



Оборачивающая система прицела с переменным увеличением

И. П. Шишкин, А. П. Шкадаревич
НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО, Минск, Республика Беларусь

В статье дано описание конструкции панкратической оборачивающей системы, которая позволяет расширить диапазон увеличений в оптическом прицеле до 5–8 крат и добиться качественного изображения сетки при работе с подсветкой.

Ключевые слова: панкратическая оборачивающая система, прицел с переменным увеличением, подсветка сетки

Статья получена 03.04.2023

Статья принята: 24.04.2023

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы производители наблюдательных приборов активно стремятся расширить линейку прицелов, пополняя ее новыми моделями с большим диапазоном переменного увеличения.

До недавнего времени диапазон увеличений 3–4 крата считался стандартным на потребительском рынке. Сегодня большинство мировых производителей освоили модели прицелов с диапазоном увеличений 5–8 крат.

Безусловными лидерами являются оптические прицелы: Штайнер M5Xi 5–25×56; Шмидт Бендер 5–25×56; Сваровски Z8i 2,3–18×56; Цайс 2,8–20×56 V8.

КОНСТРУКЦИЯ

Оптическая система линзового прицела с переменным увеличением в классическом виде содержит объектив, сетку, двухлинзовую панкратическую оборачивающую систему и окуляр. Диапазон увеличений в прицелах, построенных по такой схеме [1–2], ограничен 3–4 кратами, и для расширения диапазона необходимо найти принципиально новое решение.

Одним из решений может быть установка перед первым подвижным компонентом в оборачивающей системе неподвижной коллективной линзы [3].

Erecting Sighting System with Variable Magnification

I. P. Shishkin, A. P. Shkadarevich
Research and technical center “LEMT” of the Belarus optical and mechanical association
Minsk, Republic of Belarus

The article describes the design of the pancratic erecting system that allows to expand the range of magnifications in the optical sight up to 5–8 times and obtain a high-quality reticle image when using the illumination.

Keywords: pancratic erecting system, variable magnification sight, reticle illumination

Article received on April 03, 2023

Article accepted on April 24, 2023

INTRODUCTION

In recent years, the manufacturers of observation devices have been actively seeking to expand the range of sights by complementing it with new models with a large range of variable magnification.

Until quite recently, the 3–4x magnification range has been considered rather typical in the consumer market. At present, most of the world's manufacturers have developed the sight models with a magnification range of 5–8x.

The undisputed leaders are the following optical sights: Steiner M5Xi 5–25×56; Schmidt & Bender 5–25×56; Swarovski Z8i 2.3–18×56; Zeiss 2.8–20×56 V8.

DESIGN

The optical system of a zoom telescopic sight in its classical form have an objective lens, a reticle, a two-lens erecting system and an eyepiece. The magnification range in the sights made according to such an optical layout [1–2] is limited by 3–4 times. Therefore, in order to expand the range, a radically new solution must be found.

One of the solutions may be use of a fixed collective lens arranged in front of the first moving component in the erecting system [3]. The lens is designed in such a way that the outermost beams of rays assuredly fall into the optical system through-



Линза рассчитывается таким образом, чтобы крайние пучки лучей гарантировано попадали в оптическую систему во всем диапазоне движения компонентов оборачивающей системы. При установке коллективной линзы в фокусе объектива можно получить минимальные поперечные размеры оборачивающей системы и максимально широкое угловое поле зрения прицела.

Взаимное положение и диаметры линз оборачивающей системы должны обеспечивать прохождение пучков света с оптимальным виньетированием для получения расчетного поля зрения и удаления выходного зрачка прицела во всем диапазоне увеличений. При этом угол поворотного механизма при смене увеличения должен быть минимальным (в пределах 180°).

Геометрия и длина направляющих пазов, по которым происходит движение линз, зависят от оптического расчета. Чем меньше длина перемещения, тем легче технологически добиться точности перемещения и минимальной расфокусировки изображения в оборачивающей системе.

Виньетирование

Для того чтобы сохранить приемлемое качество изображения во всем диапазоне увеличений, намеренно прибегают к виньетированию выходного зрачка, например уменьшая световой диаметр первой подвижной линзы оборачивающей системы. Этот прием позволяет заметно уменьшить сферическую aberrацию лучей, в особенности на малых увеличениях. В то же время световой диаметр линзы делают таким, чтобы при смене увеличений не происходило срезания поля зрения.

Сетка

Сетка прицела включает дальномерную шкалу и прицельные элементы, которые позволяют оперативно оценить дистанцию до цели и ввести необходимые поправки во время стрельбы в зависимости от направления ветра, типа цели и ее перемещения. Прицельная сетка может быть установлена в заднем фокусе объектива (1-я фокальная плоскость) или в переднем фокусе окуляра (2-я фокальная плоскость).

Подсветка

Большинство современных прицелов оснащены светодиодной подсветкой сетки. Если сетка расположена в 1-й фокальной плоскости, а подсветка сетки осуществляется через ее боковую грань, то диаграмма направленности светодиода должна быть согласована с числовой апертурой оборачивающей системы прицела. В прицелах с диапазоном увели-

out the entire motion range of the erecting system components. When a collective lens is installed in the focus of objective lens, it is possible to obtain the minimum clear apertures of the erecting system lenses and the widest field of view of the telescopic sight.

The relative position and diameters of the erecting system lenses must ensure the transmission of light beams with optimal vignetting to obtain the rated field of view and remove the exit pupil of the sight in the entire range of magnifications. In this case, the rotary mechanism angle when changing the magnification should be minimal (within 180°).

The geometry and length of the guide grooves, along which the lenses are moving, depend on the optical design. The shorter the length movement, the easier it is technologically to obtain the movement accuracy and minimal image defocusing in the erecting system.

Vignetting

In order to maintain acceptable image quality over the entire range of magnifications, vignetting of the exit pupil is applied deliberately, for example, by reducing the outer diameter of the first movable lens of the erecting system. This approach makes it possible to noticeably reduce the spherical aberration of the beams, especially at low magnifications. Moreover, the outer diameter of the lens is designed in such a way that when changing magnifications, the field of view is not cut off.

Reticle

The sight reticle includes a crosshair and sighting elements that allow to quickly estimate the distance to the target and make the necessary adjustments during the shooting process, depending on the wind direction, the target type and its movement. The reticle can be mounted at the back focus of the objective lens (1st focal plane) or at the object-side focus of the eyepiece (2nd focal plane).

Illumination

Most modern sights are equipped with the LED reticle illumination. If the reticle is located in the 1st focal plane, and the reticle is illuminated through its side face, then the LED beam pattern must be consistent with the numerical aperture of the sight's erecting system. In the sights with a magnification range greater than 5x, the numerical aperture of the erecting system must be large enough to provide the required luminosity (exit pupil diameter) and field of view.

Таблица 1. Параметры оборачивающей системы с 5-кратным диапазоном увеличений

Table 1. Parameters of the erecting system with 5x magnification range

Увеличение прицела, крат Sight magnification, times	Входная числовая апертура Na Input numerical aperture, Na	Линейное увеличение Linear increase, β
5	0,1	-1^x
25	0,25	-5^x

чений больше 5 крат числовая апертура оборачивающей системы должна быть достаточно большой, чтобы обеспечить требуемую светосилу (диаметр выходного зрачка) и поле зрения.

В табл. 1 приведены параметры оборачивающей системы с 5-кратным диапазоном увеличений для крайних значений.

Увеличение числовой апертуры в оборачивающей системе приводит к росту aberrаций, что проявляется, например, при включении подсветки (двоение изображения сетки) на максимальном увеличении. Ограничение апертуры путем установки реальной диафрагмы вблизи первой линзы оборачивающей системы может привести к появлению паразитного выходного зрачка в плоскости, не совпадающей с основным выходным зрачком (изображением входного зрачка объектива). Все эти факторы необходимо учитывать при оптическом расчете.

Пятикратный перепад увеличений

На рис. 1 показаны два варианта оборачивающей системы с 5-кратным перепадом увеличений при максимальном линейном увеличении $\beta = -5^x$ и числовой апертуре $Na = 0,25$.

На рис.1a показан вид оригинальной 3-компонентной оборачивающей системы, на рис.1b – оптимизированной оборачивающей системы. Сетка 1 установлена в 1-й фокальной плоскости, первая линза – неподвижный коллектив 2, а два компонента (3-4) перемещаются. Варианты имеют одинаковый ход компонентов (закон изменения воздушных промежутков), длину и фокусные расстояния, но разную конфигурацию. В табл. 2 приводится результат расчета aberrаций по 8 поверхностям линз (сумм Зейделя) для обоих вариантов оборачивающей системы. Расчет показывает, что значение первой суммы Зейделя, определяющей сферическую aberrацию, в оригинальном варианте, когда линзы обращены кронами друг к другу, значительно выше, чем в оптимизированном варианте.

Table 1 shows the parameters of the erecting system with a 5-time zoom range for extreme values.

An increase in the numerical aperture in the erecting system leads to the enlarged aberrations occurred, for example, when the illumination is turned on (doubling of the reticle image) at maximum magnification. The aperture limitation by setting a real diaphragm near the first lens of the erecting system can lead to occurrence of a spurious exit pupil in a plane that does not coincide with the main exit pupil (image of the entrance pupil of the lens). All these factors are must be considered in the optical design.

Five-Time Magnification

Figure 1 shows two options of the erecting system with a 5-time zoom magnification at the maximum linear magnification $\beta = -5^x$ and a numerical aperture $Na = 0.25$.

The left illustration demonstrates an original 3-component erecting system, an optimized erecting system is presented on the right. The reticle 1 is installed in the 1st focal plane, the first lens is a fixed collective lens 2, and two components (3-4) are movable. These options have the same travel path of components (the air gap adjustment law), length and focal distances, but different configurations. Table 2 shows the aber-

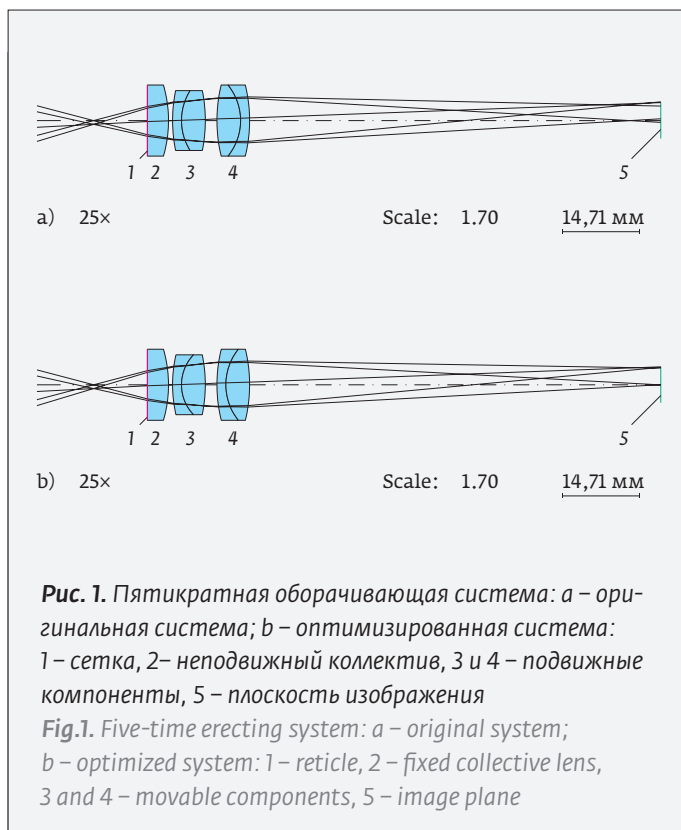
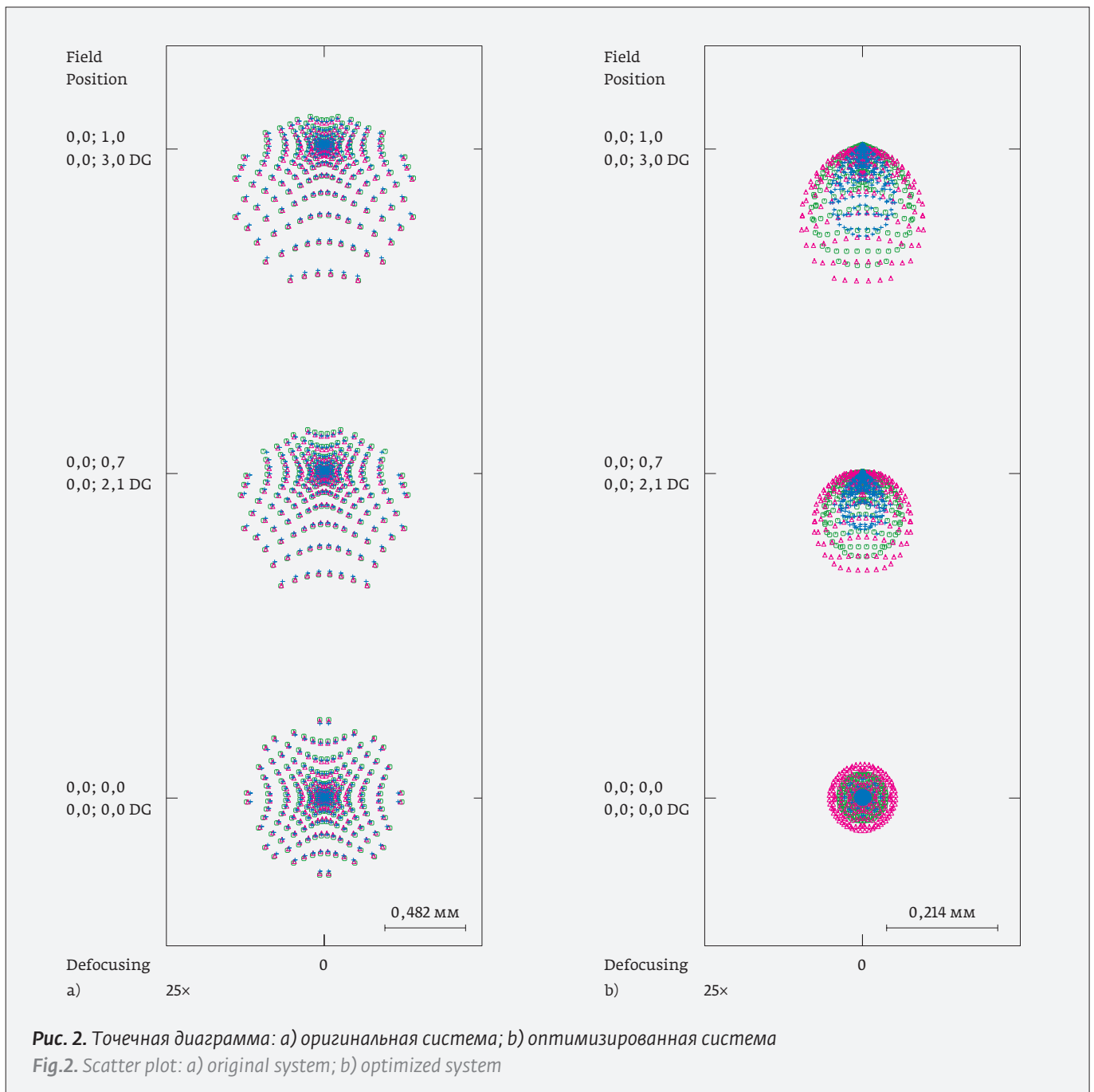


Таблица 2. Результат расчета aberrаций по 8 поверхностям линз

Table 2. Aberration calculation results for 8 lens surfaces

Вариант Option	Сумма Зейделя S1 Seidel sum								$\Sigma S1$
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0,0255	-0,0006	0,0484	-0,0319	-0,0002	0,0147	-0,0224	0,0119	0,0454
2	0,0255	-0,0006	0,0534	-0,0585	-0,0002	0,0165	-0,0253	0,0106	0,0214



Для оценки качества изображения в обоих вариантах оборачивающих систем используем точечную (спот) диаграмму. На диаграмме показано изображение для трех точек поля (0° , 2° и 3°). При сравнении диаграмм можно видеть, что размер точки в оптимизированном варианте как минимум в два раза меньше, чем в оригинальном.

Ахроматизация

Ахроматизация является эффективным способом коррекции aberrаций в любой оптической системе. Если ахроматизировать оборачивающую систему, подобрав комбинацию стекол в одной из склеек, то можно значительно улучшить качество изображения.

На рис. 3 представлены график смещения хроматического фокуса в пределах рабочего спектра (486–656 нм). Таким образом, в ахроматизированной системе размер точки будет примерно в 3 раза меньше, чем в оригинальном варианте.

ration calculation results over 8 lens surfaces (Seidel sums) for both options of the erecting system. The calculation demonstrates that the first Seidel sum value that determines the spherical aberration in the original version, when the lenses face each other, is much higher than for the optimized option.

To assess the image quality in both options of the erecting systems, we use a scatter (spot) diagram. The diagram shows the image for three field spots (0° , 2° and 3°). When comparing the diagrams, it is possible to note that the spot size in the optimized option is at least two times smaller than in the original one.

Achromatization

Achromatization is an effective method to adjust aberrations in any optical system. If the erecting system is achromatized by selecting a combination of glasses in one of the joints, it is possible to significantly improve the image quality.

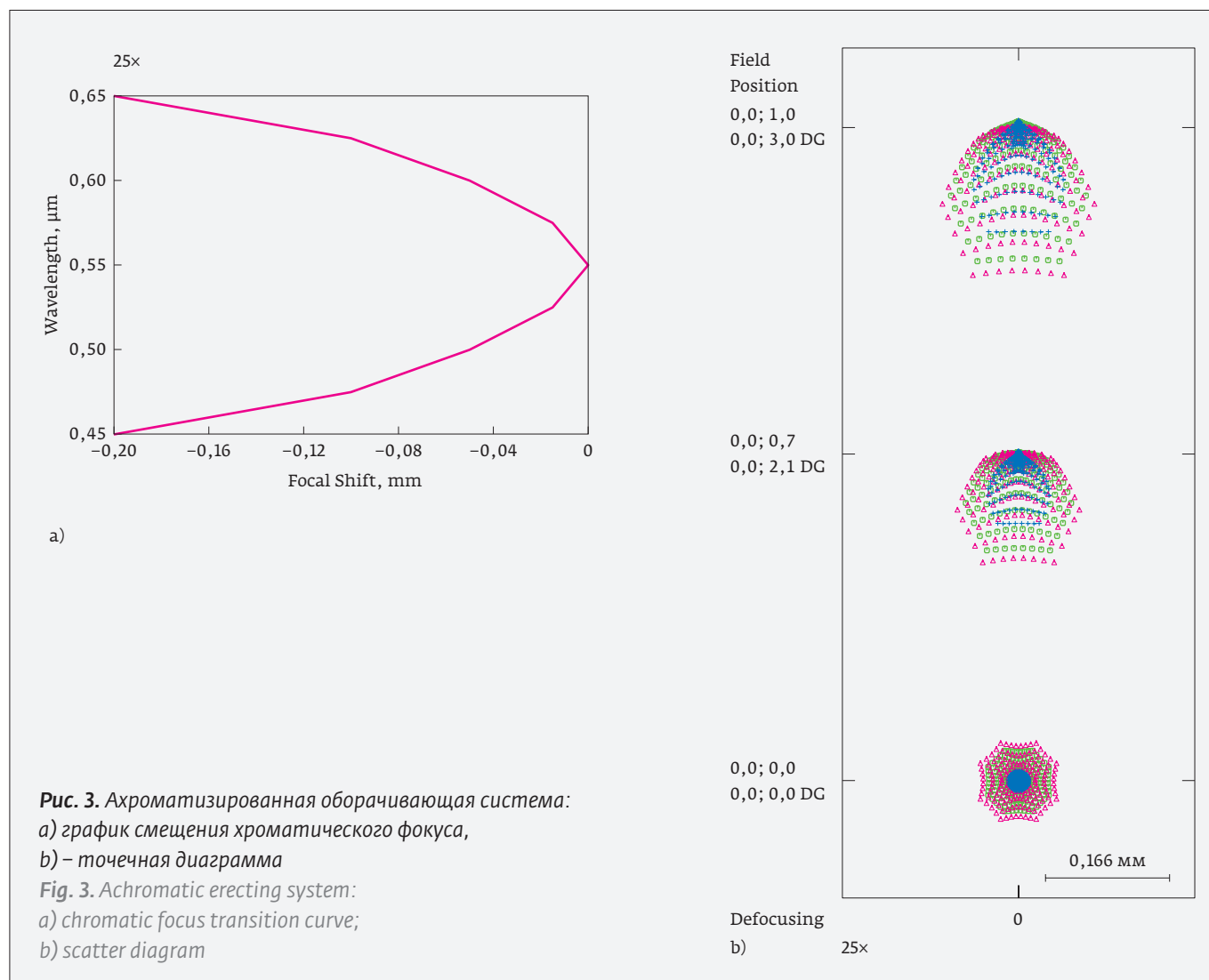


Таблица 3. Величина и направление смещения линии визирования в фокальной плоскости объектива
Table 3. Boresight offset value and direction in the focal plane of the objective lens

Смещение линии визирования Boresight offset	Коллектив Collective lens		1 линза 1 st lens		2 линза 2 nd lens	
	Децентрировка $c=0,1$ мм Decenter, $c=0,1$ mm	Наклон, $\alpha=0,5^\circ$ Tilt, $\alpha=0,5^\circ$	Децентрировка $c=0,1$ мм Decenter, $c=0,1$ mm	Наклон, $\alpha=0,5^\circ$ Tilt, $\alpha=0,5^\circ$	Децентрировка $c=0,1$ мм Decenter, $c=0,1$ mm	Наклон, $\alpha=0,5^\circ$ Tilt, $\alpha=0,5^\circ$
$\Delta 5x$	-0,1 мм	-0,024 мм	0,1 мм	-0,007 мм	0,072 мм	0,025 мм
$\Delta 25x$	-0,1 мм	-0,024 мм	0,044 мм	-0,018 мм	0,05 мм	-0,001 мм

Δ - смещение линии визирования в фокальной плоскости объектива под воздействием децентрировки c и наклона α линз
 Δ - boresight offset in the focal plane of the objective under the influence of decentering c and tilting α of the lenses

ЭКСПЕРИМЕНТ

Испытания опытного образца прицела подтвердили результат моделирования оборачивающей системы. На рис. 4 показано изображение сетки, полученное на установке при контроле опытного образца оригинальной (слева) и оптимизированной (справа) оборачивающих систем.

Линия визирования

Смещение линии визирования при смене увеличений является важным параметром оптического прицела. В высококачественных прицелах эта величина не превышает 0,7-1 см на 100 м. На величину смещения оказывают влияние фокусное расстояние объектива, фокусные расстояния компонентов панкратической системы, линейное увеличение. Все перечисленные параметры определяют требования к центрировке и наклону отдельных линз оборачивающей системы.

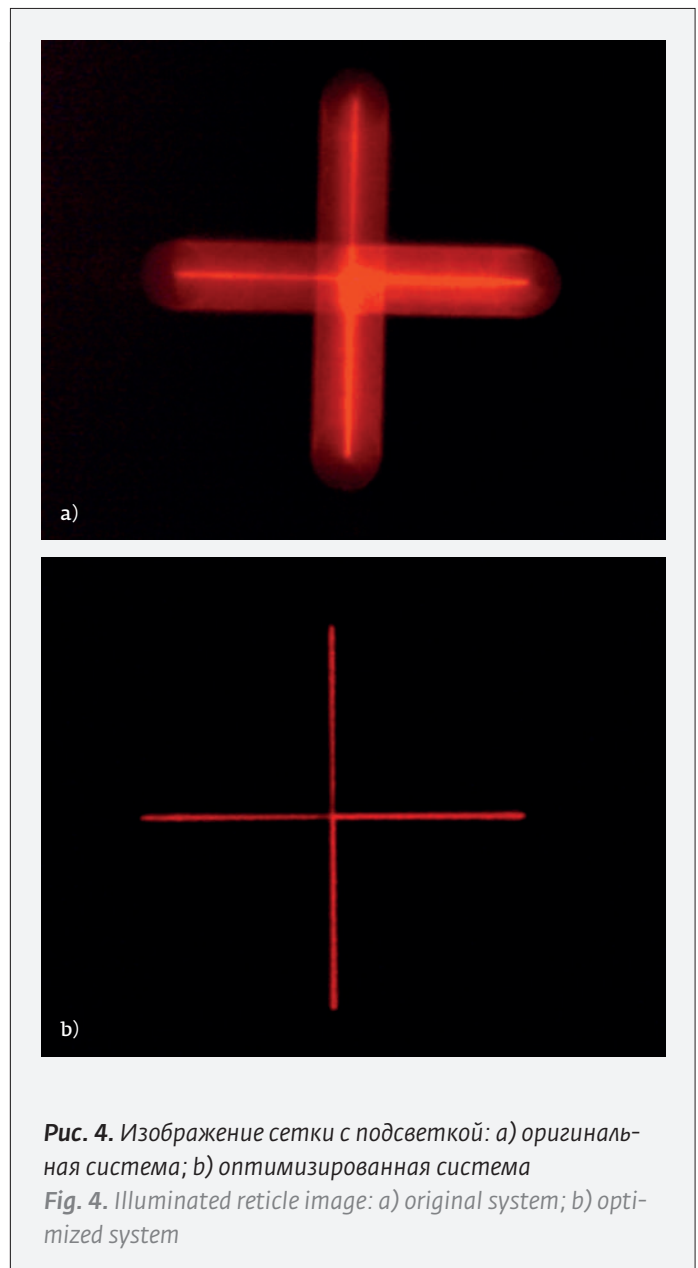
В табл. 3 представлена величина и направление смещения линии визирования в фокальной плоскости объектива в зависимости от децентрировки и наклона линз 3-х компонентной оборачивающей системы с 5-кратным перепадом увеличений.

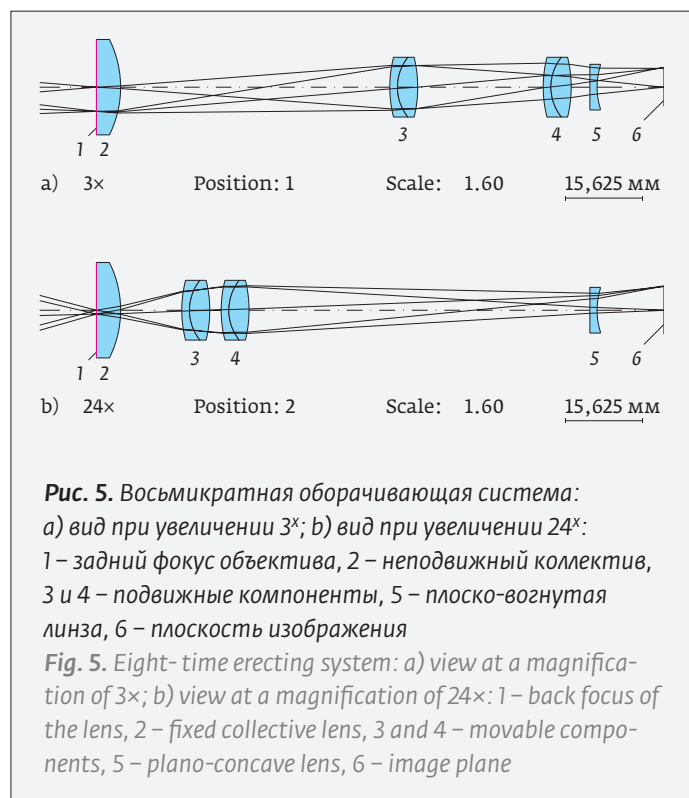
Приведенные в таблице значения показывают, что наибольший вклад в величину смещения вносят децентрировка и наклон коллектива (увеличение 5-25^x), децентрировка и наклон 1 линзы (увеличение 25^x), децентрировка и наклон 2 линзы (увеличение 5^x).

Чтобы обеспечить смещение линии визирования не более 1 см на 100 м во всем диапазоне увеличений, суммарная величина $\Sigma\Delta$ должна быть:

$$\Sigma\Delta = 0,0001 \cdot f'_{об.}$$

При фокусе объектива 250 мм $\Sigma\Delta$ не должна превышать 0,025 мм.





Восьмикратный перепад увеличений

Оборачивающая система с 8-кратным перепадом увеличений, в конструкцию которой добавлена неподвижная плоско-вогнутая линза 5 со стороны окуляра, а задний фокус 1 объектива совпадает с плоскостью коллективной линзы 2, показана на рис. 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная конструкция оборачивающей системы расширяет диапазон увеличений панкратических прицелов и обеспечивает качественное изображение сетки с подсветкой.

REFERENCES

1. US8958149. Target-field telescope with correcting lens / Helke Karen Hesse. – Pub. Date: Feb.10, 2012.
2. US8699149. Reversing system for a sighting telescope / Hasselbach Dieter et al. – Pub. Date: Apr.15.2014.
3. EA040505. Optical sight with variable magnification / Shyshkin I. P., Shkadarevich A. P. / Pub. Date: Jun.14, 2022.

ОБ АВТОРАХ

Шишкин Игорь Петрович, к. т. н. shipoflens@mail.ru, НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО, Минск, Республика Беларусь.
ORCID ID: 0000-0002-4592-1060
Шкадаревич Алексей Петрович, д. ф.-м. н., НТЦ «ЛЭМТ», БелОМО, Минск, Республика Беларусь.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Figure 3 demonstrates a plot of the chromatic focus shift within the working spectrum (486–656 nm). Thus, in the achromatized system, the spot size will be approximately 3 times smaller than in the original option.

TEST

The tests of the telescopic sight prototype model have confirmed the erecting system simulation results. Figure 4 shows an image of the reticle obtained on the stand during the prototype control of the original (left) and optimized (right) erecting systems.

Boresight offset

The boresight offset when changing magnifications is an important parameter of an optical sight. In the high-quality sights, this value does not exceed 0.7–1 cm per 100 m. The offset value is subject to exposure by the focal distance of the lens, the focal distances of the pancratic system components, and the linear magnification. All of the above parameters determine the requirements for centering and tilting of individual lenses of the erecting system.

Table 3 demonstrates the value and direction of the boresight offset in the focal plane of the lens, depending on the decentering and inclination of lenses of a 3-component erecting system with a 5-time zoom magnification.

The values given in the table show that decentering and inclination of the collective lens (magnification 5–25^x), decentering and tilting of the 1st lens (magnification 25^x), decentering and tilting of the 2nd lens (magnification 5^x) make the greatest contribution to the offset level.

To ensure that the boresight is offsetted by no more than 1 cm per 100 m within the entire magnification range, the total value of $\Sigma\Delta$ should be as follows:

$$\Sigma\Delta = 0,0001 \cdot f'_{об}$$

With an objective lens focus of 250 mm, $\Sigma\Delta$ should not exceed 0.025 mm

Eight-Time magnification

Figure 5 demonstrates the erecting system with an 8-time zoom magnification, which design is supplemented by a fixed plano-concave lens 5 on the eyepiece side, and the back focus 1 of the objective lens coincides with the plane of the collective lens 2.

CONCLUSION

The proposed design of the erecting system expands the magnification range of pancratic telescopic sights and provides a high-quality image of the illuminated reticle.

23–26.10.2023

ТЕХНОФОРУМ

МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



www.technoforum-expo.ru

«Оборудование
и технологии
обработки
конструкционных
материалов»

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

Реклама



12+

 ЭКСПОЦЕНТР