

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЛИНИИ ВИЗИРОВАНИЯ ПРИЦЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ИСКЛЮЧЕНИЕМ ОШИБКИ ОПЕРАТОРА

И. С. БУТРИМОВ¹, В. Б. ШЛИШЕВСКИЙ²

¹*Сибирский филиал федерального казенного учреждения
«Научно-производственное объединение „Специальная техника и связь“» МВД России,
630055, Новосибирск, Россия*

²*Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
630108, Новосибирск, Россия
E-mail: svb_dom@ngs.ru*

Предложена методика определения положения линии визирования прицельных устройств стрелкового оружия, основанная на соотношении относительных координат изображения прицельного знака и абсолютных координат контрольного светового луча.

Ключевые слова: лазер, линия визирования, оптико-электронное устройство, позиционно-чувствительный фотоприемник, прицельное устройство.

Основной огневой задачей снайпера (оператора) является попадание с первого выстрела в заданную точку, причем достигаемый результат зависит как от уровня профессиональной подготовки стрелка, так и от степени технического совершенства комплекса „оружие—прицел“. Прицел предназначен для наведения оружия на цель с численными характеристиками, максимально соответствующими таблицам стрельбы [1].

Процесс наведения оружия заключается в совмещении проекции линии визирования, сформированной прицельным устройством, с точкой прицеливания в плоскости цели. Следовательно, точность наведения главным образом зависит от точности совмещения прицельного знака (ПЗ) с целью и обеспечения углового положения линии визирования относительно оси канала ствола оружия. В свою очередь, точность совмещения ПЗ с целью определяется погрешностью визирования, мало изменяющейся при постоянных внешних условиях, а на угловое положение линии визирования влияет ряд факторов, к основным из них относится стабильность положения линии визирования при воздействии ударных нагрузок в процессе стрельбы [2]. Если технически невозможно с требуемой точностью навести оружие в цель, образец прицела переводится из категории прицельных устройств в категорию наблюдательных приборов. В связи с этим на всех этапах экспериментальных исследований прицельной техники контролируется стабильность положения линии визирования. Одним из таких этапов является проверка кучности стрельбы, результаты которой показывают степень разброса попаданий относительно точки прицеливания. При проверке прицел сравнивается с аналогичным прицелом, принятым за образец сравнения, в составе того же экземпляра оружия и с тем же стрелком.

Разность площадей рассеивания полностью зависит от свойств прицелов (поскольку все остальные факторы для них одинаковы) и определяется в основном стабильностью положения их линий визирования. Однако, как показано в работе [3], существующие методы контроля параметров стрелковых прицелов не в полной мере отвечают современным требованиям по точности определения положения линии визирования. В настоящей работе предлагается метод определения положения линии визирования, исключающий погрешность, вызванную личной (субъективной) ошибкой оператора.

Сущность метода заключается в нахождении взаимных координат линии визирования контролируемого прицельного устройства, а также контрольной точки (КТ) и лазерного

пятна (ЛП), формируемых элементами опико-электронного устройства, и в последующей математической обработке полученных данных с целью вычисления величины смещения линии визирования относительно положения, соответствующего предыдущему этапу измерения. Для повышения точности измерений все исходные полутоновые изображения предварительно преобразуются в бинарные. Координаты геометрических центров ПЗ, КТ и ЛП на соответствующих фотоприемниках находятся по одной из методик, изложенных в работе [4].

Разработан измерительный стенд (рис. 1), состоящий из [5, 6]:

- лазерного излучателя (диода типа QL63H55), однозначно связанного с базовыми элементами стрелкового оружия;
- устройства, обеспечивающего воспроизводимую установку лазера на оружии;
- коллимационно-измерительного блока (КИБ), включающего коллимационный канал, формирующий бесконечно удаленное изображение сетки с КТ для наведения испытуемого прицела, и измерительный канал с позиционно-чувствительным фотоприемным устройством (ФПУ), фиксирующим положение ЛП;
- соединенного с выходом ФПУ устройства вычисления координат ЛП;
- основания, на котором закреплены опоры для установки КИБ и оружия с контролируемым прицелом;
- механизма угловой и линейной регулировки по вертикали и горизонтали одной из опор для оптического сопряжения прицела и лазера с КИБ;
- окулярной телевизионной камеры (ОТВК) с ФПУ, предназначенной для фиксации и визуализации изображений ПЗ и сетки коллимационного канала.

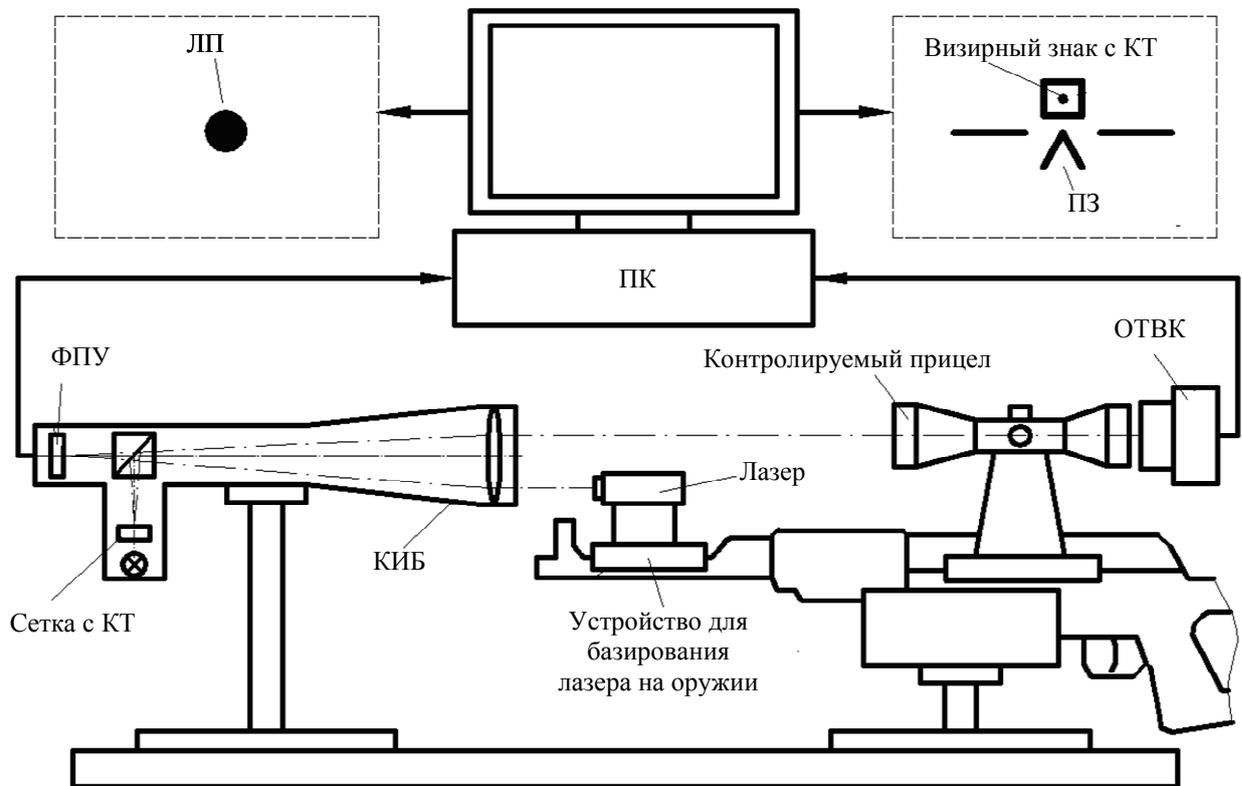


Рис. 1

Для вычисления координат центров бинарных изображений ЛП и ПЗ с КТ на ФПУ используется персональный компьютер (ПК) с необходимым программным обеспечением.

Основные технические характеристики стенда:

длина волны излучения лазера	635 нм,
расходимость лазерного излучения	1',
геометрическая разрешающая способность фотоприемника КИБ	1",
угловые размеры визирного знака (КТ) для наводки контролируемого прицела.....	2 × 2',
световой диаметр объектива КИБ.....	60 мм.

Схема, иллюстрирующая принцип определения координат ПЗ испытуемого прицела, представлена на рис. 2, где 1 — фотоприемник КИБ, 2 — ЛП (с координатами центра $X_{ЛП}$, $Y_{ЛП}$ на ФПУ), 3 — фотоприемник ОТВК, 4 — изображение КТ коллимационного канала в виде четырехугольника с геометрическим центром 5 (координаты $X_{КТ}$, $Y_{КТ}$), 6 — изображение ПЗ с геометрическим центром 7 (координаты $X_{ПЗ}$, $Y_{ПЗ}$).

На рис. 3 представлено реальное поле зрения ОТВК с изображениями ПЗ испытываемого прицела и КТ коллимационного канала (до преобразования изображения в бинарное).

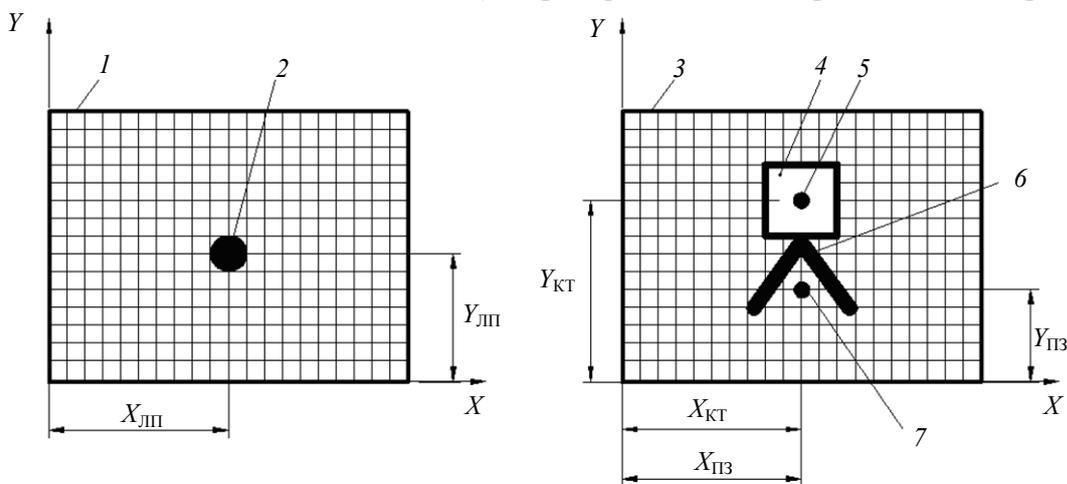


Рис. 2

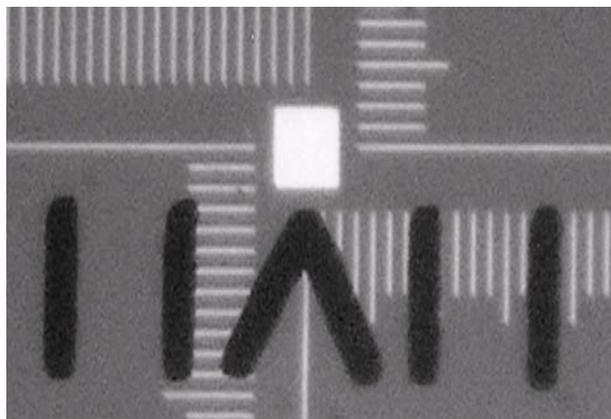


Рис. 3

Для определения координат ПЗ находится величина смещения его изображения относительно изображения КТ коллимационного канала в плоскости фотоприемника ОТВК с учетом положения ЛП на фотоприемнике КИБ. Этот способ позволяет исключить личную ошибку оператора, что повышает точность выполняемых измерений.

В подтверждение сказанного рассмотрим наиболее распространенный на практике случай наведения ПЗ в КТ. На рис. 4 приведены те же элементы, что и на рис. 2, но смещены изображения КТ и ПЗ относительно КТ. Эти смещения соответствуют смещению ОТВК и погрешности наведения, вызванной ошибкой оператора. Пунктир отражает однозначную связь лазерного луча и линии визирования контролируемого прицела, что демонстрирует отсутствие их взаимного рассогласования.

На рис. 4, а ПЗ и ОТВК смещены вправо и вверх относительно номинального положения (см. рис. 2), на рис. 4, б — влево и вниз (ЛПП смещается на ту же величину, что и ПЗ).

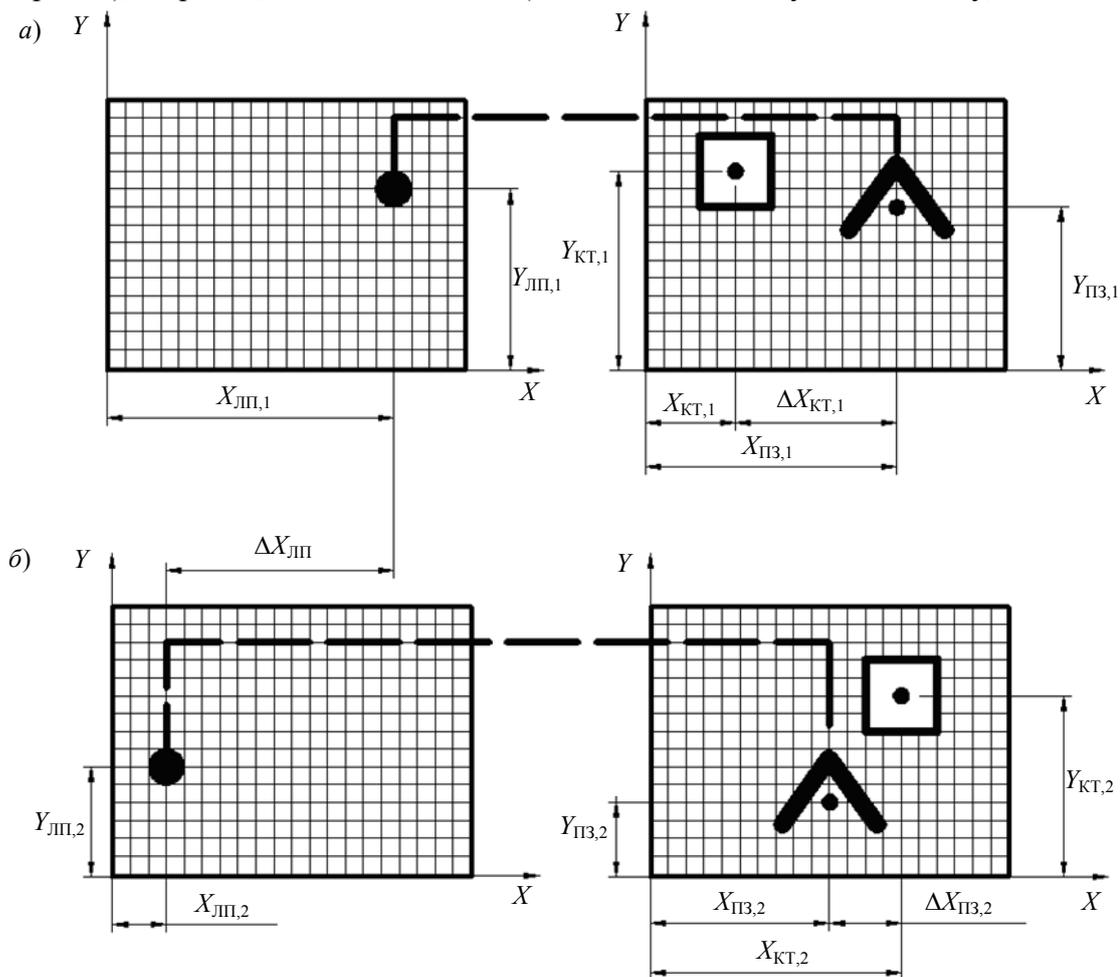


Рис. 4

Из приведенной схемы легко установить взаимную связь координат изображения ПЗ, КТ и ЛП, например, в горизонтальном направлении:

$$\Delta X_{ПЗ,1} + \Delta X_{ПЗ,2} = \Delta X_{ЛП},$$

здесь $\Delta X_{ПЗ,1}$ и $\Delta X_{ПЗ,2}$ — отклонения изображения ПЗ относительно КТ коллимационного канала при первом (до стрельбы) и втором (после стрельбы) наведении, $\Delta X_{ЛП}$ — величина отклонения ЛП между первым и вторым совмещениями изображения ПЗ с КТ коллимационного канала.

Выразив величины $\Delta X_{ПЗ,1}$, $\Delta X_{ПЗ,2}$, $\Delta X_{ЛП}$ через соответствующие координаты изображений ПЗ ($X_{ПЗ,1}$, $X_{ПЗ,2}$), КТ ($X_{КТ,1}$, $X_{КТ,2}$) и ЛП ($X_{ЛП,1}$, $X_{ЛП,2}$) на соответствующих ФПУ и сгруппировав друг относительно друга координаты, относящиеся к первому и второму измерениям, запишем:

$$X_{ПЗ,1} - X_{КТ,1} - X_{ЛП,1} = X_{ПЗ,2} - X_{КТ,2} - X_{ЛП,2}. \quad (1)$$

Точно так же для соответствующих координат Y в вертикальном направлении получим:

$$Y_{ПЗ,1} - Y_{КТ,1} - Y_{ЛП,1} = Y_{ПЗ,2} - Y_{КТ,2} - Y_{ЛП,2}. \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что при равенстве значений, заключенных в правую и левую части каждого выражения, их разность будет равна нулю, и следовательно, между первым и вторым измерениями отсутствует рассогласование линии визирования контролируемого прицела и оси лазерного луча, т.е. сбивание линии визирования контролируемого прицела будет равно

нулю. Если левая и правая части выражений (1) и (2) не равны, то их разность даст величину отклонения ПЗ между первым и вторым измерениями.

Отклонения ПЗ в горизонтальном и вертикальном направлениях в промежутке между первым и вторым измерениями составят

$$\Delta X_{1-2} = (X_{ПЗ,1} - X_{КТ,1} - X_{ЛП,1}) - (X_{ПЗ,2} - X_{КТ,2} - X_{ЛП,2})$$

и

$$\Delta Y_{1-2} = (Y_{ПЗ,1} - Y_{КТ,1} - Y_{ЛП,1}) - (Y_{ПЗ,2} - Y_{КТ,2} - Y_{ЛП,2}).$$

На основании вышеизложенного, принимая во внимание угловое увеличение γ контролируемого прицела и учитывая конструктивные параметры элементов стенда, углы $\alpha_{X,q}$ и $\alpha_{Y,q}$ между линией визирования контролируемого прицела и осью лазерного луча в горизонтальной и вертикальной плоскостях при некотором q -м цикле из n последовательных измерений определим по формулам

$$\alpha_{X,q} = \arctg \left[\frac{a_{ТВК} \sum_{i=1}^n (X_{ПЗ,i} - X_{КТ,i})}{f'_{ТВК} \gamma n} \right] - \arctg \left(\frac{a_{КОЛ} \sum_{i=1}^n X_{ЛП,i}}{f'_{КОЛ} n} \right)$$

и

$$\alpha_{Y,q} = \arctg \left[\frac{a_{ТВК} \sum_{i=1}^n (Y_{ПЗ,i} - Y_{КТ,i})}{f'_{ТВК} \gamma n} \right] - \arctg \left(\frac{a_{КОЛ} \sum_{i=1}^n Y_{ЛП,i}}{f'_{КОЛ} n} \right),$$

где $a_{ТВК}$ и $f'_{ТВК}$ — размер пиксела фотоприемника и фокусное расстояние объектива ОТВК, $a_{КОЛ}$ и $f'_{КОЛ}$ — размер пиксела фотоприемника и фокусное расстояние объектива коллимационного канала, $(X_{ПЗ,i}, Y_{ПЗ,i})$, $(X_{КТ,i}, Y_{КТ,i})$ и $(X_{ЛП,i}, Y_{ЛП,i})$ — координаты геометрических центров изображения ПЗ, КТ коллимационного канала и ЛП соответственно при i -м измерении в цикле.

Таким образом, проведя q -й (до стрельбы) и $(q + 1)$ -й (после стрельбы) циклы измерений, можно получить величины $\Delta\alpha$ отклонения линии визирования контролируемого прицела в обоих координатных направлениях

$$\Delta\alpha_X = (\alpha_X)_{q+1} - (\alpha_X)_q \quad \text{и} \quad \Delta\alpha_Y = (\alpha_Y)_{q+1} - (\alpha_Y)_q,$$

а затем и суммарное отклонение линии визирования:

$$\Delta\alpha_\Sigma = \sqrt{(\Delta\alpha_X)^2 + (\Delta\alpha_Y)^2}.$$

Для экспериментальной проверки предложенной методики с помощью разработанного стенда получены значения частичных ошибок, вызывающих погрешность определения положения линии визирования по каждому из координатных направлений:

погрешность $\Delta\alpha_{уст}$ положения оси лазерного луча (погрешность базирования лазера на оружии)	3"
погрешность $\Delta\alpha_{ЛП}$ определения координат центра ЛП	1"
погрешность $\Delta\alpha_{ПЗ}$ определения координат центра ПЗ	3"
погрешность $\Delta\alpha_{КТ}$ определения координат центра визирного знака коллиматора	1"

Поскольку указанные частичные ошибки являются случайными и подчиняются нормальному закону распределения случайных величин, суммарная погрешность определения

положения линии визирования по каждому из координатных направлений может быть найдена как

$$\Delta\alpha_{\Sigma} = \sqrt{(\Delta\alpha_{\text{уст}})^2 + (\Delta\alpha_{\text{ЛП}})^2 + (\Delta\alpha_{\text{ПЗ}})^2 + (\Delta\alpha_{\text{КТ}})^2}.$$

Подставив сюда приведенные выше числовые данные, получим $\Delta\alpha_{\Sigma} = 4,5''$.

Лабораторные и полигонные эксперименты полностью подтвердили приведенные аналитические зависимости и расчетные значения. Кроме того, стенд прошел калибровку и получил соответствующий сертификат (№ 003669 от 20.05.2014) в ФБУ „Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Новосибирской области“. Было установлено, что погрешность измерения углов между линией визирования и осью лазерного луча, определяемая для дневных телескопических прицелов с видимым увеличением 4^{\times} , не превышает в вертикальной плоскости $4,55''$, в горизонтальной — $2,87''$, а для прицелов с видимым увеличением 10^{\times} — соответственно $2,02''$ и $1,97''$.

Представленная методика и разработанный на ее основе стенд для контроля положения линии визирования прицелов могут быть использованы:

— в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах на этапах испытаний экспериментальных и опытных образцов прицельной техники для установления их действительных тактико-технических характеристик и выработки последующих коррекционных решений;

— при государственных и сертификационных испытаниях, проводимых с целью принятия на снабжение силовых ведомств военной и специальной техники (поскольку в состав испытаний прицельной техники включаются лабораторные, стендовые и стрельбовые проверки, при которых в обязательном порядке контролируется величина сбивания линии визирования);

— при периодических приемосдаточных и других заводских испытаниях, в ходе которых контролируются показатели качества серийных образцов прицельной техники, связанные с определением положения линии визирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таблицы стрельбы по наземным целям из стрелкового оружия калибра 5,45 и 7,62 мм. М.: Военное изд-во МО СССР, 1977.
2. Правила стандартизации „Прицелы оптические и электронно-оптические для стрелкового оружия. Специальные технические требования. Методы испытания“ ПР 78.01.0020–2009. М.: ФКУ НПО „СТиС“ МВД России, 2009.
3. Бутримов И. С., Айрапетян В. С., Комбаров М. С. Основные аспекты контроля параметров прицельной техники в ходе полигонных испытаний // Сб. матер. Междунар. науч. конф. „СибОптика—2013“. Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 2. С. 178—183.
4. 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]: <<http://technomag.edu.ru/doc/479575.html>>.
5. Бутримов И. С., Айрапетян В. С. Оптико-электронное устройство для контроля параметров прицельной техники // Сб. матер. Междунар. науч. конф. „СибОптика—2014“. Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. С. 139—144.
6. Пат. 2535584 РФ. Устройство для контроля положения линии визирования прицелов на стрелковом оружии / И. С. Бутримов, В. А. Аксенов. 24.11.2013.

Сведения об авторах

Иван Сергеевич Бутримов

— Сибирский филиал федерального казенного учреждения «Научно-производственное объединение „Специальная техника и связь“» МВД России, сертификационная испытательная лаборатория; старший научный сотрудник; E-mail: butrimov@ngs.ru

Виктор Брунович Шлишевский — д-р техн. наук, профессор; Сибирский государственный университет геосистем и технологий, кафедра наносистем и оптотехники;
E-mail: svb_dom@ngs.ru

Рекомендована кафедрой
наносистем и оптотехники

Поступила в редакцию
05.03.15 г.

Ссылка для цитирования: Бутримов И. С., Шлишевский В. Б. Определение положения линии визирования прицельных устройств с исключением ошибки оператора // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 6. С. 478—484.

EVALUATION OF TARGETING DEVICE SIGHT LINE POSITION WITH THE EXCEPTION OF OPERATOR ERROR

I. S. Butrimov¹, V. B. Shlishevsky²

¹Science and Production Association "Special equipment and Telecoms" of RF Ministry of Internal Affairs, Siberian Branch, 630055, Novosibirsk, Russia

²Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Novosibirsk, Russia
E-mail: svb_dom@ngs.ru

A method for determining the position of small arm sight line is proposed. The method is based on correlation between relative coordinates of target mark image and absolute coordinates of referent light beam.

Keywords: sight line, optical-electronic device, position-sensitive photodetector, targeting device.

Data on authors

Ivan S. Butrimov — Science and Production Association "Special equipment and Telecoms" of RF Ministry of Internal Affairs, Siberian Branch, Laboratory of Certification and Testing; Senior Scientist; E-mail: butrimov@ngs.ru

Viktor B. Shlishevsky — Dr. Sci., Professor; Siberian State University of Geosystems and Technologies, Department of Nanosystems and Optotechnology; E-mail: svb_dom@ngs.ru

Reference for citation: Butrimov I. S., Shlishevsky V. B. Evaluation of targeting device sight line position with the exception of operator error // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroyeniye. 2015. Vol. 58, N 6. P. 478—484 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-6-478-484