



стрелка при отдаче. Прицел имеет ограниченные габариты, удовлетворяющие требованиям его установки на определенный тип оружия. Сетка освещается светодиодом типа *STAR/OLXHL-ND98* ( $\lambda_{\max} = 0,625$  мкм) и наблюдается в виде красной точки. Применение светодиода снимает все проблемы линзы Френеля, связанные с хроматическими aberrациями и влиянием температуры источника излучения на материал.

Как известно [5], сферическая преломляющая поверхность обладает принципиально неустранимой сферической aberrацией, которая приводит к параллактической ошибке линии прицеливания. В угловой мере эту параллактическую ошибку  $\rho$  можно определить по формуле

$$\rho = \gamma - \varphi.$$

Вспомогательные углы  $\gamma$  и  $\varphi$  определяются зависимостями

$$\sin\varphi = h/r, \quad (1)$$

$$\sin\gamma = n\sin(\varphi - \alpha), \quad (2)$$

$$\operatorname{tg}\alpha = h/[f' - r - (r^2 + h^2)^{1/2}], \quad (3)$$

где  $h$  – высота луча,  $n$  – показатель преломления материала линзы,  $f'$  – фокусное расстояние преломляющей поверхности, которое определяется формулой

$$f' = nr(n - 1). \quad (4)$$

При изготовлении линзы из полистирола ( $n = 1,5910$ ) формула (4) принимает вид

$$f' = 2,692r. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (3) и обозначив  $h/r = k$ , представим формулы (1) и (3) в виде

$$\sin\varphi = k, \quad \operatorname{tg}\alpha = k/[1,692 + (1 - k^2)^{1/2}].$$

На рис. 2 приведен график зависимости  $\rho = F(k)$ .

Принимая допустимое значение параллактической ошибки соизмеримым со среднеквадратическим значением технического рассеивания стрелкового оружия, которое не превышает 4 мрад [1], из графика (рис. 2) находим  $k_{\max} = 0,315$ . Учитывая (5), установим взаимосвязь между высотой луча и фокусным расстоянием преломляющей поверхности

$$h = 0,117f'. \quad (6)$$

Опыт установки моноблочного прицела на автоматическом оружии [1] показывает,

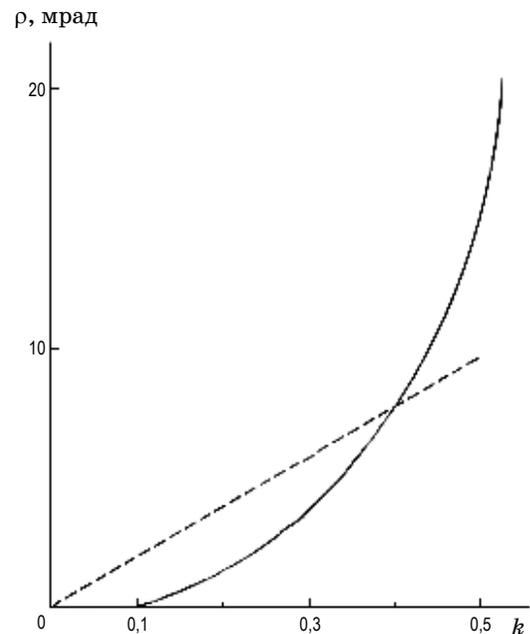


Рис. 2. Зависимость параллактической ошибки  $\rho$  от отношения  $h/r = k$ .

что длина моноблока  $f'$  не должна превышать 70 мм, а его выходной зрачок должен иметь прямоугольную апертуру с отношением сторон  $a:b = 3:4$ . Подставляя значение  $f' = 70$  мм в (6), находим  $h_{\max} = 8,2$  мм, т. е.  $b = 6,8$  мм и  $a = 9,1$  мм. Очевидно, что при таких малых размерах выходного зрачка будет трудно ловить изображение прицельной точки при удалении глаза на 70 мм. Отсюда вытекает необходимость перераспределения параллактической ошибки. Изменим плоскость наилучшей установки прицельной сетки, как показано на рис. 2 пунктиром, т. е. исключим параллактическую ошибку при  $k = 0,4$ . При этом абсолютная величина параллактической ошибки не превысит 4 мрад при изменении параметра  $k$  в диапазоне 0–0,46.

Подставляя значение  $f' = 70$  мм в (5), находим  $r = 26,0$  мм. Из обозначения вспомогательного параметра  $k$  при  $r = 26,0$  мм последовательно вычисляем:  $h = 10,5$  мм при  $k = 0,4$  и  $h_{\max} = 12,0$  мм при  $k_{\max} = 0,46$ ; т. е.  $b = 10,0$  мм и  $a = 13,3$  мм. Длину моноблока  $d$  с учетом плоскости наилучшей установки сетки находим по формуле

$$d = r[1 + \sin\theta/\sin(\varphi - \theta)],$$

где угол  $\varphi$  определяется зависимостью (1), а угол  $\theta$  зависимостью  $\sin\theta = (\sin\varphi)/n$ , и при  $h = 10,5$  мм длина  $d$  составляет 67,7 мм. При

### Радиусы кривизны торических поверхностей

$h$ , мм	$0,25 \pm 0,25$	$1,25 \pm 0,25$	$2,25 \pm 0,25$	$3,25 \pm 0,25$	$4,25 \pm 0,25$	$5,25 \pm 0,25$
$r_h$ , мм	26,0	26,03	26,08	26,16	26,27	26,41
$h$ , мм	$6,25 \pm 0,25$	$7,25 \pm 0,25$	$8,25 \pm 0,25$	$9,25 \pm 0,25$	$10,25 \pm 0,25$	$11,25 \pm 0,25$
$r_h$ , мм	26,57	26,77	26,99	27,24	27,51	27,81

таких габаритах моноблока вертикальная  $2\beta_v$  и горизонтальная  $2\beta_r$  составляющие поля зрения, наблюдаемого глазом через моноблок, определяются зависимостью

$$\operatorname{tg} 2\beta_{v(r)} = a(b)/[70 + d/n]$$

и будут равны:  $2\beta_v = 5^\circ$ ,  $2\beta_r = 6,7^\circ$ .

При выборе шага плоских и торических поясов необходимо исходить из сохранения контраста прицельной точки при перемещениях глаза в пределах выходного зрачка. Моделирование показывает, что при минимальном зрачке глаза равном 2 мм, контраст остается практически неизменным при шаге до 0,5 мм.

Принятое выше значение среднеквадратического рассеивания может быть приемлемо не для всех типов стрелкового оружия. Поэтому задача повышения точности прицела была и остается актуальной. Очевидно, что уменьшить параллактическую ошибку в КП на базе толстой линзы Френеля можно только в одном случае – выполнив каждую торическую фокусирующую поверхность со своим радиусом кривизны  $r_h$ , который обеспечивает коллимацию изображения прицельной точки для каждой координаты  $h$

$$r_h = \{h^2 + [70 - (h^2 + 70^2)^{1/2}/n]^2\}^{1/2}.$$

В таблице приведены значения этих радиусов при  $h_{\max} = 12,0$  мм и при выполнении крайнего пояса плоским. При этом все плоские пояса

лежат в одной плоскости, удаленной от сетки на 70 мм. При такой конструкции моноблока параллактическая ошибка не превышает 0,3 мрад, что отвечает всем видам стрелкового оружия, включая снайперское. Если же среднеквадратическое значение технического рассеивания оружия превышает 0,3 мрад, то запас в точности можно использовать для сокращения длины моноблока.

Проблемным вопросом моноблочных прицелов на базе толстой линзы Френеля может быть нежелательное изображение окружающего пространства, создаваемое торическими поясами перед глазом стрелка, и нежелательное изображение прицельной точки, наблюдаемое сквозь плоские пояса. Однако заметим, что нежелательное изображение окружающего пространства формируется на удалении 26 мм от глаза вне поля зрения, наблюдаемого через моноблок из точки  $P$ , т. е. глаз не сможет на него сфокусироваться. Нежелательное изображение прицельной точки удалено от глаза на 112,5 мм и при аккомодации глаз на удаленную цель стрелок не сможет на него сфокусироваться, в чем легко можно убедиться на опыте.

Таким образом, на базе толстой линзы Френеля с чередующимися торическими и плоскими поясами можно создать высокоточный моноблочный КП для стрелкового оружия, который позволяет наблюдать цель обоими глазами.

\* \* \* \* \*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Сенаторов М.В. Підвищення ефективності оптичних прицілів для стрілецької зброї: Автореферат дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук. Київ: НТУУ “КПІ”, 2005. 20 с.
2. Лазарев Л.П. Оптико-электронные приборы наведения. М.: Машиностроение, 1989. 760 с.
3. Сенаторов В.Н., Полежаев В.В. Оптимизация коэффициентов светопропускания зеркал в менисковом коллиматорном визире // ОМП. 1979. № 8. С. 59–60.
4. Новые тенденции в развитии систем отображения информации и управления боевых самолетов (Обзор по материалам иностранной печати), под общ. ред. Федосова Е.А. М.: Научно-информационный центр, 1984. 62 с.
5. Слюсарев Г.Г. Расчет оптических систем. Л.: Машиностроение, 1975. 640 с.