма, 3 – контролируемая визирная система, 4 – широкоугольный коллиматор, 6 – измерительная телевизионная камера, 7 – ЭВМ, 8 – визирная телевизионная камера, 9 – тахеометр

Оптоэлектронный стенд (ОЭС) состоит из двух каналов: измерительного и наблюдательного. Измерительный канал, в свою очередь, содержит осветительную систему 1, обеспечивающую необходимую освещённость сетки контролируемой визирной системы 3, и измерительную телевизионную камеру 6, фиксирующую изображение сетки контролируемой визирной системы 3 в плоскости её позиционно-чувствительного фотоприёмника [5].

Наблюдательный канал состоит из широкоугольного коллиматора 4, формирующего изображение сетки, предназначенной для наведения контролируемой визирной системы, светоделительных призм 2 и 5, предназначенных для направления изображения сетки коллиматора через контролируемую систему в визирную телевизионную камеру 8 [6]. Телевизионные камеры 6 и 8 связаны с ЭВМ 7, на дисплее которой имеется возможность наблюдения изображения визирного знака и сетки широкоугольного коллиматора.

Принцип работы оптоэлектронного стенда основан на фиксации изображения визирного знака, полученного в обратном ходе оптических лучей, в плос-

кости позиционно-чувствительного фотоприёмника измерительной телевизионной камеры 6, с последующим определением координат полученного изображения при помощи ЭВМ 7 с соответствующим программным обеспечением.

Координаты геометрического центра визирного знака в плоскости позиционно-чувствительного фотоприёмника определяются из следующих выражений [7 – 9]:

$$Y = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m I_{nop,ij} \cdot i}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m I_{nop,ij}}, \quad X = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m I_{nop,ij} \cdot j}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m I_{nop,ij}}, \quad (1)$$

где X – координата центра геометрической фигуры по горизонтальной оси;

Y – координата центра геометрической фигуры по вертикальной оси;

m, n – число пикселей в строке и столбце;

$I_{nop,ij}$ – уровень сигнала в пикселе в i -ой строке и j -ом столбце;

$$I_{nop,ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } I_{ij} > I_{nop} \\ 0 & \text{при } I_{ij} \leq I_{nop} \end{cases}. \quad (2)$$

Изображение визирного знака в плоскости позиционно-чувствительного фотоприёмника и результат расчёта его геометрического центра представлены на рис. 2.

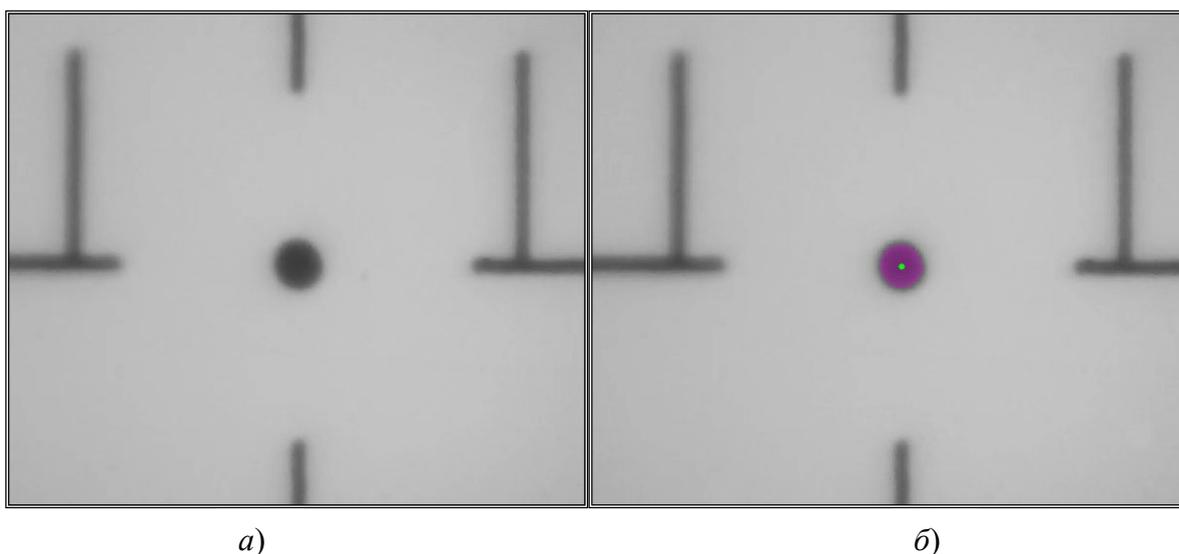


Рис. 2. Фрагмент изображения визирного знака контролируемой оптической системы

a) исходное изображение; *б)* обработанное изображение, с вычисленным геометрическим центром визирного знака

Основные характеристики оптико-электронного стенда представлены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование	Значение
Диапазон измерения угловых смещений линии визирования, угловых минут	23×17 *
Дискретность отсчётной системы, угловых секунд	0,9
Размерность позиционно-чувствительного фотоприёмника, пикселей	1600×1200
Размер пикселя позиционно-чувствительного фотоприёмника, мкм	2,2
Габариты: - измерительной телевизионной камеры, мм - визирной телевизионной камеры, мм	460×180×120 150×80×80
Масса: - измерительной телевизионной камеры, кг - визирной телевизионной камеры, кг	5,3 0,9
* Значение параметра зависит от угловых размеров визирного знака контролируемой оптической системы	

Результаты

Для определения достигнутых показателей точности была оценена сравнительная погрешность определения координат положения ЛВ с помощью рассматриваемого ОЭС и образца сравнения – средства измерения утверждённого типа – тахеометра 6Та2 [10], в соответствии со схемой, приведённой на рис. 1. Для выполнения последующих измерений в схеме (рис. 1) на место широкоугольного коллиматора устанавливался тахеометр 6Та2.

Измерения включали в себя оценку следующих параметров: погрешность определения координат ЛВ и погрешность измерения величины углового смещения ЛВ.

Сущность выполнения проверки по оценке погрешности определения координат ЛВ заключалась в многократном определении координат визирного знака, используя ОЭС и тахеометр 6Та2, при неизменном положении ЛВ.

В качестве визирной системы использовался прибор оптический «ПО-6» на основе телескопической системы с визирным знаком, представленным на рис. 2. Результаты выполнения проверки приведены в табл. 2.

Используя полученные результаты и известные методы статистической обработки результатов измерений [11, 12], было получено, что среднее квадратическое отклонение координат положения визирного знака составило: для оптико-электронного стенда – 0,1", для тахеометра 6Та2 – 0,8". Таким образом, в условиях эксперимента получено, что точность определения координат визирного знака прибора «ПО-6» при использовании ОЭС выше в 8 раз, чем для образца сравнения – тахеометра 6Та2.

Таблица 2

№	Координаты линии визирования			
	Оптико-электронный стенд		Тахеометр 6Та2	
	в горизонтальном направлении – X, пиксели	в вертикальном направлении – Y, пиксели	в горизонтальном направлении – X	в вертикальном направлении – Y
1	112,90	78,74	0°10'31"	0°05'49"
2	112,98	78,70	0°10'31"	0°05'48"
3	113,03	78,73	0°10'31"	0°05'47"
4	112,81	78,72	0°10'32"	0°05'47"
5	113,16	78,92	0°10'33"	0°05'47"
6	113,04	78,77	0°10'32"	0°05'49"
7	112,97	78,72	0°10'31"	0°05'47"
8	113,13	78,72	0°10'32"	0°05'48"
9	113,16	78,69	0°10'31"	0°05'49"
10	112,89	78,99	0°10'32"	0°05'49"

Примечание – Угловой размер пиксела позиционно-чувствительного фотоприёмника ОЭС составляет 0,9"

На точность определения величины углового смещения ЛВ используя ОЭС могут оказывать влияние погрешности, вызывающие искажение изображения визирного знака, изменение его освещённости по полю зрения, погрешность квантования, вызванная ограниченной дискретностью позиционно-чувствительного фотоприёмника, погрешность шага позиционно-чувствительного фотоприёмника и др. Сущность проверки заключалась в одновременном определении координат положения ЛВ контролируемой визирной системы при помощи оптико-электронного стенда и тахеометра 6Та2, далее производилось изменение углового положения ЛВ контролируемой визирной системы на произвольный угол и последующая одновременная фиксация координат нового положения ЛВ при помощи исследуемого оптико-электронного стенда и тахеометра 6Та2. Разность значений, определяющих величину изменения углового положения ЛВ, полученных для двух средств измерения, представляет собой оценку достигнутой точности рассматриваемого оптико-электронного стенда в сравнении с тахеометром 6Та2.

Результаты выполнения проверки приведены в табл. 3.

Из табл. 3 следует, что разность значений, полученных для оптико-электронного стенда и тахеометра 6Та2, не превышает двух угловых секунд. Учитывая результаты предыдущей проверки можно заключить, что существенная доля от разности между показаниями рассматриваемых средств измерения относится к погрешности тахеометра 6Та2, составляющей, согласно его паспорту, также порядка двух угловых секунд. Если показания тахеометра, напротив, принять за эталонные, то и в этом случае достигнутая точность ОЭС позволит обеспечить надёжный контроль характеристик с допуском на контролируемый параметр, со-

ставляющий 10 – 15 угловых секунд. К таким визирным системам может относиться, например, прицельная техника, контролируемая в производственных условиях, в испытательных лабораториях, т.е. там, где требуется достаточно высокая точность измерений и, при этом, недопустимо или неприемлемо с экономической точки зрения проведение многократных измерений при помощи традиционных углоизмерительных средств: коллиматоров, автоколлиматоров, теодолитов и т.д. К возможным ограничениям применения рассматриваемого оптико-электронного стенда следует отнести не достаточно большой диапазон работы его отсчётной системы, а также осуществление контроля лишь таких оптических систем, которые допускают формирование изображения визирного знака в обратном ходе лучей. При этом следует отметить, что некоторого увеличения диапазона работы ОЭС возможно достигнуть применением более короткофокусного объектива измерительной телевизионной камеры. Это несколько снизит угловую разрешающую способность ОЭС, однако имеющийся метрологический запас по точности способен обеспечить выполнение большинства измерительных задач с приемлемой погрешностью.

Таблица 3

№	Смещение линии визирования		Разность отсчётов
	Оптико-электронный стенд	Тахеометр 6Та2	
1	08'16"	08'17"	0'01"
2	05'20"	05'21"	0'01"
3	07'08"	07'06"	0'02"
4	22'00"	21'58"	0'02"
5	02'51"	02'52"	0'01"
6	03'49"	03'47"	0'02"
7	03'56"	03'56"	0'00"
8	04'14"	04'14"	0'00"
9	03'34"	03'34"	0'00"
10	03'42"	03'41"	0'01"
Примечание – для ОЭС производилось по одному измерению для каждой из двух точек измеряемого интервала, для тахеометра – по три измерения для каждой точки, после чего рассчитывалось среднее значение для каждой точки			

Заключение

Таким образом, представленный оптико-электронный стенд позволяет производить определение координат положения линии визирования, а также определять величину её угловых смещений в автоматизированном режиме, оперативно и без влияния личной ошибки оператора на результат измерения. При этом достигнутая в ходе экспериментов погрешность оптико-электронного стенда сопоставима с погрешностью средств измерений, классифицируемых как точные.

Библиографический список

1. Бутримов, И. С. Основные аспекты контроля параметров прицельной техники в ходе полигонных испытаний [Текст] / И. С. Бутримов, В. С. Айрапетян, М. С. Комбаров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 2. – С. 178–183.
2. Бутримов, И.С. Оптико-электронное устройство для контроля параметров прицельной техники [Текст] / И.С. Бутримов, В.С. Айрапетян // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 139–144.
3. Бутримов, И.С. Определение положения линии визирования прицельных устройств с исключением ошибки оператора [Текст] / И. С. Бутримов, В. Б. Шлишевский // Изв. вузов. Приборостроение. – 2015. – Т. 58, № 6. – С. 478 – 484
4. Бутримов, И. С. Оптико-электронный комплекс для контроля положения линии визирования прицельных устройств в ходе стендовых испытаний [Текст] / И. С. Бутримов, В. С. Айрапетян // Вестник СГУГиТ. – 2016. – № 1 (33). – С. 124–138.
5. КМС-E16RV2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mir.in-site.ru/catalog/667d3e7d-80e8-11e0-ace8-000272185abd/showInfo.php> (Дата обращения: 19.03.2020).
6. Камера телевизионная VEC-545-USB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.evs.ru/d_sheet/VEC-545-USB.pdf (Дата обращения: 19.03.2020).
7. Барышников Н. В., Животовский И. В., Пискунов Т. С. Исследование влияния угловых аберраций объектива оптико-электронного координатора на погрешности измерения взаимного углового рассогласования осей лазерных пучков // Наука и образование [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/479575.html> (Дата обращения: 19.03.2020).
8. Высокоточные угловые измерения [Текст] / Д.А. Аникст, К.М. Константинович, И.В. Меськин и др.; Под ред. Ю.Г. Якушенкова, М.: Машиностроение, 1987. – 480 с.
9. Парвулюсов, Ю.Б. Проектирование оптико-электронных приборов: учебник [Текст] / Ю.Б. Парвулюсов, С.А. Родионов, В.П. Солдатов; под ред. Ю.Г. Якушенкова. – М. : Логос, 2000. – 488 с.
10. Тахеометр электронный 6Та2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uomz.ru/ru/production/geodeziya/taheometry/6ta2> (Дата обращения: 19.03.2020).
11. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения [Текст] : ГОСТ Р 8.736-2011. – Введ. 13.12.2011.
12. Афанасьев, В.А. Оптические измерения [Текст] : учебник для вузов / А.В. Афанасьев ; Под ред. Д.Т. Пуряева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1981. – 229 с.

© В. С. Айрапетян, И. С. Бутримов, А. А. Топорков, 2020